



ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Т. П. Дарбинян

*Заполярный филиал ПАО “ГМК “Норильский никель”
пл. Гвардейская 2, г. Норильск 663302, Россия*

Приведена принципиальная технологическая схема способа производства твердеющих смесей с использованием гранулированного шлака, цемента, ангидрита, щебня и хвостов обогащения, являющихся отходами металлургического производства. Показаны наибольший удельный вес типов закладки техническое оснащение закладочных компонентов. Описано производство закладочных смесей на руднике “Комсомольский”. Установлено, что применение пластифицированных добавок закладочные смеси позволяет улучшить показатели, повысить производительность закладочного комплекса со снижением эксплуатационных затрат.

Закладочная смесь, технология, рудник, шлак, щебень, цемент, ангидрит

INDUSTRIAL APPLICATION OF PLASTICIZED BACKFILL MIXTURES

T. P. Darbinyan

*Polar Division of “MMC “Norilsk Nickel”
pl. Gvardeiskaya 2, Norilsk 663302, Russia*

A schematic flow diagram of a method for the production of hardening mixtures using granulated slag, cement, anhydrite, crushed stone and tailings of metallurgical waste is presented. The largest specific weight of backfill types is shown, technical equipment of backfill components. The production of backfill mixtures at the Komsomolsky mine is described. It is found that the use of plasticized additives for backfill mixtures allows improving performance, increasing the operating efficiency of a backfilling system and decreasing the operating costs.

Backfill mixture, technology, mine, slag, crushed stone, cement, anhydrite

Система разработки с твердеющей закладкой применяется на основных горнодобывающих предприятиях Заполярного филиала ПАО “ГМК “Норильский никель”: рудник “Комсомольский” (далее — ПЗК РК), рудник “Скалистый” (далее — ПЗК РС), рудник “Маяк” (далее — ПЗК РМ); рудник “Таймырский” (далее — ПЗК РТ); рудник “Октябрьский” (далее — ПЗК РО). Производство закладочных смесей осуществляется по “мельничной” технологии. Принципиальная технологическая схема “мельничного” способа производства твердеющих смесей представлена на рис. 1. Основное техническое оснащение закладочных комплексов отражено в табл. 1.

В качестве сырьевых материалов для производства твердеющих смесей используются: гранулированный шлак крупностью 0–5 мм, являющийся отходом никелевого металлургического производства (Наждинский металлургический завод); ангидрит фракции 0–300 мм (подземный рудник “Ангидрит”), щебень фракции 0–30 мм (фабрика щебня карьера “Скальный”); цемент ПЦ300-Д20 (Норильский цементный завод), хвосты обогащения (Талнахская обогатительная фабрика) [1–9]. Годовой объем закладочных работ на рудниках ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель” (далее ЗФ) достигает 4 млн м³. Затраты на закладку составляют порядка 4 млрд руб./год. При этом наибольший удельный вес (рис. 2) имеют составы на основе ангидрита АШЦ — 28.9 и АШЩЦ — 29.6%, далее ШЩЦ — 26.4% и ШХЦ — 15.1%. При этом закладка М10 составляет 2.9%; М30 — 86.2; М60 — 4.8; М100 — 6.1%.

ТАБЛИЦА 1. Основное техническое оснащение закладочных комплексов (ПЗК)

ПЗК	Производительность, ПЗК тыс. м ³ /год	Характеристика шаровых мельниц			Тип склада, емкость		Наличие стадии предварительного дробления (материал) / состояние	Дозирующее оборудование: цемент / другие материалы	Наличие расходомеров воды
		марка мельниц (количество / год ввода)	мощность электродвигателя, кВт/ч	Производительность, м ³ /ч	цемент	ангидрита / граншлака / щебня			
ШК	Всего 1297,8 (план 2016 г.)	МС 4 × 13,5 (2/1975)	3200	180–240	Силосный 2×750 т	Крытый 3000 / 5000 / 3000 т	Валковая MERZ WBP 5/12 (шлак) / в ремонте Молотковая СМД 97А, N = 800 кВт, Q = 600–800 т/ч (совместно – ангидрит, шлак, щебень) / в работе	Шнековые дозаторы KUKLAD-W-RFS-500 / питатель / КТ-12, КТ 10, КТ-8; конвейерные весы EMSYS BW 301	Нет
РТ	1100	МШР 4,5×5 (3/1982)	2500	80–120	Силосный, 600 т	Открытый 5000 / 10000 / 5000 т	нет	Дозатор цемента СБ-71	Нет
РО	1650	МС 4×13,5 (2/1985) МШС 4×5,5 (1/1974)	3200 2000	200–240 80–120	Силосный 1100 т	Открытый 4000 / 6000 / 10000 т	Молотковая СМД-97А, N = 800 кВт, Q = 600–800 т/ч (ангидрит) / в работе	Дозатор цемента 4488-ДН-У / питатели КТ	Нет
ШС	925 (проект)	СММ 4 × 13,5 (2/2015)	3200	180–240	Силосный 900 т	Открытый 5000 / 8000 т / —	нет	Дозаторы 4488-ДН-У на всех материалах, исключая ангидрит питатель КТ-12	Электромагнитный расходомер воды SITRANS FM MAFFLO
РМ	450	МТ 3,2×15 (1/1973)	2000	70–120	Силосный 900 т	Открытый 2000 / 2500 т / —	Молотковая дробилка ДЭМ-97А (ангидрит)	Дозатор СБ-71 / питатели КТ-8, КТ10	Нет

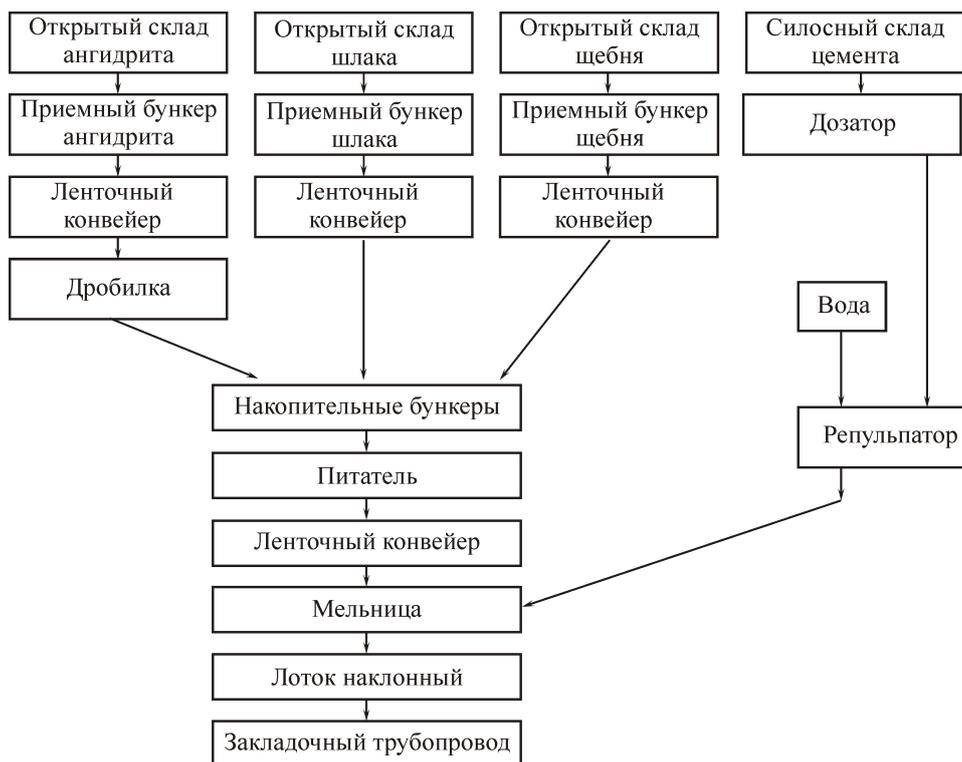


Рис. 1. Принципиальная схема приготовления закладочных смесей на рудниках

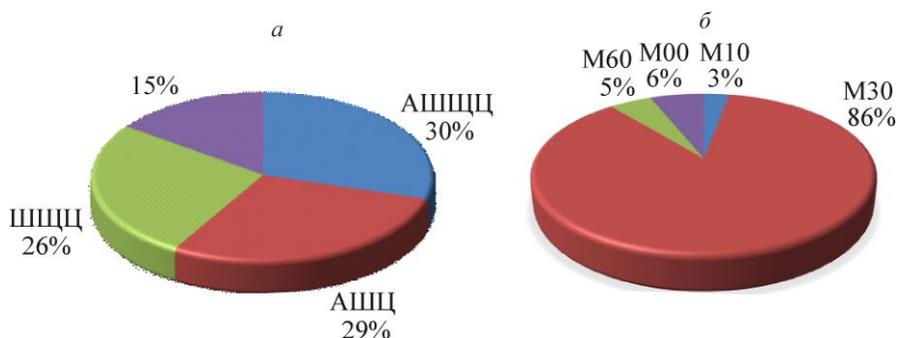


Рис. 2. Удельный вес: а — типов закладки; б — марок закладки

В производственной себестоимости добычи руды системами разработки с закладкой выработанного пространства на долю закладочных работ приходится 21–22%. В себестоимости закладки затраты на материалы составляют 60–61%. В структуре затрат на материалы расходы на цемент составляют 45–51%; ангидрит 30–37%; щебень 1–12%; граншлак — 2, хвосты обогащения — 11% [10–15]. Например, на ПЗК рудника “Комсомольский” производятся закладочные смеси: ангидрито-шлако-цементные (далее — АШЦ), ангидрито-шлако-цементные со щебнем (далее — АШЩЦ), шлако-цементные со щебнем (далее — ШЩЦ), шлако-цементные с хвостами (далее — ШХЦ). Производительность ПЗК по закладочным смесям: 1582,6 тыс. м³/год, из которых 750 тыс. м³/год составляют смеси на основе хвостов обогащения Талнахской обогатительной фабрики (далее — ТОФ).

Дробленый сырьевой материал поступает на холодный склад сырья, затем бульдозерами через колосниковые решетки (300×300) направляется в бункера Ангидрит дозируется питателями “КТ-12” с частотными преобразователями “Micromaster” (питатели № 1 и № 3). Шлак дозируется питателем “КТ-12” с частотным преобразователем “Micromaster” (питатель № 2) или вибропитателем JOST FUF 120/-200×5250 (питатель № 4). Щебень дозируется питателями “КТ-10” и “КТ-8” с частотными преобразователями “Micromaster” (питатели № 5, № 7 и № 6

соответственно). Далее по транспортеру материалы поступают в молотковую дробилку СМД-97А и после совместного дробления направляются по конвейеру, оснащенный конвейерными весами EMSYS BW 301, в мельницу. На комплексе установлено две мельницы МС 4×13.5 производительностью 180–240 м³/ч, мощность двигателя каждой 3200 кВт. Одна мельница в работе, вторая используется как резервная.

Цемент на ПЗК РК доставляется автомобильным транспортом. Из автоцементовозов он с помощью сжатого воздуха поступает в два цементных силоса объемом 750 т каждый, далее цемент транспортируется в расходные силосы объемом 40 м³ каждый (три силоса), из которых дозируется шнековыми дозаторами KUKLA D-W-RFS-500.

В настоящее время внедрена технология производства закладочных смесей (ШХЦ) на основе хвостов обогащения ТОФ. Хвосты с приемного бака подаются насосом WARMAN на батарею гидроциклонов WEIR CAVEX, откуда после классификации пески поступают в бак сгущенных, а слив — в сгуститель OUTOTEC SUPAFLO, где после сгущения хвосты насосом ALLWEILER ASH 100 подаются в бак сгущенных, а слив — в бак возврата на ТОФ. С бака сгущенных хвосты могут подаваться либо в короб разгрузки мельницы, либо в смеситель SIMEM MDC 500. В смеситель также подаются цемент шнековым дозатором KUKLA D-W-RFS-500, шлак ленточным дозатором KUKLA E-DBW-A-1000 и вода через автоматическую регулировочную задвижку с расходомером. Валковая дробилка MERZ WBP 5/12 для измельчения шлака находится в ремонте.

Проектная схема цепи аппаратов ПЗК ШК (рис. 3) предусматривает возможность подачи пульпы сгущенных хвостов (или цементно-хвостовой суспензии) в существующие сырьевые мельницы [16]. Готовая закладочная смесь по желобу поступает в распределительный бак, где происходит ее распределение по скважинам. Работа двумя мельницами при приготовлении одного состава закладочного раствора невозможна, так как не предусмотрена одновременная подача и дозирование материалов на две мельницы.

Транспортировка закладочной смеси из ПЗК осуществляется по скважинам диаметром 273 мм, пробуренным с поверхности и затем по бетоноводам с наружными диаметрами 159 и 219 мм, проложенным в выработках вентиляционно-закладочных горизонтов –250, –330, –380, –420, –430, –471 и –620 м в самотечном режиме в закладываемые выработки. Общая протяженность бетоноводов составляет порядка 28 000 м. Непосредственно в выработанное пространство смесь подается по скважинам диаметром 105–160 мм, пробуренным с одного из вентиляционно-закладочных горизонтов непосредственно в закладываемые выработки. Параллельно бетоноводам по выработкам вентиляционно-закладочных горизонтов проложены трубопроводы сжатого воздуха и воды.

Наиболее неблагоприятные условия транспортирования — минимальная глубина вертикального става (250 м) и наиболее протяженная трасса подачи закладочной смеси до крайней из закладываемых заходов — 3875 м. Установлено, что скорость движения закладочной смеси на участках трубопровода с диаметром 203 мм протяженностью 995 и 2880 м составляет 1.7 м/с; на участках с диаметром трубопровода 147 мм протяженностью 594 м — 3.3 м/с [16, 17]. Общее расчетное время транспортирование смеси на расстояние 3875 м составляет 37.9 мин. Искусственный массив формируют последовательно. Единовременный подъем высоты слоя закладки в камере, оконтуренной ограждающей перемышкой, составляет ~ 0.5 м. С внешней стороны перемышки выполняется породная подсыпка с целью увеличения ее устойчивости к гидростатическому напору. Сформированные искусственные массивы отличаются слоистой структурой, что обусловлено последовательным их формированием слоями не более 50 см. Обнажение слоистого закладочного массива в стенке допустимо. В кровле смежной по высоте выработки обнажать слоистый сформированный массив без крепления недопустимо [18].

Потребности рудников ЗФ в закладочных смесях по типам и маркам (новые пластифицированные составы) и потребность в добавке ЛСТ для приготовления пластифицированных смесей представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Потребность в закладочных смесях и добавке ЛСТ на рудниках по типам и маркам

Тип и марка закладочной смеси	Годовая потребность в закладочных смесях, м ³						Годовая потребность, %
	РС	РК	РО	РТ	РМ	Всего	
АШЦ М100	65000	20000	150000	70000	0	305000	7.866502
АШЦ М30	200000	200000	190000	125000	299700	1014700	26.17095
АШЩЦ М60	0	0	250000	0	0	250000	6.447952
АШЩЦ М30	200000	250000	400000	350000	0	1200000	30.95017
ШЩЦ М 30	166700	102500	402500	435800	0	1107500	28.56443
Всего	631700	572500	1392500	980800	299700	3877200	100
Годовая потребность в добавке ЛСТ, т/год							
АШЦ М100	65	20	150	70	0	305	7.866502
АШЦ М30	200	200	190	125	299.7	1014.7	26.17095
АШЩЦ М60	0	0	250	0	0	250	6.447952
АШЩЦ М30	200	250	400	350	0	1200	30.95017
ШЩЦ М 30	166.7	102.5	402.5	435.8	0	1107.5	28.56443
Всего	631.7	572.5	1392.5	980.8	299.7	3877.2	100

ВЫВОДЫ

Применение отходов горно-металлургического передела актуально не только в ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», но в мировой практике, потому что решения одной проблемы хранения отходов недостаточно. Отвалы занимают большие площади земель и требуют специальных обустроенных хранилищ. Таким образом, целесообразно продолжать развитие применения отходов горно-металлургического передела в закладку, что позволит снизить техногенное воздействие на окружающую среду.

Применение пластифицированных добавок в закладочные смеси позволяет не только улучшить показатели закладочной смеси, в составе которых используются отходы горно-металлургического передела, но одновременно повысить производительность закладочного комплекса и снизить эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Montyanova A. N., Trofimov A. V., Rumyantsev A. E., Vilchinsky V. B., and Nagovitsin Yu. N. Experience and effectiveness of the use of plasticized filling mixtures, Bulletin of Magnitogorsk State Technical University, 2019, vol. 17, no. 1, pp. 18–25. (in Russian) [Монтянова А. Н., Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Вильчинский В. Б., Наговицин Ю. Н. Опыт и эффективность применения пластифицированных закладочных смесей // Вестник МГТУ. — 2019. — Т. 17. — № 1. — С. 18–25.]
2. Montyanova A. N., Trofimov A. V., Rumyantsev A. E., and Vilchinsky V. B. Development and pilot testing of plasticized filling mixtures in the mines of the Polar Division of MMC Norilsk Nickel, Mining Journal, 2019, no. 11, pp. 28–32. (in Russian) [Монтянова А. Н., Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Вильчинский В. Б. Разработка и опытно-промышленное испытание пластифицированных закладочных смесей на рудниках Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» // Горный журнал. — 2019. — № 11. — С. 28–32.]

3. **Golik V. I. and Lukyanov V. G.** Optimization of the strength of the filling mixture taking into account the tension of the rocks, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering*, 2016, vol. 327, no. 6, pp. 6–14. (in Russian) [**Голик В. И., Лукьянов В. Г.** Оптимизация прочности закладочной смеси с учетом напряженности пород // *Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов.* — 2016. — Т. 327. — № 6. — С. 6–14.]
4. **Uskov V. A., Eremenko A. A., Darbinyan T. P., and Marysyuk V. P.** Geodynamic hazard assessment for tectonic structures in underground mining of north ore bodies in the Oktyabrsky deposit, *Journal of Mining Science*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 77–87. [**Усков В. А., Еременко А. А., Дарбинян Т. П., Марысюк В. П.** Оценка геодинамической опасности тектонических структур для подземной разработки Северных залежей Октябрьского месторождения // *ФТПРПИ.* — 2019. — Т. 55. — № 1. — pp. 86–96.]
5. **Eren Komurlu and Ayhal Kesimal.** Sulfide-rich mine tailings usage for short-term support purposes: An experimental study on paste backfill barricades, *Geomechanics and Engineering*, 2015, vol. 9, no. 2, pp. 195–205.
6. **Sivakugan N., Veenstra R., and Naguleswaran N.** Underground Mine Backfilling in Australia Using Paste Fills and Hydraulic Fills, *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2015, vol. 1, issue 2, pp. 1–7.
7. **Eugie Kabwe and Yiming Wang.** Review on Rockburst Theory and Types of Rock Support in Rockburst Prone Mines, *Open Journal of Safety Science and Technology*, 2015, vol. 5, no. 4, pp. 104–121.
8. **Shaposhnik Y. N., Neverov A. A., Neverov S. A., Konurin A. I., and Shokarev D. A.** Development of technology for filling voids between metal frame support and adjacent rock mass by foam materials, *Journal of Mining Science*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 237–247. [**Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Неверов С. А., Конурин А. И., Шокарев Д. А.** Разработка технологии забутовки закрепных пустот вспенивающимися материалами // *ФТПРПИ.* — 2018. — № 2. — pp. 63–74.]
9. **Wael R. Abdellah and Mahrous A. Ali.** Stability analysis of vertical and inclined backfilled stope, *Journal of Engineering Sciences, Assiut University Faculty of Engineering*, 2017, vol. 45, no. 1, pp. 70–79.
10. **Montyanova A. N., Vilchinsky V. B., and Trofimov A. V.** On the issue of reducing the cost of backfill mixtures in the mines of the ZF PJSC MMC Norilsk Nickel, *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University*, 2015, no. 4 (52), pp. 45–49. (in Russian) [**Монтянова А. Н., Вильчинский В. Б., Трофимов А. В.** К вопросу сокращения стоимости закладочных смесей на рудниках ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель” // *Вестник МГТУ.* — 2015. — № 4(52). — С. 45–49.]
11. **Khvastunov V. L., Makhambetova K. N., Chirkina M. A., Kolesnikov I. V., and Seregin A. A.** The effect of plasticizing additives on the physicomaterial properties of vibro-compacted and vibro-pressed mineral-slag composites, *Education and Science in the Modern World. Innovation*, Penza, Publishing house Penza State University of Architecture and Construction, 2019, no. 5 (24), pp. 241–249. (in Russian) [**Хвастунов В. Л., Махамбетова К. Н., Чиркина М. А., Колесников И. В., Серегин А. А.** Влияние пластифицирующих добавок на физико-механические свойства виброуплотненных и вибропресованных минеральношлаковых композитов // *Образование и наука в современном мире. Инновации.* — Пенза: Изд-во ПГУАС. — 2019. — № 5 (24). — С. 241–249.]
12. **Casper E. I. and Tarasov R. A.** Evaluation of the technical and economic efficiency of the introduction of plasticizing additives in concrete, *Energy Saving and Innovative Technologies in the Fuel and Energy Complex: materials of the National scientific and practical conference*, 2019, pp. 290–292. (in Russian) [**Каспер Е. И., Тарасов Р. А.** Оценка технико-экономической эффективности введения пластифицирующих добавок в бетон // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной научн.-практ. конф.* — 2019. — С. 290–292.]
13. **Mamytov A. S.** Modified mortars and high-strength concrete from local raw materials, *Bulletin of science and practice*, 2019, vol. 5, no. 7, pp. 162–167. (in Russian) [**Мамытов А. С.** Модифицированные растворы и бетоны повышенной прочности из местного сырья // *Бюллетень науки и практики.* — 2019. — Т. 5. — № 7. — С. 162–167.]

14. Ageeva M. S., Bogussevich G. G., Sopin D. M., Bogusevich V. A., and Goncharov R. S. Bookmark mixtures based on technogenic raw materials, Safety, Protection and Environmental Protection: Fundamental and Applied Research, Collection of reports of All-Russian Scientific Conference, 2019, pp. 32–7. (in Russian) [Агеева М. С., Богусевич Г. Г., Сопин Д. М., Богусевич В. А., Гончаров Р. С. Закладочные смеси на основе техногенного сырья // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: сборник трудов Всерос. науч. конф. — 2019. — С. 3–7.]
15. Lesovik R. V., Ageeva M. S., Lesovik G. A., Sopin D. M., Kazlitina O. V., and Mitrokhin A. A. Fine-grain concrete from mining waste for monolithic construction, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, pp. 032028.
16. Lesovik R. V., Ageeva M. S., Sopin D. M., Kazlitina O. V., and Selyukov M. A. Prospects for the use of technogenic raw materials for obtaining mortgage mixtures, Fundamental principles of building materials science, Collection of reports of the International online congress, 2017, pp. 115–120. (in Russian) [Лесовик Р. В., Агеева М. С., Сопин Д. М., Казлитина О. В., Селюков М. А. Перспективы использования техногенного сырья для получения закладочных смесей // Фундаментальные основы строительного материаловедения: сборник докладов Междунар. онлайн-конгресса. — 2017. — С. 115–120.]
17. Breus R. V. and Kopets Yu. V. Sludge from urban wastewater (WWS) – technogenic raw materials for cement concrete and mortar, Bulletin of the Luhansk State University, 2016, no. 1 (2), pp. 23–25. (in Russian) [Бреус Р. В., Копец Ю. В. Осадок городских сточных вод (ОСВ) – техногенное сырье для цементных бетонов и растворов // Вестник ЛГУ. — 2016. — № 1 (2). — С. 23–25.]
18. Use of tailing dump tailings of Pacific Fleet for laying the mined-out area of Talnakh ore mines. Project. vol. 3. Book 2, Gipronickel Institute LLC, 2006. (in Russian) [Использование отвальных породных хвостов ТОФ для закладки выработанного пространства рудников Талнаха. Проект. Т. 3. Кн. 2 / ООО “Институт Гипроникель”, 2006.]
19. Final report on the research work “Conducting laboratory research on the composition of filling mixtures using chemical additives and industrial wastes”, Gipronikel Institute, 2016. (in Russian) [Итоговый отчет о НИР “Проведение лабораторных исследований составов закладочных смесей с использованием химических добавок и отходов промышленности” / ООО “Институт Гипроникель”, 2016.]
20. Project. The rocky mine. Surface filling complex no. 2, Institute Gi-penetrator LLC, Norilsk branch “Institute Norilskproekt”, 2013. (in Russian) [Проект. Рудник “Скалистый”. Поверхностный закладочный комплекс № 2 / ООО “Институт Гипроникель”. — Норильский филиал “Институт Норильск-проект”, 2013.]