

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ ВЛАЖНЫХ ГЛИНИСТЫХ АГРЕГАТОВ НА ИХ ДЕЗИНТЕГРАЦИЮ*

Аннотация. Представлены экспериментальные исследования влияния циклов промораживания-оттаивания глиносодержащих уплотненных агрегатов на процесс их дезинтеграции в машинах барабанного типа. Исследовались комки, изготовленные из двух видов песчано-глинистых смесей с разным содержанием глинистой составляющей и одинаковой влажностью, с криогенной обработкой и без, а также воздушносухие. В песках, содержащих 50% глинистых примесей, при начальной влажности 15% после циклической проморозки-оттайки в диапазоне температур от 253 К до 293 К усиливались структурные связи, что приводило к упрочнению материала и препятствовало его размоканию и разрушению. В то же время, после криогенной обработки в образцах с содержанием глины 25% наблюдалось разупрочнение глинистых агрегатов от цикла к циклу, так, комки прошедшие 1 цикл промораживания и оттаивания разрушаются к 40 мин, при этом усиливались их адгезионные свойства, выражающиеся в 30% наборе массы от исходного веса, а после 4 циклов они полностью диспергировались в течении 2 мин без накопления материала из промывочной среды, что исключает в последующем формирование плотного окатыша и способствует увеличению эффективности промывки.

Ключевые слова: глина, глинистые окатыши, криогенная обработка, дезинтеграция, замораживание, оттаивание, промывка.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-192-198

Исследования дезинтеграции высокоглинистых песков имеет большое практическое значение в связи с необходимостью разработки новых технологий и аппаратов для обогащения полезных ископаемых.

В настоящее время в области недропользования актуальным является освоение россыпных месторождений золота и других полезных ископаемых с содержанием выше 30% глинистой составляющей, относящихся к категории труднопромывистых песков.

Обычные системы дезинтеграции с применением традиционного промывочного оборудования для переработки такого сырья не обеспечивают эффек-

тивную степень дезинтеграции, что, как следствие, приводит к потерям ценных компонентов не только на стадии дезинтеграции, но и на последующих этапах обогащения.

Эффективность диспергирования песчано-глинистых смесей определяется не только минеральным и гранулометрическим составом, применяемым способом дезинтеграции, но и такими условиями как влажность и предварительная обработка, промываемого материала. Например, в промывочных машинах барабанного типа, наряду с недостаточной степенью дезинтеграции наблюдается формирование особо плотных глинистых агрегатов — окатышей. Основная причи-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-45-140004.

на заключается в избыточных адгезионных свойствах высокодисперсных сред.

Размокаемость дисперсных материалов в статичной среде зависит от дисперсности состава, пористости, характера связей между частицами, структуры, вязкости дисперсных материалов, начальной влажности, числа пластичности и многих других факторов [1–6]. В динамической же среде, помимо выше изложенного, на эффективность промывки влияет предварительная подготовка исходных песков, характер воздействия, а также режимы промывки, например, шихтовка крупнообломочным материалом [7].

Одним из способов разупрочнения песков перед дезинтеграцией является криогенная обработка. Как отмечали отечественные и зарубежные исследователи, в результате воздействия циклов замораживания-оттаивания в материале происходит перестройка структуры и текстуры дисперсного материала [8–11]. В условиях Крайнего Севера, подобная предварительная подготовка материала с применением низких температур вполне реализуема и не потребует больших финансовых затрат.

В ранее выполненной работе [12] были проведены исследования динамики формирования и разрушения глинистых окатышей в глухом промывочном

барабане при криогенной обработке исходных комков влажностью 25%. Эксперименты показали существенное влияние на устойчивость к дезинтеграции комков при воздействии на них циклов замораживания и оттайки в диапазоне температур от 243 К до 293 К.

После 1 цикла замораживания-оттаивания наблюдалось упрочнение комков по сравнению с образцами не прошедшими криогенную подготовку — окатыши формировались и при этом были более устойчивы к дезинтеграции. После 2 циклов комки адгезионные свойства резко снижались, что сказывалась на наборе незначительного количества материала при окатывании и в конечном счете дезинтегрировались существенно быстрее.

После трех циклов замораживания и оттаивания во влагонасыщенном глинистом дисперсном материале в виде комка происходят структурные изменения, позволяющие существенно снизить адгезионные свойства. Поровая (не кристаллизуемая) и избыточная (кристаллизуемая) вода при промораживании в общей сумме обладают расклинивающим эффектом, что приводит к образованию заметных трещин на поверхности комков (рис. 1 а), образцы становились хрупкими, а часть из них разваливалась непосредственно при оттаивании (рис. 1, б).

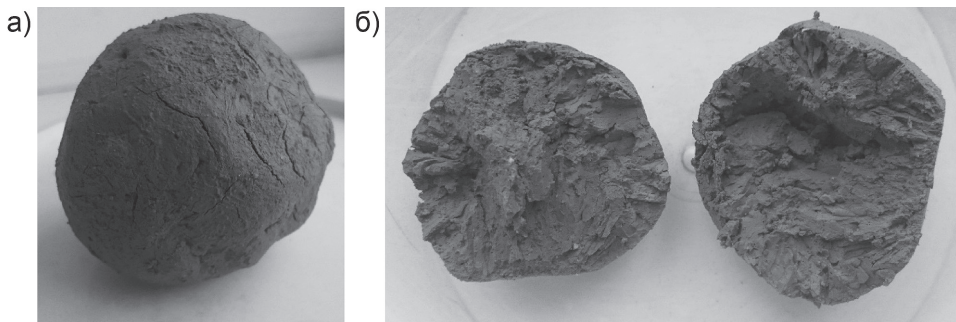


Рис. 1. Исходные глинистые комки после 3 циклов промораживания-оттаивания (а) с трещинами на поверхности в замороженном состоянии и (б) развалившийся при оттайки

Fig. 1. Initial clay aggregates after 3 cycles of freezing-thawing: (a) frozen and with surface fractures; (b) dissociated during thawing

Эксперименты показали, что комки после 3 циклов размораживания-оттаивания (безвозвратно) полностью разрушались в промывочном барабане в течение первой минуты.

В настоящем экспериментальные работы продолжились в изучении воздействия циклов замораживания-оттаивания комковразного состава глины и песка при исходной влажности ограниченной до 15% (область пластичного состояния высокоглинистых материалов) на процесс их дезинтеграции в промывочном барабане.

В качестве исходного сырья в экспериментах применились пески с месторождения р. Б. Куранах, из которого вручную изготавливались комки сферической формы определенной влажности и гранулометрического состава. Затем образцы загружались в герметичные контейнеры и подвергались циклическому замораживанию в холодильной камере при температуре 253 К и оттаиванию в лабораторном помещении при 273 К. Количество циклов от 1 до 5, время выдержки на промерзание и оттаивание составляло 12–15 ч на каждый этап. Наряду скриогеннообработанными образцами испытанию подвергались образцы воздушносухим и во влажном состоянии, но не подвергнутыми проморозке.

Исходный образец загружался в лабораторную модель глухого промывочного барабана [5], в которой предварительно создавалась промывочная среда, состоящая из песчано-глинистой смеси (–5+1 мм 1 кг, глина 1 кг) и с влажностью 50%. Смысл эксперимента заключался в том, исходные пески в процессе вращения барабана могли за счет своих адгезионных свойств при накатывании набирать из промывочной среды материал и затем постепенно терять его. Запускался промывочный барабан и через каждую минуту работы останавливался для выгрузки образца

(комка) и его взвешивания. В последующем комок помещался обратно в барабан для продолжения испытаний. Эксперименты проводились до 60 мин, в некоторых случаях достигалась полное разрушение испытываемых комков.

В первой серии экспериментов исследовались образцы состоящие из материала фракции –1 мм с содержанием глинистых частиц –0,05 мм 50%. Воздушносухие, не замороженные образцы в процессе промывки в барабане не разрушались в течение часа, набор материала проходил медленно (пиковый вес достигался после 30 мин), средняя прибавка составила не более 25% от исходной массы окатыша. Комки влажностью 15% без криогенной подготовки набирали более 40% от исходного веса в первые 3 мин экспериментов, затем в течение получаса теряли приобретенный материал, возвращаясь к исходной массе, при достижении которой, образцы быстро разрушались в течение 2–5 мин. Влажные же образцы прошедшие криогенную обработку, в независимости от количества циклов замораживания-оттаивания (до 4 циклов) стремительно в течение 2–3 мин набирали до 50% веса от исходной массы и при этом не размокали, и не разрушались в течение часа, теряя к концу эксперимента до 20% набранного материала. Сводные результаты представлены на рис. 2.

Судя по полученным данным, после криогенной обработки комки влажностью 15% приобретали свойства крепости воздушносухих образцов (не размокали в течение 1 ч), при этом сохраняя способность к быстрому набору материала из промывочной среды (за 3 мин до 50% от исходной массы). Это позволяет сделать вывод о том, что криогенная обработка не достаточно влажных уплотненных глинистых агрегатов приводит к их упрочнению и затрудняет дальнейшую промывку.

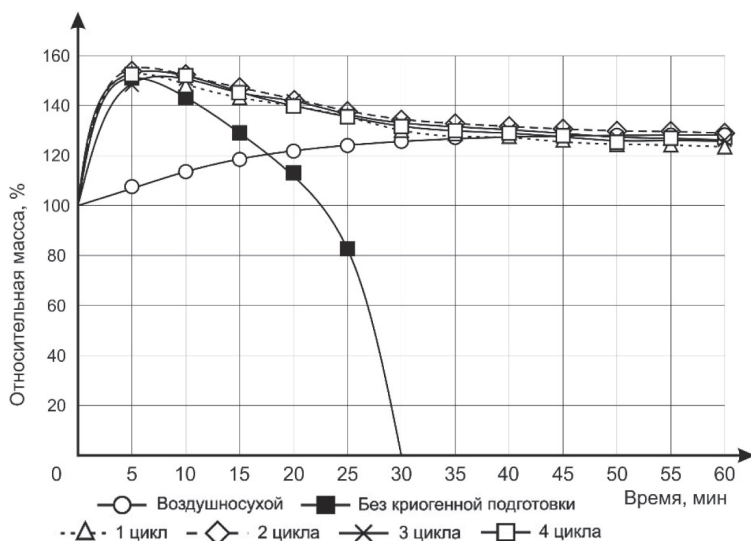


Рис 2. Динамика формирования и разрушения окатышей при различных условиях подготовки (воздушносухой, с криогенной обработкой и без) исходных комков, содержащих 50% глинистых частиц Fig. 2. Dynamics of generation and disintegration of pellets with clay content of 50% under different conditions of preparation (air dry, with and without low-temperature treatment)

В последующем цикле исследований изучались образцы с такой же влажностью 15%, что в первом случае, но изготовленными из материала фракций -2 мм, и с меньшим содержанием глинистых частиц $-0,05$ мм 25%. Воздушносухие комки подобного гранулометрического состава также, как и образцы, изготовленные из смеси с большим содержанием глинистой составляющей, не размокают и не разрушаются в течение часа, но при этом быстрее набирают материал из промывочной среды (в течение 10 мин до 25% от исходной массы), т.е. проявляют повышенные адгезионные свойства. Влажные комки без промораживания проявляли адгезионные свойства в меньшей степени, набирая незначительное количество материала (до 10%) и разрушались в течение 5 мин.

Криогенная подготовка образцов с меньшим содержанием глинистых частиц, по сравнению с первой серией экспериментов, оказывает существенное влияние на размокаемость дисперсных материалов. При этом установлена вы-

сокая степень влияния циклов промораживания и оттаивания на процесс. Так, образцы прошедшие 1 цикл проморозки-оттайки не только значительно проявляют адгезионные свойства, по сравнению с воздушносухими и влажными, не замороженными комками, но и становятся более устойчивыми к размоканию — максимальный набор материала составил 30% за 5 мин, а последующее разрушение наступает к 40 мин. После 2 циклов наблюдалось снижение по этим показателям — комки разрушались после 30 мин процесса, при этом набирая 25% от исходного веса. После 3 циклов промораживая-оттаивания образцы разрушались уже к 15 мин набирая максимально 10% от исходной массы. После же 4 циклов комки растворялись в течение 2 мин. Результаты представлены на рис. 3.

Экспериментальными исследованиями влияния циклов замораживания-оттаивания влагосодержащих глинистых агрегатов на их дезинтеграцию в промывочных машинах барабанного типа

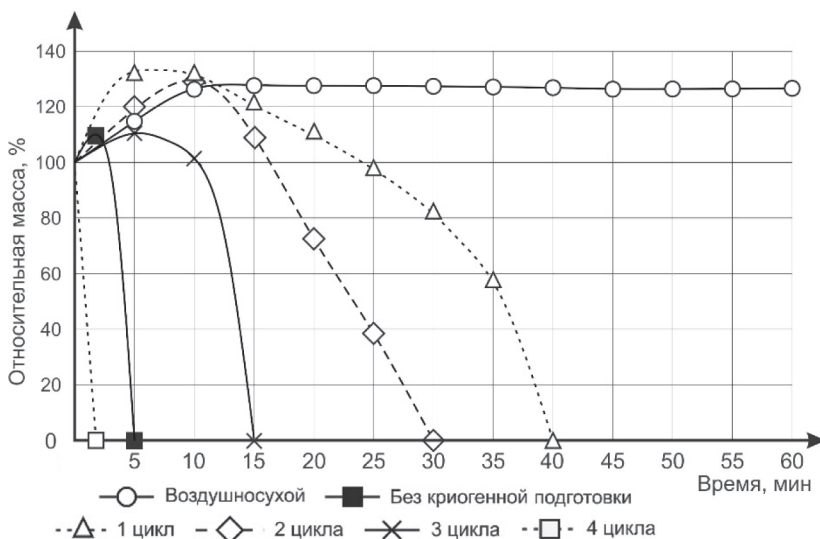


Рис 3. Динамика формирования и разрушения окатышей при различных условиях подготовки (воздушносухой, с криогенной обработкой и без) исходных комков, содержащих 25% глинистых частиц Fig. 3. Dynamics of generation and disintegration of pellets with clay content of 25% under different conditions of preparation (air dry, with and without low-temperature treatment)

было установлено, что в песках, содержащих 50% глинистых примесей при начальной влажности 15% после проморожки-оттайки (достаточно одного цикла) в диапазоне температур от 253 К до 293 К усиливаются адгезионные свойства, которые надолго сохраняются по времени, что препятствует размоканию и разрушению.

В тоже время, в образцах с меньшим содержанием глины 25% и при наличии более грубой фракции –2 мм, после 1 цикла промораживания-оттаивания наблюдается максимальный уровень адгезионных свойств с последующей существенной потерей их в зависимости от количества циклов.

Например, если комки прошедшие 1 цикл разрушались к 40 мин, при этом усиливались их адгезионные свойства, выражающиеся в 30% наборе массы от исходного веса, то после 4 циклов они размокали в течение 2 мин, что исключает формирование плотного окатыша и способствует увеличению эффективности промывки.

Таким образом, установлены предварительные условия и особенности влияния криогенной обработки плотных глинистых агрегатов на их адгезионные свойства в зависимости от гранулометрического состава исходных песков и от количества циклов промораживания-оттаивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьянков С.А., Азизов З.К. Механика грунтов: учебное пособие. — Ульяновск: УЛГТУ, 2008. — 103 с.
2. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / Под ред. Е.М. Сергеева. — М.: Недра, 1985. — 288 с.
3. Грунтоведение / Под. ред. Е.М. Сергеева. — М.: Изд. МГУ, 1983. — 392 с.
4. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение. — М.: Наука, 2005. — 1024 с.
5. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов: общая и прикладная: учебное пособие для инженерно-строительных вузов, 2-е изд. — М.: Либроком, 2009. — 445 с.

6. Ухов С. Б., Семенов В. В., Знаменский В. В. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. — М.: Изд-во АСВ, 2007. — 566 с.

7. Ширман Г. В., Матвеев А. И. Особенности дезинтеграции плотных глинистых агрегатов в промывочных машинах барабанного типа при добавлении обломочного материала // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 12. — С. 239–242.

8. Балясников Г. Г. Исследование размокаемости мерзлого грунта при его оттаивании / Проблемы северного строительства. — Красноярск, 1973. — С. 163–171.

9. Курилко А. С. Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания-оттаивания на физико-механические свойства горных пород. — Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. — 154 с.

10. Yildiz M., Soğancı A. S. Effect of freezing and thawing on strength and permeability of lime-stabilized clays // ScientiaIranica. 2012. Vol. 19, Is. 4, pp. 1013–1017.

11. Zhen-Dong Cui, Peng-Peng He, Wei-Hao Yang. Mechanical properties of a silty clay subjected to freezing–thawing. Cold Regions Science and Technology. 2014. Vol. 98. pp. 26–34.

12. Ширман Г. В., Матвеев А. И. Исследование влияния криогенной обработки влажных высокодисперсных песков на процесс формирования и разрушения глинистых окатышей при дезинтеграции в барабанных промывочных машинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 2. — С. 369–375. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Ширман Григорий Владимирович — младший научный сотрудник, e-mail: shirman@inbox.ru, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 11, pp. 192–198.

Effect of freezing–thawing cycles on disintegration of moist clay aggregates

Shirman G.V., Junior Researcher, e-mail: shirman@inbox.ru, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Abstract. The article describes experimental research into the influence exerted by freezing–thawing cycles on disintegration of clay-containing compact aggregates in drum machines. The test pellets were made of two types of sand-and-clay mixtures having different clay contents and similar moisture content, with and without low-temperature treatment, as well as air-dried mixtures. In sand with clay admixture content of 50% and initial moisture content of 15%, after cyclical freezing–thawing within the temperature range from 253 to 293 K, structural bonding increase, which promotes strengthening and prevents soaking and failure. At the same time, after low-temperature treatment in the samples with clay content of 25%, strength loss is observed in clay aggregates from cycle to cycle: aggregates fail by the 40th minute after one cycle of freezing and thawing while their adhesion properties intensify in the form of the mass gain by 30% of the initial weight; after 4 cycles, aggregates totally disperse within 2 minutes without accumulation of materials from the circulating washing medium, which eliminates generation of compact pellets later on and improves washing efficiency.

Key words: clay, clay pellets, low-temperature treatment, disintegration, freezing, thawing, washing.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-192-198

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 18-45-140004.

REFERENCES

1. P'yankov S. A., Azizov Z. K. *Mekhanika gruntov: uchebnoe posobie* [Mechanics of soil: Educational aid], Ulyanovsk, UIGTU, 2008, 103 p.
2. *Teoreticheskie osnovy inzhenernoy geologii. Fiziko-khimicheskie osnovy*. Pod red. E. M. Sergeeva [Theoretical framework of engineering geology. Physical chemistry. Sergeev E. M. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1985, 288 p.
3. *Gruntovedenie*. Pod. red. E. M. Sergeeva [Soil science. Sergeev E. M. (Ed.)], Moscow, Izd. MGU, 1983, 392 p.
4. Trofimov V. T., Korolev V. A., Voznesenskiy E. A. *Gruntovedenie* [Soil science], Moscow, Nauka, 2005, 1024 p.

5. Tsytoich N. A. *Mekhanika merzlykh gruntov: obshchaya i prikladnaya: uchebnoe posobie dlya vuzov, 2-e izd.* [General and applied mechanics of frozen soil: Higher educational aid: Higher educational aid, 2nd edition], Moscow, Librokom, 2009, 445 p.

6. Ukhov S. B., Semenov V. V., Znamenskiy V. V. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty* [Mechanics of soil, basements and foundations], Moscow, Izd-vo ASV, 2007, 566 p.

7. Shirman G. V., Matveev A. I. Osobennosti dezintegratsii plotnykh glinistyykh agregatov v promyvochnykh mashinakh barabannogo tipa pri dobavlenii oblomochnogo materiala [Disintegration of compact clay aggregates with addition of fragmentary material in in drum washing machines], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 12, pp. 239–242. [In Russ].

8. Balyasnikov G. G. Issledovanie razmokaemosti merzlogo grunta pri ego ottaivaniy [Analysis of frozen soil soaking during thawing]. *Problemy severnogo stroitel'stva*. Krasnoyarsk, 1973, pp. 163–171.

9. Kurilko A. S. *Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya tsiklov zamorazhivaniya-ottaivaniya na fiziko-mekhanicheskie svoystva gornyykh porod* [Experimental tests of effect of freezing–thawing cycles on physical and mechanical properties of rocks], Yakutsk, YAF GU «Izd-vo SO RAN», 2004, 154 p.

10. Yildiz M., Soğancı A. S. Effect of freezing and thawing on strength and permeability of lime-stabilized clays. *ScientiaIranica*. 2012. Vol. 19, Is. 4, pp. 1013–1017.

11. Zhen-Dong Cui, Peng-Peng He, Wei-Hao Yang. Mechanical properties of a silty clay subjected to freezing–thawing. *Cold Regions Science and Technology*. 2014. Vol. 98. pp. 26–34.

12. Shirman G. V., Matveev A. I. Issledovanie vliyaniya kriogennoy obrabotki vlazhnykh vysokodispersnykh peskov na protsess formirovaniya i razrusheniya glinistyykh okatyshey pri dezintegratsii v barabannykh promyvochnykh mashinakh [Influence of low-temperature treatment of highly disperse sand on generation and dissociation of clay pellets during disintegration in washing drums], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 2, pp. 369–375. [In Russ].



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

(2018, № 6, СВ 33, 36 с.)

Мельник Владимир Васильевич — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, НИТУ «МИСиС»,
Сухарьков Игорь Николаевич — ведущий инженер, НИТУ «МИСиС», e-mail: SukharkovIN@suek.ru,
Хажиев Вадим Аслямович — кандидат технических наук, зав. лабораторией, НИИОГР, г. Челябинск,
e-mail: vadimkhazhiev@gmail.com.

Существенная доля финансовых, материальных и трудовых затрат горнодобывающих предприятий приходится на ремонтное обслуживание горнотранспортного оборудования. Значительную часть этих затрат возможно уменьшить при условии освоения ремонтной службой функционала технического сервиса, заключающегося в обеспечении требуемого уровня работоспособности оборудования с приемлемым уровнем затрат ресурсов. Обеспечение работоспособности включает в себя как процессы ремонтного обслуживания, так и контроль за условиями и режимами его эксплуатации. Необходимость освоения такого функционала и отсутствие методического инструментария определили актуальность выполняемой работы.

Ключевые слова: технический сервис, конкурентоспособность, оборудование, ремонтное обслуживание, контроль, работоспособность, техническое состояние.

COMPETITIVE ABILITY OF MAINTENANCE SERVICE TO ENSURE MINING AND TRANSPORT EQUIPMENT OPERABILITY

Mel'nik V.V.¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Chair,
Sukharkov I.N.¹, First Deputy General Director of JSC «Chernogorskiy RMZ», Leading Engineer,
Khazhiev V.A., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory, «NIIOGR» LLC,
¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Ever-toughening competition between mining companies calls for searching and implementing alternative scenarios of improvement of mine production efficiency. Essential financial, material and labor expenses of mines are connected with repair of mining and transport equipment. It is found that these expenses can be largely reduced in case that repair service functions as maintenance service, which means assurance of the required operability of equipment at the acceptable expenses. Equipment operability support includes both repair and operating condition control. The relevance of this study is governed by the necessity of such group of functions and the absence of an appropriate methodical framework.

Key words: maintenance service, competitive ability, equipment, repair service, control, operability, technical state.