

БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СЕВЕРЕ

И.И. Ковлеков

Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия, e-mail: kovlekov@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены вопросы безопасности гидротехнических сооружений, предназначенных для обеспечения условий разработки месторождения полезных ископаемых в зоне распространения многолетней мерзлоты. Суровые климатические условия региона и особенности свойств мерзлых горных пород требуют учета более широкого круга дополнительных факторов при проектировании, возведении и эксплуатации гидротехнических сооружений. Рассмотрены причины и последствия потенциальных угроз безопасности гидротехнических сооружений на горных предприятиях на примере климатической зоны Республики Саха (Якутия). Рассмотрены некоторые аспекты проблемы, касающиеся повышения надежности проектирования, технологического контроля при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений вокруг хвостохранилища обогатительной фабрики. Приведены результаты анализа проб воды из дренажных стоков на содержание цианистых соединений. Характер содержания токсичных химических веществ в складированных хвостах обогащения показывает высокую степень потенциальной опасности таких объектов для окружающей среды и проживающего в окрестности населения. Отмечается, что гидротехнические сооружения, предназначенные для обеспечения их безопасного состояния, должны продолжать нести свои охранные функции и после окончания расчетных сроков отработки месторождения. Сделан вывод, что, принимая во внимание большое количество промышленно опасных объектов, утративших собственника по разным причинам, для снижения риска экологических аварий целесообразно ведение постоянного мониторинга состояния безопасности таких объектов, проведение своевременных мероприятий по снижению риска аварийности, актуализация нормативов надежности и критериев безопасности гидротехнических сооружений с целью поддержания их в безаварийном состоянии.

Ключевые слова: хвостохранилище, токсичные отходы, гидротехнические сооружения, безопасность горного производства, защита окружающей среды, золотоизвлекательная фабрика, мерзлые породы.

Для цитирования: Ковлеков И. И. Безопасность гидротехнических сооружений при эксплуатации месторождений на Севере // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 7. – С. 154–164. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_154.

Safety of hydraulic structures in mining in the North

I.I. Kovlekov

Mining Institute, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia) Russia, e-mail: kovlekov@mail.ru

Abstract: The article addresses safety of hydraulic structures in the conditions of mineral mining in the zone of permafrost. The harsh climate and the properties of permafrost rocks dictate wider range factors to be considered in engineering, design and operation of hydraulic structures. The causes and consequences of potential risks in operation of hydraulic structures are discussed in terms of mining operations in the climatic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). The scope of the discussion embraces approaches to improvement of design and control during construction and operation of hydraulic structures around tailings ponds of processing plants. The analysis data on nitrile content of drain water samples are given. The nature of toxic chemicals contained in tailings is reflective of high potential hazard for the environment and local population. It is emphasized that hydraulic structures should hold their protective functions upon termination of estimated service life period of mines. Considering a large number of hazardous industrial objects unpossessed actually for some reasons, for reduction of risk of environmental disasters, it is expedient to implement continuous monitoring of safety of such objects, to undertake timely accident risk prevention, as well as to update reliability standards and safety criteria of hydraulic structures toward their fail-safety.

Key words: tailings pond, toxic waste, hydraulic structures, mining safety, environment protection, gold refining plant, frozen rocks.

For citation: Kovlekov I. I. Safety of hydraulic structures in mining in the North. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(7):154-164. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_154.

Введение

Разработка любого месторождения полезных ископаемых не обходится без возведения гидротехнических сооружений. В первую очередь это сооружения для обеспечения безопасного складирования и хранения переработанных отходов производства: ограждающие, защитные и напорные дамбы и плотины хвостохранилищ; водоотводящие и водоподводящие каналы, канавы и специальные устройства; гидротехнические системы для организации оборотного водоснабжения. Следующие гидротехнические сооружения также необходимы, но уже для обеспечения ведения горных работ: руслоотводной канал, нагорные и дренажные канавы, отстойники и временные дамбы разного назначения. Безопасность эксплуатации всех этих сооружений зависит от обоснованности проектных решений, соблюдения требований к строительным материалам и

технологии возведения при строительстве, выполнения правил безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений при ведении производственной деятельности [1 – 4].

Разработка месторождений полезных ископаемых в районах Севера требует дополнительного учета особенностей влияния суровых климатических условий при проектировании, возведении и эксплуатации гидротехнических сооружений в районах повсеместного распространения многолетней мерзлоты. Поскольку гидротехнические сооружения при разработке месторождения полезного ископаемого в основном имеют временный характер, обусловленный сроком отработки месторождения, подпорные, ограждающие и защитные сооружения возводятся из местных грунтовых материалов на мерзлых рыхлых отложениях осадочного происхождения. Поэтому надежность и безопасность таких соору-

жений находятся в прямой зависимости от достоверности результатов инженерных изысканий мерзлого грунтового основания, учета физико-механических свойств строительных материалов в талом и в мерзлом состояниях, соблюдения правил укладки и уплотнения земляных пород, контроля фильтрационного режима и мерзлотного состояния земляного сооружения и его основания [1, 5 – 7].

Основной раздел

При реализации проекта и эксплуатации объекта, несмотря на весь перечень предпринятых мер предотвращения опасных последствий, всегда имеет место потенциальный риск аварийных ситуаций и событий. Аварийные и чрезвычайные состояния могут быть следствием разных причин, цепи случайных событий или стечением непредвиденных обстоятельств [3, 4, 8, 9]. Без сомнения, некачественное выполнение инженерно-геологических и мерзлотных изысканий, завышение прочностных показателей строительных материалов, занижение фильтрационных свойств напорных дамб и подстилающих слоев, неучет изменчивости свойств мерзлых пород при промерзании и протаивании, просчеты в обосновании вариантов проектных решений и ошибки в гидротехнических расчетах значительно повышают риски и вероятность печального исхода [1, 9 – 11]. Градация гидротехнических сооружений по классам опасности в зависимости от высоты сооружения, типа грунтового основания и возможного размера ущерба в случае гидродинамических аварий направлена на снижение риска аварийности за счет ужесточения мер надзора и контроля в соответствии с установленным классом опасности гидротехнического сооружения.

Несмотря на все принятые меры предосторожности, крупные аварийные слу-

чай из-за разрушения гидротехнических сооружений хвостохранилищ в истории производственной деятельности горных компаний не снижаются [3, 4, 8, 12]. Основными факторами и причинами аварийности являются ошибки при проектировании, огрехи и отклонения от проектных решений при строительстве гидротехнического сооружения, неправильная эксплуатация сооружения и человеческий фактор [3, 13]. В действующих горных предприятиях риски аварийности гидротехнических сооружений могут быть сведены к минимуму за счет четко выстроенной системы мониторинга, правильного выбора приоритетных критериев безопасности и их своевременной корректировки при изменении условий эксплуатации, а также подбора профессиональных кадров, повышения их квалификации и периодической аттестация персонала [14 – 16].

При возникновении аварий на гидротехнических сооружениях материальный ущерб должен быть возмещен из страховых фондов обязательного страхования гражданской ответственности. Совершенно иная ситуация складывается на объектах с гидротехническими сооружениями, не имеющих собственника в лице действующего горного предприятия [6, 17, 18]. Такие объекты становятся практически бесхозными, а их состояние безопасности — бесконтрольным. В результате ответственность за их безопасное состояние косвенно или прямо ложится на юрисдикцию местных органов власти и региональных отделений Ростехнадзора, которые в действительности не имеют ни соответствующих функций, ни финансовых возможностей реального хозяйствующего субъекта. Поскольку все параметры гидротехнических сооружений на этих объектах принимались в свое время исходя из временного характера деятельности предприятия, они обеспечивали безо-

пасное состояние объекта только в период эксплуатации месторождения, их временной лимит безопасности давно истек, а сооружения под воздействием естественных природных факторов бесконтрольно разрушаются и утрачивают свои функциональные назначения [18].

Республика Саха (Якутия) долгое время является одним из крупных минерально-сырьевых регионов России. Добыча минерально-сырьевых ресурсов и сегодня обеспечивает основное бюджетное наполнение экономики республики. Успешно работающие горные компании, такие как АК «АЛРОСА», ПАО «Мечел», УК «Колмар» и другие, эксплуатируют новые геологические объекты. Заброшенные объекты, на которых не была произведена ни консервация, ни рекультивация нарушенных земель и восстановление естественного природного ландшафта, представлена гидротехническими сооружениями закрывшихся горных предприятий ГОК «Куларзолото», ГОК «Индигирзолото», ГОК «Джугджурзолото», ГОК «Алданзолото», ГОК «Депутатское» и др. Наибольшую потенциальную угрозу экологической безопасности представляют гидротехнические сооружения хвостохранилищ Лебединской ЗИФ, Куларской ЗИФ, обогатительной фабрики Депутатского ГОКа, ЗИФ Нежданинского рудника и другие, имеющие в составе складированных хвостов опасные и токсичные химические вещества, такие как ртуть, мышьяк, свинец, цинк, медь, кобальт, цианиды и прочие [19]. Закрытые в результате ликвидаций 1990-х годов горных предприятий в период пика их производственной деятельности на полной проектной мощности, они были брошены без выполнения должных работ по ликвидации и консервации для исключения или обеспечения снижения риска экологической угрозы для окружающей среды [20].

Согласно утвержденным проектам обогатительных фабрик, в соответствии с принятыми тогда экологическими требованиями, все фабричные хвосты перед сбросом в хвостохранилище обезвреживались от высокотоксичных цианидов, тиоцианатов и других реагентов. При этом, как правило, ставилась задача доведения загрязненных компонентов после отстоя в хвостохранилище до ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования [21]. По данным научных исследований, при длительном хранении жидкой и рудной фаз, содержащих цианиды и тиоцианаты, происходит их обезвреживание под действием природных факторов, таких как солнечная радиация, окисление растворенным кислородом, поглощение природными микроорганизмами и микроводорослями [22, 23]. Разработки микробиологической деструкции сточных вод от свободных цианидов, тиоцианатов и их комплексов с металлами ведутся достаточно давно в нашей стране и за рубежом [24].

При контактировании жидкой фазы с атмосферным воздухом, содержащим диоксид углерода, происходит образование синильной кислоты, которая улетучивается в атмосферу. Улетучившаяся газообразная синильная кислота окисляется до азота и углекислого газа под действием кислорода и ультрафиолетовой составляющей солнечного света, а также присутствующего в атмосфере озона. В водной фазе под действием ультрафиолетовой составляющей солнечного света и растворенного в воде кислорода происходит окисление цианидов и тиоцианатов до образования аммонийных соединений. Растворенные цианиды и тиоцианаты могут усваиваться в качестве питательных веществ природными микроорганизмами и микроводорослями, если они присутствуют в жидких и твердых отходах, с обра-

зованием конечных продуктов в виде элементарного азота (анаэробное биологическое окисление) и нитратов (аэробное биологическое окисление) [22]. Продукты разложения цианидов и тиоцианатов — нитраты и аммонийные соединения — усваиваются природными комплексами (микроорганизмами, низшими и высшими растениями в качестве азотсодержащих питательных веществ).

Однако в реальных условиях переработки руды, обеззараживания отходов и складирования их в ложе хвостохранилища процесс детоксикации отходов под воздействием природных факторов происходит не так быстро. В качестве примера приведем результаты государственного контроля проб воды на содержание цианидов по разным хвостохранилищам одной из заброшенных обогатительных фабрик (рис. 1, 2). На рисунках отражена динамика изменения концентрации цианидов в жидкой фазе проб, отобранных из дренажных вод в

районе нижнего бьефа ограждающих плотин хвостохранилища.

Анализ результатов содержания токсичных реагентов в сточных водах за пределами хвостохранилищ показывает, что процесс естественного распада реагентов происходит в течение довольно длительного периода, исчисляемого годами. Динамика изменения содержания цианидов, естественно, имеет устойчивую тенденцию постепенного снижения средних содержаний (на рисунках — линия 3 тренда).

Однако эту положительную тенденцию нельзя уверенно экстраполировать на весь объем складированных цианосодержащих отходов. У дренажных стоков может быть вполне устоявшийся фильтрационный маршрут, а снижение концентрации цианидов могло отразиться из-за процесса постепенного вымывания реагентов из фильтрационного канала. Следует отметить, что основная нижележащая масса хвостов не имеет

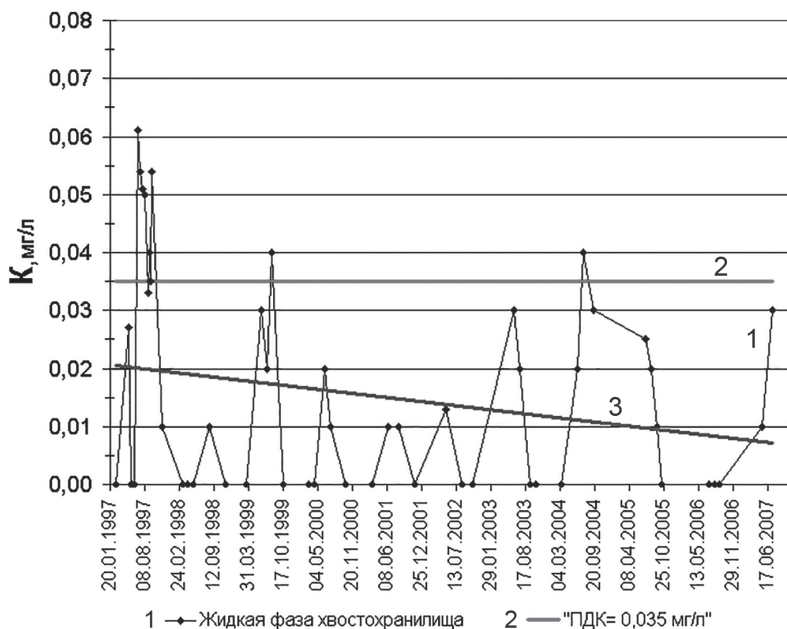


Рис. 1. Динамика содержания цианидов в жидкой фазе хвостохранилища № 1

Fig. 1. Dynamics of cyanide content in liquid phase in tailings pond No. 1

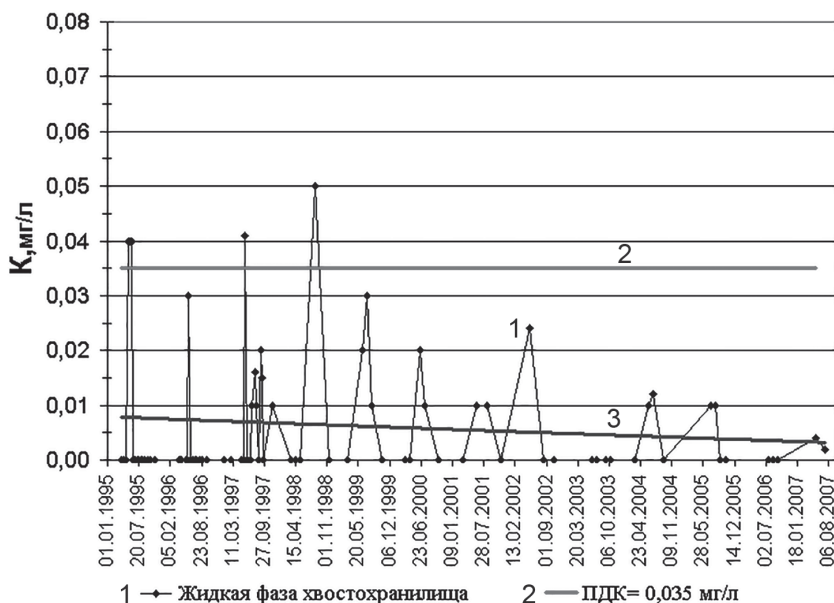


Рис. 2. Динамика содержания цианидов в жидкой фазе хвостохранилища № 2
 Fig. 2. Dynamics of cyanide content in liquid phase in tailings pond No. 2

доступа к воздуху (кислороду) и солнечным лучам, ускоряющим процесс детоксикации цианидных соединений. Мерзлое состояние слоя складированных масс также не способствует ускорению процесса детоксикации, а скорее всего, эти процессы будут приостановлены на неопределенный срок на долгие годы. Огромная масса складированных отходов представляет собой весьма тонко измельченный материал с «букетом» токсичных химических элементов, который способен легко взвешиваться в воде и может легко уноситься естественным течением рек на десятки километров ниже по течению, поражая флору и фауну рек и прилегающих территорий химикатами и пылью тяжелых металлов.

Все вышеизложенные обстоятельства требуют более глубоких анализов и научно-обоснованной оценки риска экологической безопасности гидротехнических сооружений горных предприятий, а для достоверного определения

естественного распада цианосодержащих реагентов и содержания других токсичных веществ необходимо проведение специальных исследований с отбором проб по всей толще складированных отходов.

Закключение

Таким образом, проектирование гидротехнических сооружений при разработке месторождений полезных ископаемых для суровых погодных условий Севера в зоне распространения многолетней мерзлоты, строительство этих сооружений и их эксплуатация в экстремальных условиях резко континентального климата требует тщательного анализа, учета и контроля всех значимых факторов влияния для обеспечения необходимого уровня безопасности. К наиболее приоритетным критериям безопасности таких напорных гидротехнических сооружений хвостохранилищ следует отнести показатели механической и фильтрационной устойчивости

сооружений с учетом напряженно-деформированного состояния нагруженного массива и прочностных параметров слагающих их мерзлых пород.

Характер содержания токсичных химических веществ в складированных хвостах обогащения показывает высокую степень потенциальной опасности таких объектов для окружающей среды и проживающего в окрестности населения. Гидротехнические сооружения, предназначенные для обеспечения их безопасного состояния, должны продолжать нести свои охранные функции и после окончания расчетных сроков отработки месторождения. Учитывая большое количество промышленно опас-

ных объектов, утративших собственника по разным причинам, для снижения риска экологических аварий целесообразно вести постоянный мониторинг состояния безопасности таких объектов, разрабатывать и проводить мероприятия по снижению риска аварийности, пересматривать нормативы надежности и критерии безопасности для гидротехнических сооружений. Требования к мероприятиям мониторинга безопасности должны быть усилены в периоды опасных сезонных природных явлений повышенного риска во время весеннего половодья, паводка и наводнений, которые могут привести к катастрофическим последствиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чжан Р. В. Грунтовые плотины в криолитозоне России: опыт строительства, современное состояние, проблемы устойчивости в условиях меняющегося климата / Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 60-летию образования Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 28–30 сентября 2020 г. — Якутск, 2020. — С. 32–36.
2. Agboola O., Babatunde D. E., Fayomi O. S. I., Sadiku E. R., Popoola P., Moropeng L., Yahaya A., Mamudu O. A. A review on the impact of mining operation: monitoring, assessment and management // Results in Engineering. 2020, vol. 8. DOI: 10.1016/j.rineng.2020.100181. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302030089X?via%3Dihub> (дата обращения: 30.12.2020).
3. David M. C. Long-term risk of tailings dam failure // Alaska Park Science. 2014, vol. 13, no. 2. <http://www.nps.gov/articles/aps-v13-i2-c8> (дата обращения: 30.12.2020).
4. Cowan W. R., Mackasey W. O., Robertson J. G. A. The policy framework in Canada for mine closure and management of long-term liabilities: a guidance document; prepared for NOAMI. 2010, 123 p. <http://www.abandoned-mines.org/wp/wp-content/uploads/2015/06/PolicyFrameworkMinClosure2010.pdf> (дата обращения: 30.12.2020).
5. Кроник Я. А. Анализ безопасности гидротехнических сооружений в криолитозоне / Актуальные проблемы геокриологии: Сборник докладов расширенного заседания Научного совета по криологии Земли РАН. МГУ им. М.В. Ломоносова, 15–16 мая 2018 г. Пленарные доклады. Т. 1. — М.: Университетская книга, 2018. — С. 19–41.
6. Гузенков С. Н., Шульгина Н. К. Определение ущерба от гидродинамической аварии на хвостохранилище в северной климатической зоне // Гидротехническое строительство. — 2007. — № 7. — С. 39–42.
7. Назаров Л. А., Назаров Л. А., Джаманбаев М. Д., Чыныбаев М. К. Моделирование процесса тепломассопереноса в окрестности гидротехнических сооружений в криолитозоне // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 9. — С. 373–379.
8. Azam S., Li O. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years // Geotechnical News December. 2010, vol. 28, no. 4, pp. 50–53.

9. Owen J. R., Kemp D., Lèbre É., Svobodova K., Murillo G. P. Catastrophic tailings dam failures and disaster risk disclosure // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020, vol. 42, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2019.101361. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420919306648> (дата обращения: 30.12.2020).

10. Крупская Л. Т., Голубев Д. А., Волобуева Н. Г. Оценка экологической ситуации территории в зоне влияния хвостохранилища с токсичными отходами // Современные тенденции развития науки и технологий. — 2016. — № 1–2. — С. 97–100.

11. Krupskaya L. T., Panfilov O. O., Zvereva V. P. Estimation of environment pollution in zone of tailing dump influence in the south far east of Russia and necessity of monitoring organization // Future Energy, Environment and Materials. WIT Transactions on Engineering Sciences. 2014, vol. 88, pp. 499–504.

12. Davies M. P. Tailings impoundment failures: are geotechnical engineers listening? // Geotechnical News. 2002, September, pp. 31–36.

13. Glotov V. E., Chlachula J., Glotova L. P., Little L. Causes and environmental impact of the gold-tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East // Engineering Geology. 2018, vol. 245, no. 1, pp. 236–247. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.012.

14. Cowan W. R., Mackasey W. O., Robertson J. G. A. Case studies and decision making process for the relinquishment of closed mine sites. Consultant's report prepared for National Orphaned / Abandoned Mines Initiative (NAOMI) by Cowan Minerals Ltd. Sudbury, Ontario. July 2013. 82 p. http://www.abandoned-mines.org/pdfs/NOAMI_CaseStudiesandDecisionMaking-ProcessfortheRelinquishmentofClosedMineSitesFINAL.pdf (дата обращения: 30.12.2020).

15. Komljenovic D., Stojanovic L., Malbasic V., Lukic A. A resilience-based approach in managing the closure and abandonment of large mine tailing ponds // International Journal of Mining Science and Technology. 2020, vol. 30, no. 5, pp. 737–746. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.05.007.

16. Dondo S. J. Financial assurance for mine closure: a regulatory perspective from the argentine context. Centre for Social Responsibility in Mining Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland, Australia. May 2014. 20 p. <https://www.csr.mq.edu.au/publications/financial-assurance-for-mine-closure-a-regulatory-perspective-from-the-argentine-context> (дата обращения: 30.12.2020).

17. Ngole-Jeme V. M., Fantke P. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil // PloS One. 2017, vol. 12, no. 2, pp. 1–24. DOI: 10.1371/journal.pone.0172517. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0172517> 1. (дата обращения: 30.12.2020).

18. Kovlekov I. The dangerous gold mining tailing dumps / The Third European Conference on Earth Sciences». Proceedings of the Congress (August 25, 2015). «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2015, pp. 15–20.

19. Ковлеков И. И. Мониторинг химического состава воды в зоне складирования хвостов гидрометаллургической переработки золотосодержащих руд / Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию д.т.н., проф. Е.Н. Чемезова. — Якутск, 2018. — С. 234–240.

20. Ковлеков И. И., Константинов А. Ф., Альков С. П., Дмитриев А. А. Проблемы безопасности хвостохранилищ на бывших объектах золотодобычи // Горный журнал. — 2016. — № 9. — С. 76–80.

21. Ермаков Д. В., Воробьев-Десятовский Н. В. Основные проблемы обезвреживания цианидсодержащих растворов и пульпы золотодобывающей промышленности в России. Ч. 1. Общие подходы к вопросам обезвреживания цианидных стоков в России и за рубежом // Цветные металлы. — 2014. — № 6 (858). — С. 42–47.

22. Петров С. В. Исследование и разработка технологии обезвреживания отходов кучного выщелачивания золота под действием природных факторов: Дис. ... канд. техн. наук. — Иркутск: ИрГТУ, 2003. — 199 с.

23. Craig A. J. The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: an environmental perspective // *Applied Geochemistry*. 2015, vol. 57, pp. 194–205.

24. Каравайко Г. И., Кондратьева Т. Ф., Савари Е. Е., Седелникова Г. В., Григорьева Н. В. Патент РФ № 2245850, 31.12.2002. Способ очистки промышленных стоков от цианидов и тиоцианатов. 2005. Бюл. № 4. **ПАТ**

REFERENCES

1. Chzhan R. V. Embankment dams in the russian permafrost zone: construction experience, current state, problems of sustainability in a changing climate. *Ustoychivost' prirodnykh i tekhnicheskikh sistem v kriolitozone: Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchenoy 60-letiyu obrazovaniya Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Mel'nikova SO RAN*, 28–30 sentyabrya 2020 g. [Stability of Natural and Engineering Systems in Permafrost Area: Proceedings of All-Russian Conference with International Participation in Commemoration of the 60th Anniversary of Academician Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences. September 28–30, 2020], Yakutsk, 2020, pp. 32–36. [In Russ].

2. Agboola O., Babatunde D. E., Fayomi O. S. I., Sadiku E. R., Popoola P., Moropeng L., Yahaya A., Mamudu O. A. A review on the impact of mining operation: monitoring, assessment and management. *Results in Engineering*. 2020, vol. 8. DOI: 10.1016/j.rineng.2020.100181, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302030089X?via%3Dihub> (accessed 30.12.2020).

3. David M. C. Long-term risk of tailings dam failure. *Alaska Park Science*. 2014, vol. 13, no. 2, available at: <http://www.nps.gov/articles/aps-v13-i2-c8> (accessed 30.12.2020).

4. Cowan W. R., Mackasey W. O., Robertson J. G. A. *The policy framework in Canada for mine closure and management of long-term liabilities: a guidance document*, prepared for NOAMI. 2010, 123 p. available at: <http://www.abandoned-mines.org/wp/wp-content/uploads/2015/06/PolicyFrameworkMinClosure2010.pdf> (accessed 30.12.2020).

5. Kronik Ya. A. Analysis of the safety of hydraulic structures in the permafrost zone. *Aktual'nye problemy geokriologii: Sbornik dokladov rasshirennogo zasedaniya Nauchnogo soveta po kriologii Zemli RAN*. MGU im. M.V. Lomonosova, 15–16 maya 2018 g. Plenarnye doklady. T. 1. [Actual Problems of Geocryology: Council of Earth Cryology Enlarged Session Transactions, Russian Academy of Sciences. Lomonosov Moscow State University, May 15–16, 2018. Vol. 1], Moscow, Universitetskaya kniga, 2018, pp. 19–41. [In Russ].

6. Guzenkov S. N., Shul'gina N. K. Definition of damage from the hydrodynamic accident on tailing dump in Northern climatic zone. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 2007, no. 7, pp. 39–42. [In Russ].

7. Nazarov L. A., Nazarov L. A., Dzhamanbaev M. D., Chynybaev M. K. Modeling of heat and mass transfer processes in the vicinity of waterside structures located in cryolite zone. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 9, pp. 373–379. [In Russ].

8. Azam S., Li O. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical News December*. 2010, vol. 28, no. 4, pp. 50–53.

9. Owen J. R., Kemp D., Lèbre É., Svobodova K., Murillo G. P. Catastrophic tailings dam failures and disaster risk disclosure. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2020, vol. 42, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.ijdr.2019.101361, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420919306648> (accessed 30.12.2020).

10. Krupskaya L. T., Golubev D. A., Volobueva N. G. Assessment of ecological situation of the territory in the area of influence of the tailing dump with toxic wastes. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2016, no. 1–2, pp. 97–100. [In Russ].

11. Krupskaya L. T., Panflov O. O., Zvereva V. P. Estimation of environment pollution in zone of tailing dump influence in the south far east of Russia and necessity of monitoring organi-

zation. Future Energy, Environment and Materials. *WIT Transactions on Engineering Sciences*. 2014, vol. 88, pp. 499–504.

12. Davies M. P. Tailings impoundment failures: are geotechnical engineers listening? *Geotechnical News*. 2002, September, pp. 31–36.

13. Glotov V. E., Chlachula J., Glotova L. P., Little L. Causes and environmental impact of the gold-tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East. *Engineering Geology*. 2018, vol. 245, no. 1, pp. 236–247. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.012.

14. Cowan W. R., Mackasey W. O., Robertson J. G. A. *Case studies and decision making process for the relinquishment of closed mine sites*. Consultant's report prepared for National Orphaned / Abandoned Mines Initiative (NAOMI) by Cowan Minerals Ltd. Sudbury, Ontario. July 2013. 82 p., available at: http://www.abandoned-mines.org/pdfs/NOAMI_CaseStudiesandDecisionMakingProcessfortheRelinquishmentofClosedMineSitesFINAL.pdf (accessed 30.12.2020).

15. Komljenovic D., Stojanovic L., Malbasic V., Lukic A. A resilience-based approach in managing the closure and abandonment of large mine tailing ponds. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, no. 5, pp. 737–746. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.05.007.

16. Dondo S. J. *Financial assurance for mine closure: a regulatory perspective from the argentine context*. Centre for Social Responsibility in Mining Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland, Australia. May 2014. 20 p., available at: <https://www.csr.uq.edu.au/publications/financial-assurance-for-mine-closure-a-regulatory-perspective-from-the-argentine-context> (accessed 30.12.2020).

17. Ngole-Jeme V. M., Fantke P. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil. *PloS One*. 2017, vol. 12, no. 2, pp. 1–24. DOI: 10.1371/journal.pone.0172517, available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0172517> 1. (accessed 30.12.2020).

18. Kovlekov I. The dangerous gold mining tailing dumps. *The Third European Conference on Earth Sciences». Proceedings of the Congress (August 25, 2015)*. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2015, pp. 15–20.

19. Kovlekov I. I. Monitoring of chemical water quality in the area of the tailing dump of hydrometallurgical gold recovery plant. *Sovershenstvovanie tekhnologii gornykh rabot i podgotovka kadrov dlya obespecheniya tekhnosfernoy bezopasnosti v usloviyakh Severo-Vostoka Rossii*. Sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu d.t.n., prof. E.N. Chemezova [Mining Technology Improvement and Mine Personnel Training toward Safety of Technosphere in the North-East of Russia. Proceedings of All-Russian Conference in Commemoration of Professor Chemezov's 80th Anniversary], Yakutsk, 2018, pp. 234–240. [In Russ].

20. Kovlekov I. I., Konstantinov A. F., Al'kov S. P., Dmitriev A. A. Safety issues at tailings ponds at former gold mines. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 9, pp. 76–80. [In Russ].

21. Ermakov D. V., Vorob'ev-Desyatovskiy N. V. Main problems of neutralization of cyanide-containing solutions and pulps of russian gold-mining industry. Part 1. Common approaches to issues of neutralization of cyanide wastes in Russia and abroad. *Tsvetnye Metally*. 2014, no. 6 (858), pp. 42–47. [In Russ].

22. Petrov S. V. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii obezvrezhivaniya otkhodov kuchnogo vyshchelachivaniya zolota pod deystviem prirodnykh faktorov* [Research and development of technology for disposal of heap leaching of gold under the influence of natural factors], Candidate's thesis, Irkutsk, IrGTU, 2003, 199 p.

23. Craig A. J. The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: an environmental perspective. *Applied Geochemistry*. 2015, vol. 57, pp. 194–205.

24. Karavayko G. I., Kondrat'eva T. F., Savari E. E., Sedel'nikova G. V., Grigor'eva N. V. *Patent RU 2245850*, 31.12.2002. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ковлеков Иван Иванович — д-р техн. наук, профессор, e-mail: kovlekov@mail.ru, Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

I.I. Kovlekov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: kovlekov@mail.ru, Mining Institute, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Получена редакцией 31.12.2020; получена после рецензии 15.02.2021; принята к печати 10.06.2021.
Received by the editors 31.12.2020; received after the review 15.02.2021; accepted for printing 10.06.2021.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

(№ 1241/07-21 от 28.04.2021; 15 с.)

Дмитриева Валерия Валерьевна¹ — канд. техн. наук, доцент, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru, Собынин Алексей Андреевич¹ — студент, e-mail: sobyanin99@yandex.ru,

¹ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором получили широкое распространение. Из-за особенности выполнения короткозамкнутого ротора АД КЗ имеет специфичный пусковой режим — высокий пусковой ток. В промышленных электродвигателях пусковые токи могут достигать очень высоких значений, что приводит к просадкам напряжения в сети, перегрузкам подстанций и электропроводов, тяжелым динамическим режимам для приводимых механизмов. Для устранения этих недостатков используют устройство плавного пуска (УПП). Оно объединяет функции плавного пуска и торможения, защиты механизмов и электродвигателей. Представлены результаты моделирования прямого пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя и двигателя с тиристорным регулятором напряжения. Моделирование проводилось в программе SimPowerSystem, полученные результаты позволяют сравнивать прямой и плавный пуск двигателя. Устройство плавного пуска асинхронного двигателя уменьшает пусковые токи, устраняет рывки в механических передачах, что повышает срок службы электродвигателя, позволяет экономить электроэнергию и защищать технологическое оборудование, поскольку пусковой ток электродвигателя с УПП составляет $(2-4)I_{ном}$ двигателя, а не $(5-8)I_{ном}$, как при прямом пуске.

Ключевые слова: асинхронный короткозамкнутый двигатель, устройство плавного пуска, тиристорный преобразователь, система импульсно-фазного управления, частотный преобразователь, пусковой ток, механическая характеристика, рабочие характеристики двигателя, токи обмоток, скорость вращения ротора.

JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF USING A SOFT-START DEVICE FOR AN ASYNCHRONOUS MOTOR

V.V. Dmitrieva¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

A.A. Sobyinin¹, Student, e-mail: sobyanin99@yandex.ru,

¹ Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, Russia.

Asynchronous motors with a short-circuited rotor are widely used. Due to the peculiarity of the execution of the short-circuited rotor of an asynchronous motor, it has a specific starting mode, namely, a high starting current. In industrial electric motors, the starting currents can reach very high values, which leads to voltage drawdowns in the network, overloads of substations and electrical wiring, and heavy dynamic conditions for the driven mechanisms. To eliminate these shortcomings, a soft-start device is usually used. This device combines the functions of soft start and braking, protection of mechanisms and electric motors. The article presents the results of modeling the direct start of an asynchronous short-circuited motor and a motor with a thyristor voltage regulator. The simulation was carried out in the program SimPowerSystem, the results obtained allow us to compare the direct and smooth start of the engine. The soft-start device of the asynchronous motor reduces the starting currents, eliminates jerks in the mechanical gears, which increases the service life of the electric motor, saves electricity and protects the process equipment, since the starting current of the electric motor with it is $(2-4)I_{nom}$ of the engine, and not $(5-8)I_{nom}$, as in direct start-up.

Key words: asynchronous short-circuited motor, soft-start device, thyristor converter, pulse-phase control system, frequency converter, starting current, mechanical characteristic, motor operating characteristics, winding currents, rotor rotation speed.