

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УРАЛА

П.И. Тарасов¹, М.Л. Хазин², Р.А. Апакашев²

¹ ООО «Перспектива-М», Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный горный университет (УГГУ), Екатеринбург, Россия,
e-mail: Khasin@ursmu.ru

Аннотация: Урал занимает одно из первых мест среди регионов России, по наличию отходов, которые накопила и постоянно увеличивает горнодобывающая промышленность. Общий объем промышленных отходов, накопленных на Урале, оценивают в 9 млрд т. При добыче полезных ископаемых горнодобывающие предприятия формируют отвалы и хвостохранилища, значительно изменяющие естественную ландшафтную структуру, загрязняющие почву и атмосферу вредными веществами и соединениями. Происходит также изменение площадей в категориях земель промышленного и сельскохозяйственного назначения, в землях лесного фонда и запаса: площади промышленных земель увеличиваются, а площади сельскохозяйственных земель и земель лесного фонда уменьшаются. Значительное количество горной породы в отвалах и хвостах обогащения приводит к формированию экономических и экологических проблем. Применение этой горной массы в других отраслях промышленности становится насущной проблемой сегодняшнего дня. Вскрышные и вмещающие породы добываются из недр вместе с полезными ископаемыми и размещаются в виде отвалов и терриконов. Эти породы относятся к V классу опасности отходов, то есть считаются практически неопасными. Основным потребителем этих пород может быть строительная промышленность, в частности, в области строительства транспортных магистралей в северных и арктических районах. В технологии возведения земляного полотна используются значительные объемы земляной массы, которую вполне могут заменить отходы горнопромышленного производства. Применение уже имеющихся отходов горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности для строительства дорог позволяет решить две задачи: улучшить экологическую ситуацию в области расположения горных предприятий и по возможности сохранить природу вдоль будущей трассы.

Ключевые слова: экология, пустые породы, отвалы, Урал, строительство автодорог, железная дорога.

Благодарность: Исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 0833-2020-0008 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа», в том числе с использованием фондов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН (No Росс RU.0001.21 ПФ59, Единый российский реестр центров коллективного пользования — <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>).

Для цитирования: Тарасов П.И., Хазин М.Л., Апакашев Р.А. Использование отходов горнодобывающей промышленности Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 21–31. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-21-31.

Mining waste recycling in the Ural

P.I. Tarasov¹, M.L. Khazin², R.A. Apakashev²

¹ «Perspektiva-M» Ltd, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia, e-mail: Khasin@ursmu.ru

Abstract: The Ural takes one of the first places among the Russian regions in terms of waste currently in storage and being persistently accumulated by the mining industry. By estimates, the volume of the currently accumulated industrial waste in the Ural is 9 Bt. Dump piles and tailings ponds of mineral mining and processing drastically transform natural landscapes and contaminate soil and air with toxic substances and compounds. Mining-induced damage affects industrial and agricultural areas, as well as forest funds: industrial areas grow while the agricultural land and the forest fund diminish. Gangue dumps and tailings ponds cause numerous ecological and economical problems. It is of the current concern to start using this waste in different industries. Overburden rocks and side rocks still contain minerals but are placed on ground surface in dumps and gob piles. This waste belongs to hazard category V and is assumed as nonhazardous. The primary user of this waste may be the construction industry, particularly construction of traffic arteries in the northern and arctic regions. Roadbed construction technologies consume considerable volumes of earth which is quite substitutable with mining waste. Recycling of mining and processing waste in road construction can solve two major problems connected with improvement of ecological situation in mining areas and preservation of nature along future roads.

Key words: ecology, barren rock, dumps, Ural, highway engineering, railway.

Acknowledgements: The study was carried out under the State Contract with the Ural State Mining University, No. 0833-2020-0008: Development and Ecological-Economical Justification of Reclamation Technology for Mining- and Metallurgy-Disturbed Land Using Novel Improvers and Fertilizers, using the equipment of the Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, No. Ross RU.0001.21 PF59, Unified Russian Register for Shared Use Centers; available at: <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>.

For citation: Tarasov P. I., Khazin M. L., Apakashev R. A. Mining waste recycling in the Ural. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):21-31. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-21-31.

Введение

Горнодобывающая и горно-перерабатывающая промышленность интенсивно воздействует на окружающую природную среду, вызывая ее изменение, которое обобщают понятием «неблагоприятная экологическая ситуация». Экологическое равновесие районов, где располагаются горные предприятия (карьеры, рудники, обогатительные фабрики), нарушается частично или даже полностью вследствие образования техногенных ландшафтов за счет создания вскрышных отвалов, хвостохранилищ,

дражных полигонов и др. Наличие таких техногенных образований приводит к загрязнению почвы и атмосферы вредными веществами и соединениями.

В настоящее время вопросам экологии, энерго- и ресурсосбережения уделяется все больше внимания. Отходы добычи полезных ископаемых, особенно в виде пустых пород и хвостов, могут иметь серьезные социальные и экологические последствия, поэтому важно обеспечить экологически безопасное и надежное управление отходами горнодобывающей и горно-перерабатывающей

промышленности со стороны государства. Степени утилизации горных материалов различаются, и систематическое восстановление не является распространенным явлением в европейских странах [1]. В связи с этим существует необходимость в комплексных долгосрочных стратегиях по преобразованию горнодобывающей промышленности для перехода к нулевому экологическому следу [2, 3].

Образование, накопление, хранение и утилизация отходов для России также является достаточно острой проблемой, затрагивающей большинство регионов. Основными источниками отходов являются предприятия горной промышленности, топливно-энергетического комплекса и сельского хозяйства. За период функционирования горнопромышленного комплекса России накоплено примерно 80–100 млрд т отходов недропользования, и это количество ежегодно увеличивается на 1,5–2 млрд т. Из всего объема минерального сырья, извлекаемого из недр Земли, в конечный продукт превращается только 1,5–2,0%, а остальная порода переводится в отвалы и хвостохранилища [4].

Вследствие постоянно снижающегося содержания полезных ископаемых в добываемом сырье объем отходов, образующихся в результате его первичной переработки, постоянно увеличивается (рис. 1).

Теория вопроса

Образование отвалов и хвостохранилищ является основным способом размещения пустой породы и отходов горного производства, которые изменяют природный ландшафт. В настоящее время часть промышленных отходов предприятий утилизируется. Наибольшее количество промышленных отходов в 2017 г. (3017,7 млн т, или 93% от общего количества) было утилизировано при добыче полезных ископаемых [5]. Однако горная масса, накопленная до 1993 г., пока не перерабатывается.

Отходы горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности занимают суммарную площадь более 2000 тыс. км² [6], в том числе на долю хвостохранилищ и шламонакопителей приходится примерно 0,6 тыс. км², а на терриконы, отвалы, золо- и шлакоотвалы — около 1 тыс. км².

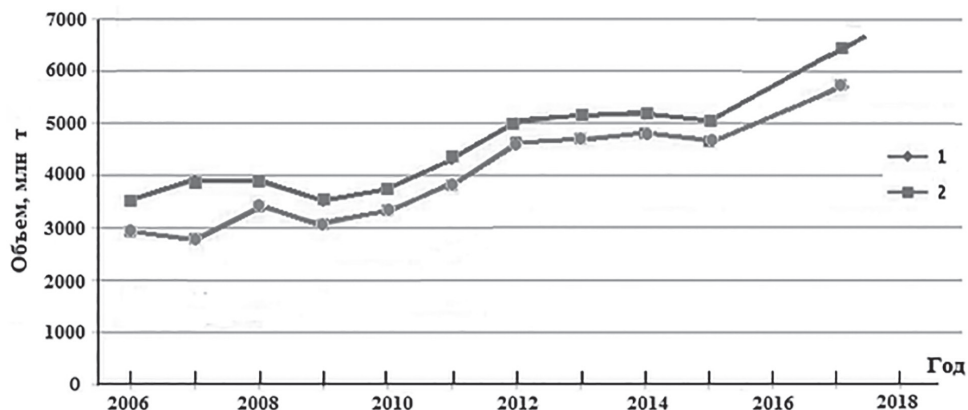


Рис. 1. Количество накопленных отходов в России*: 1 — все отходы; 2 — отходы, образовавшиеся при добыче полезных ископаемых

* По данным Росприроднадзора: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/obrashchenie-s-otkhodami-proizvodstva-i-potrebleniya/otkhody-proizvodstva-i-potrebleniya/>

Fig. 1. Amount of accumulated waste in Russia: 1 — all waste; 2 — waste from mining

Происходит также изменение площади в категориях земель промышленного и сельскохозяйственного назначения, в землях лесного фонда и запаса: площади земель промышленности увеличиваются, а площади сельскохозяйственных земель и земель лесного фонда уменьшаются [7]. Так, в процессе производственной деятельности площадь

отчуждаемых горными предприятиями земель возрастает примерно на 85–90 км² ежегодно [8, 9].

К настоящему времени в Уральском регионе накоплено около 9 млрд т [9, 10] различных промышленных отходов. К ним относятся:

- 43,9 млн т отходов химического производства;

Физико-механические свойства пород
Physical and mechanical properties of rocks

Порода	Коэффициент разрыхления	Коэффициент крепости по шкале Протодяконова	Объемный вес (средний), т/м ³	Прочность на сжатие, МПа
Горблагодатское РУ				
Туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты, порфириды	1,50–1,65	10–16	2,6	–
Осокино-Александровское месторождение				
Алевролиты, аргиллиты с прослоями базальтовых порфиритов и известняков, туфогенные песчаники	1,6	8–15	2,7	–
Высокогорское месторождение				
Безрудные скарны, известняки, порфириды, роговики, сиениты и туфы	1,65–1,85	8–14	1,7–3,3	140–160
Естюнинское месторождение				
Роговики, пироксен-плагиоклазы, сиениты, скарны	1,5–1,6	10–18	1,9–3,3	118–308
Дегтярский рудник				
Альбитофиры	10–18		2,1–2,5	23,2
Кварцево-серицитовые сланцы	8–10		2,6–2,8	65,9
Чернушинское месторождение				
Альбитофиры	–	3–8	2,6–2,8	29–82
Порфириды	–	9–12	2,67–2,80	81–158
Сланцы хлоритсерицитов	–	2–6	2,3–2,7	25–70
Вадимо-Александровское месторождение				
Известняки	–	7–9	2,3–2,5	71–107
Эпидот-хлоритовые породы	–	3–4	2,1–2,4	24–26
Тальк-хлоритовые породы	–	3–4	2,2–2,6	30–34
Скарны	–	8–10	2,8–3,2	72–105
Скарны с магнетитом	–	9–11	3,0–3,4	102–104
Примечание. Показатели свойств горных пород приведены по данным работы [10].				

- 210,8 млн т золо- и шлакоотвалов;
- 232,7 млн т отходов в шламохранилищах и шлакоотвалах металлургического производства;
- 1,7 млрд т отходов в отвалах обогащения;
- 6,3 млрд т вскрышных (вмещающих) пород, некондиционных руд, шламов рудничных вод в отвалах.

Только на предприятии ЗАО «Золото Северного Урала» (входящего в ОАО «Полиметалл») при ведении открытых горных работ ежегодно образуется 8–9 млн т отходов, основную часть которых составляют вскрышные породы.

К настоящему времени в Гороблагодатском РУ накоплено: 185,2 млн т (Центральный карьер), 143,9 млн т (Александровский карьер) и 16,8 млн т (Валуевский отвал) вскрышных пород (табл. 1). Начиная с 1989 г. в карьере «Центральный» вскрышные породы не складировываются в отвалы, а применяются для рекультивации зоны обрушения шахты «Южная». В последние годы на базе этого карьера работает щебеночный завод, перерабатывающий пустую породу и выпускающий до 1 млн т щебня в год [10].

За время почти трехвековой деятельности Высокогорского ГОК в отвалах пустых пород и шламохранилищах накоплено 91,4 млн м³ отходов, которые занимают площадь 597,4 га. В одноярусных отвалах Дегтярского рудника высотой 5–12 м заскладировано около 600 тыс. м³ вскрышных и вмещающих пород.

Вскрышные породы Меднорудянского и Гальянского карьеров состоят из смеси известняка и глины. На Чернушинском и Красногвардейском рудниках еще остались вмещающие и вскрышные породы в отвалах высотой до 5 м [10].

В отвалах Уральских горных предприятий находятся различные вскрышные и вмещающие породы, свойства которых приведены в таблице.

Хвосты сухой магнитной сепарации Качканарского ГОКа после фракционирования могут быть использованы в строительстве в качестве мелкого заполнителя для тяжелого бетона. Хвосты мокрой магнитной сепарации также могут быть использованы в качестве вязкого компонента портландцементной сырьевой смеси, а также при производстве силикатного кирпича. По данной технологии (Березниковский завод) уже изготовлено более 10 млн штук силикатного кирпича.

Отходы медной промышленности в количестве около 67 млн т сосредоточены в отвалах вскрышных и вмещающих пород, забалансовых руд, основная часть которых (свыше 10 млн т) накоплена рудниками Волковским, Сафьяновским и Красноуральским медеплавильным комбинатом. Породы из отвалов Турьинского медного рудника (отработанное месторождение) в основном рекультивированы, залесены естественным путем, а также применялись при закладке горных выработок и строительстве дамб хвостохранилищ обогатительной фабрики.

Обсуждение результатов

Одним из способов решения экологических проблем, связанных с большим объемом отходов горных пород, хранящихся в горнодобывающих районах, является использование этих материалов в других отраслях промышленности [3, 11]. Стратегическим потребителем таких отходов может стать строительная промышленность, которая нуждается как в малоресурсо- и энергоемких материалах, так и в материалах, обладающих уникальными свойствами по износостойкости, теплоизоляции, прочности и долговечности.

Вскрышные и вмещающие породы, добываемые из недр вместе с полезными ископаемыми, размещаются в виде

отвалов и терриконов, нарушая экологическое равновесие окружающей среды. Эти породы относятся к V классу опасности отходов, то есть считаются практически неопасными, но при этом содержат в себе различные компоненты, которые могут быть использованы при изготовлении многих видов строительных материалов [11, 12]. Для этой цели пригодно не менее 30% вскрышных и очистных хвостов, практически все металлургические и топливные шлаки [5, 11, 13 – 15].

Показано [3], что применение золошлаковых отходов и пород шахтных отвалов вместо традиционно используемо-

го природного сырья при производстве строительных материалов позволяет снизить их себестоимость на 25–30%.

В технологии возведения земляного полотна используют значительные объемы земляной массы. Предлагается в качестве земляной массы использовать отходы горнопромышленного производства [5, 11 – 17]. Горная масса из отвалов по своим физико-механическим свойствам способна обеспечить устойчивость, прочность и долговечность земляного полотна, снизить расходы как на его возведение и содержание, так и на перспективное развитие железнодорожной линии. Это, например, «Белкомур» – же-

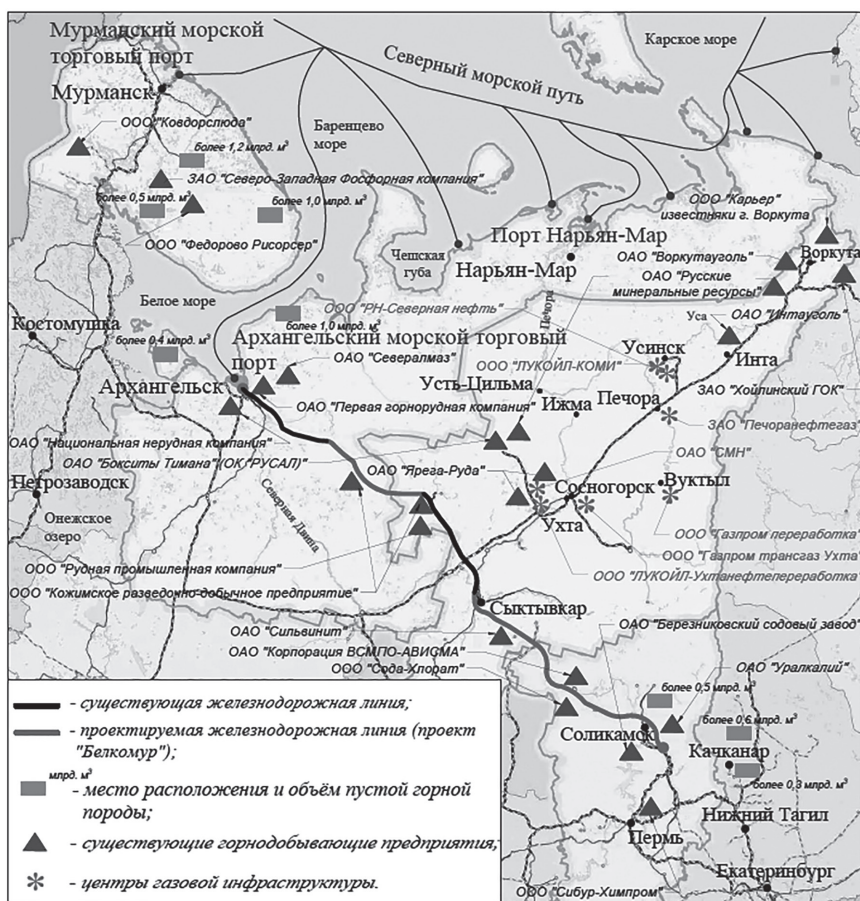


Рис. 2. «Белкомур» – железнодорожная магистраль ближайшего будущего

Fig. 2. Belkomur – the railway of the near future

лезнодорожная магистраль ближайшего будущего, которая соединит Сибирь и Урал кратчайшим путем с Белым, Баренцевым и Балтийским морями (рис. 2).

При строительстве транспортных магистралей наиболее материалоемкой частью являются слои основания, как имеющие максимальную толщину. В связи с этим часто приходится разрабатывать карьеры вдоль будущей трассы, чтобы получить необходимый объем земляной массы. В результате этого еще на стадии строительства нарушается экологическое равновесие вдоль маршрута будущей трассы.

Применение уже имеющихся отходов горной отрасли для строительства дорог позволяет решить две задачи: улучшить экологическую ситуацию в области расположения горных предприятий и по возможности сохранить природу вдоль будущей трассы.

Особенно это актуально, если строительство транспортной магистрали находится в непосредственной близости от местонахождения техногенного сырья. В этом случае сокращаются затраты на логистику, снижается негативное воздействие породного отвала на окружающую среду и экономится природное минеральное сырье. В случае разведки новых месторождений полезных ископаемых при прокладке трассы возможно применение безотвальной технологии разработки карьера, поскольку вскрышные породы сразу будут использованы при строительстве дорог.

К настоящему времени из промышленных отходов, наиболее широко в придорожном строительстве используются шлаки черной и цветной металлургии, которые частично заменяют традиционные вяжущие материалы — цемент и известь [18–20]. При формировании теплоизолирующих слоев и оснований дорог также используются отходы угольных электростанций: шлаки и золошла-

ковые смеси. Как показывает практика [4], себестоимость таких материалов вдвое ниже, чем традиционных.

В качестве примера можно привести опыт разработки проекта на строительство автомобильной дороги Обход г. Челябинска Уральским филиалом «УралГИПРОДОРНИИ» [21].

К сожалению, в РФ пока не имеется методологии исследования техногенных месторождений, их экологической безопасности и соответствующих стандартов. В настоящее время приходится пользоваться устаревшими ГОСТами строительной отрасли. Это, например, ГОСТ 25137-82 «Материалы нерудные строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетона пористые»; 26644-85 «Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетонов», 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия»; ГОСТ 25818-91 «Золы уноса тепловых электростанций для бетонов»; ГОСТ 5578-94 «Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов» и др.

Кроме того, не разработана классификация объектов размещения отходов горной промышленности, позволяющая учитывать их специфику.

Заключение

Отходы горной промышленности являются наиболее распространенными видами отходов, которые в подавляющем большинстве случаев неопасны. Сфера применения вмещающих и вскрышных пород, находящихся в отвалах, определяется их физико-механическими свойствами, гранулометрическим, минеральным и химическим составом, степенью однородности, а также некоторыми другими особенностями.

Одним из перспективных способов использования отходов в горнодобываю-

щей промышленности является закладка выработанного пространства подземных горных выработок, реализованная на многих рудниках.

Другим и более перспективным способом является использование горной массы при строительстве дорог в различных климатических и географических районах. Это даст возможность

уменьшить себестоимость материалов, расширить сырьевую базу строительной индустрии, улучшить экологию районов, где проводится добыча полезных ископаемых, и вдоль проектируемых транспортных магистралей, а также получить дополнительную прибыль горным предприятиям как Уральского, так и других регионов России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dino G.A., Danielsen S.W., Chiappino C., Engelsen C.J.* Recycling of rock materials as part of sustainable aggregate production in Norway and Italy // *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. 2017. Vol. 50. Pp. 412–416. DOI: 0.1144/qjgegh2016-131.

2. *Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A.* Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations // *Minerals*. 2019. Vol. 9. No 5. Pp. 286. DOI: 10.3390/min9050286.

3. *Aznar-Sánchez J.A., García-Gómez J.J., Velasco-Muñoz J.F., Carretero-Gómez A.* Mining waste and its sustainable management: advances in worldwide research // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 7. Pp. 284. DOI: 10.3390/min8070284.

4. Утилизация отходов — проблемы, пути, решения. Аналитический обзор ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2015. URL: http://www.extech.ru/files/anr_2015/anr_5.pdf (дата обращения 14.12.2019).

5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [дата опубликования 28.12.2018 г.]. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 20.12.2019 г.).

6. *Худякова Л. И., Войлошников О. В., Тимофеева С. С.* Магнийсиликатные породы горнодобывающей промышленности и технологии их утилизации. — Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. — 177 с.

7. *Тарасов П. И., Хазин М. Л., Голубев О. В.* Снижение геоэкологической нагрузки горно-перерабатывающей промышленности северных и арктических территорий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2019. — № 7. — С. 74–82. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-74-82.

8. *Комаров М. А., Алискеров В. А., Кусевич В. И., Заверткин В. Л.* Горнопромышленные отходы — дополнительный источник минерального сырья // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. — 2007. — № 4. — С. 3–9.

9. *Волынкина Е. П.* Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. — 2017. — № 2 (20). — С. 43–49.

10. *Мормиль С. И., Сальников В. Л., Амосов Л. А., Хасанова Г. Г., Семячков А. И., Зобнин Б. Б., Бурмистренко А. В.* Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду. — Екатеринбург, 2002. — 206 с.

11. *Agyeman S., Ampadu S. I. K.* Exploring the techno-economic feasibility of mine rock waste utilisation in road works: The case of a mining deposit in Ghana // *Waste Management & Research*. 2016. Vol. 34. No 2. Pp. 156–164. DOI: 10.1177/0734242X15611739.

12. *Лютенко А. О., Лебедев М. С., Строкова В. В.* Анализ отходов горной добычи как потенциального источника сырья для производства дорожно-строительных материалов //

Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-2. – С. 445–449.

13. Бурявчук Н. И., Гурьянова О. В. Использование техногенного сырья в производстве нерудных строительных материалов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 1. – С. 75–80.

14. Худякова Л. И. Использование отходов горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2. – № 2. – С. 45–56.

15. Samir M., Alama F., Buysse P., van Nylen T., Ostanin O. Disposal of Mining Waste: Classification and International Recycling Experience // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 41. Article 02012. DOI: 10.1051/e3sconf/20184102012.


16. Хазин М. Л., Тарасов П. И., Голубев О. В., Дмитриев В. Т. Пустые породы и отходы производства горно-обогатительных комбинатов – основа для строительства транспортных магистралей // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – № 4 (48). С. 90–94. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-4-90-94.

17. Abukhattala M. Use of recycled materials in road construction / Proceedings of the 2nd International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'16). 2016. Vol. 138. pp. 1–8.

18. Bastos L.A. C., Silva G. C., Mendes J. C., Peixoto R. A. F. Using iron ore tailings from tailing dams as road material // Journal of Materials in Civil Engineering. 2016. Vol. 28. No 10. Article 04016102. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001613.

19. Gayana B. C., Chandar K. R. Sustainable use of mine waste and tailings with suitable admixture as aggregates in concrete pavements – A review // Advances in Concrete Construction. 2018. Vol. 6. No 3. Pp. 221–243. DOI: 10.12989/acc.2018.6.3.221.

20. Cristelo N., Coelho J., Oliveira M., Cesar Consoli N., Palomo Á., Fernández-Jiménez A. Recycling and application of mine tailings in alkali-activated cements and mortars – strength development and environmental assessment // Applied Sciences. 2020. Vol. 10. No 6. Pp. 2084. DOI: 10.3390/app10062084.

21. Трофимов К. С., Понарина О. М. Опыт применения отходов горнодобывающей промышленности при проектировании и строительстве автомобильной дороги Обход г. Челябинска // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАОГИПРОДОРНИИ. – 2010. – № 1. – С. 50–57. 

REFERENCES

1. Dino G.A., Danielsen S.W., Chiappino C., Engelsen C.J. Recycling of rock materials as part of sustainable aggregate production in Norway and Italy. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. 2017. Vol. 50. Pp. 412–416. DOI: 0.1144/qjgegh2016-131.

2. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019. Vol. 9. No 5. Pp. 286. DOI: 10.3390/min9050286.

3. Aznar-Sánchez J.A., García-Gómez J.J., Velasco-Muñoz J.F., Carretero-Gómez A. Mining waste and its sustainable management: advances in worldwide research. *Minerals*. 2018. Vol. 8. No 7. Pp. 284. DOI: 10.3390/min8070284.

4. *Utilizatsiya otkhodov – problemy, puti, resheniya. Analiticheskiy obzor FGBNU NII RINKTSE* [Waste Management – Problems, Ways, Solutions. Analytical review of the Federal State Budgetary Scientific Institution Research Institute of RINCCE], 2015, available at: http://www.extech.ru/files/anr_2015/anr_5.pdf (accessed 14.12.2019). [In Russ].

5. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu»* [State report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2017»], available at: <http://www.mnr.gov.ru> (accessed 20.12.2019 г.). [In Russ].

6. Khudyakova L. I., Voyloshnikov O. V., Timofeeva S. S. *Magniysilikatnye porody gornodobyvayushchey promyshlennosti i tekhnologii ikh utilizatsii* [Magnesium silicate rocks of the mining industry and technologies for their disposal], Novosibirsk, 2014, 177 p.

7. Tarasov P. I., Khazin M. L., Golubev O. V. Mitigation of environmental impact of mining and processing industry in the Russian North and Arctic territories. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 7, pp. 74–82. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-74-82.

8. Komarov M. A., Aliskerov V. A., Kusevich V. I., Zaverkin V. L. Mining and industrial waste – an additional source of mineral raw materials. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie.* 2007, no 4, pp. 3–9. [In Russ].

9. Volynkina E. P. Analysis of the status and problems of processing industrial waste in Russia. *Bulletin of the Siberian State Industrial University.* 2017, no 2 (20), pp. 43–49. [In Russ].

10. Mormil' S. I., Sal'nikov V. L., Amosov L. A., Khasanova G. G., Semyachkov A. I., Zobnin B. B., Burmistrenko A. V. *Tekhnogennyye mestorozhdeniya Srednego Urala i otsenka ikh vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu* [Technogenic deposits of the Middle Urals and assessment of their impact on environment]. Ekaterinburg, 2002, 206 p.

11. Agyeman S., Ampadu S. I. K. Exploring the techno-economic feasibility of mine rock waste utilisation in road works: The case of a mining deposit in Ghana. *Waste Management & Research.* 2016. Vol. 34. No 2. Pp. 156–164. DOI: 10.1177/0734242X15611739.

12. Lyutenko A. O., Lebedev M. S., Strokova V. V. Analysis of mining waste as a potential source of raw materials for the production of road-building materials. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura.* 2013, no 31-2, pp. 445–449. [In Russ].

13. Buravchuk N. I., Gur'yanova O. V. Use of technogenic raw materials in the production of non-metallic building materials. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki.* 2015, no 1, pp. 75–80. [In Russ].

14. Khudyakova L. I. The use of mining waste in the production of building materials. *XXI century. Technosphere safety.* 2017. vol. 2, no 2, pp. 45–56. [In Russ].

15. Samir M., Alama F., Buysse P., van Nylen T., Ostanin O. Disposal of Mining Waste: Classification and International Recycling Experience. *E3S Web of Conferences. EDP Sciences.* 2018. Vol. 41. Article 02012. DOI: 10.1051/e3sconf/20184102012.

16. Khazin M. L., Tarasov P. I., Golubev O. V., Dmitriev V. T. Empty rocks and waste produced by mining and processing plants – the basis for the construction of highways. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta.* 2017, no 4 (48), pp. 90–94. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2017-4-90-94.

17. Abukhettala M. Use of recycled materials in road construction. *Proceedings of the 2nd International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'16).* 2016. Vol. 138. pp. 1–8.

18. Bastos L. A. C., Silva G. C., Mendes J. C., Peixoto R. A. F. Using iron ore tailings from tailing dams as road material. *Journal of Materials in Civil Engineering.* 2016. Vol. 28. No 10. Article 04016102. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001613.

19. Gayana B. C., Chandar K. R. Sustainable use of mine waste and tailings with suitable admixture as aggregates in concrete pavements – A review. *Advances in Concrete Construction.* 2018. Vol. 6. No 3. Pp. 221–243. DOI: 10.12989/acc.2018.6.3.221.

20. Cristelo N., Coelho J., Oliveira M., Cesar Consoli N., Palomo Á., Fernández-Jiménez A. Recycling and application of mine tailings in alkali-activated cements and mortars – strength development and environmental assessment. *Applied Sciences.* 2020. Vol. 10. No 6. Pp. 2084. DOI: 10.3390/app10062084.

21. Trofimov K. S., Ponarina O. M. Experience in the use of mining waste in the design and construction of roads bypassing the city of Chelyabinsk. *Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomobil'nykh dorog. Sbornik nauchnykh trudov OAOGIPRODORNII.* 2010, no 1, pp. 50–57. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тарасов Петр Иванович — канд. техн. наук, зам. директора по научной работе, «Перспектива-М», e-mail: tp6005@mail.ru.

*Хазин Марк Леонтьевич*¹ — д-р техн. наук, профессор, e-mail: Khasin@ursmu.ru,

*Апакашев Рафаил Абдрахманович*¹ — д-р хим. наук, профессор, e-mail: parknedra@yandex.com,

¹ Уральский государственный горный университет.

Для контактов: Хазин М.Л., e-mail: Khasin@ursmu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

P.I. Tarasov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director for Science,

«Perspektiva-M» Ltd, 620219, Ekaterinburg, Russia, e-mail: tp6005@mail.ru,

*M.L. Khazin*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: Khasin@ursmu.ru,

*R.A. Apakashev*¹, Doctor of Chemical Sciences, professor, e-mail: parknedra@yandex.com,

¹ Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia.

Corresponding author: M.L. Khazin, e-mail: Khasin@ursmu.ru.

Получена редакцией 13.01.2020; получена после рецензии 17.09.2020; принята к печати 10.12.2020.

Received by the editors 13.01.2020; received after the review 17.09.2020; accepted for printing 10.12.2020.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

(№ 1232/01-21 от 30.11.2020; 15 с.)

Сафаров Зафар Зафарович — аспирант, НИТУ «МИСиС», e-mail: safarov-zafar@mail.ru.

Большая часть промышленной, коммерческой и домашней нагрузки является нелинейной и уровень искажений токов и напряжений может существенно превосходить нормативные значения. Высшие гармоники приводят к потерям в обмотках статора и ротора электродвигателей, а значит, к росту температуры машины и локальным перегревам. В трансформаторах высшие гармоники вызывают увеличение потерь: на гистерезис; связанных с вихревыми токами стали: в обмотках трансформатора. В электрических машинах и трансформаторах высшие гармоники приводят к сокращению срока службы изоляции; в линиях электропередач — к дополнительным потерям и увеличению повреждений кабельной линии. Существуют различные способы уменьшения высших гармоник в системах электроснабжения. Рассмотрены мероприятия, позволяющие решить проблему повышения качества электроэнергии при работе электроприводов с полупроводниковыми преобразователями.

Ключевые слова: электропривод, полупроводниковый преобразователь, качество электроэнергии, фильтрокомпенсирующее устройство, активный выпрямитель напряжения, активный фильтр гармоник.

ANALYSIS OF MEASURES TO IMPROVE THE QUALITY OF ELECTRICITY WHEN OPERATING ELECTRIC DRIVES WITH SEMICONDUCTOR CONVERTERS

Z.Z. Safarov, Graduate Student National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: safarov-zafar@mail.ru.

Currently, most industrial, commercial and domestic loads are non-linear and the level of distortion of currents and voltages can significantly exceed the regulatory values. Higher harmonics lead to losses in the stator and rotor windings of electric motors. The losses, in turn, lead to an increase in the temperature of the machine and local overheating. In transformers, higher harmonics cause an increase in hysteresis and eddy current losses in the steel, as well as losses in the transformer windings. Higher harmonics in electrical machines and transformers reduce the life of the insulation. In power lines, higher harmonics lead to additional losses as well as to increased damage to the cable line. There are various ways to reduce higher harmonics in power supply systems containing semiconductor converters. This article discusses measures to solve the problem of improving the quality of electricity when operating electric drives with semiconductor converters.

Key words: electric drive, semiconductor converter, power quality, filter compensating device, active voltage rectifier, active harmonic filter.