

Выбор рациональной технологии закладочных работ на Суздальском руднике АО «ФИК “АЛЕЛ”»

Л.А. КРУПНИК, д.т.н., профессор,
Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы),
В.Ф. ДЕМИН, д.т.н., профессор,
Карагандинский государственный технический университет,
Ю.Н. ШАПОШНИК, д.т.н., профессор,
С.Н. ШАПОШНИК, д.т.н., доцент,
Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

Ключевые слова: технология, закладочные работы, проектированные бетоносмесительные комплексы, закладочные смеси, трубопроводная оснастка, технико-экономические показатели.

Горно-перерабатывающий комплекс АО «ФИК “Алел”» находится на территории Суздальского золоторудного месторождения, расположенного в Жана-Семейском районе Восточно-Казахстанской области в 70 км от г. Семей. На сегодняшний день производительность подземного рудника по добыче руды составляет 400 тыс. т в год. Месторождение вскрыто автотранспортными уклонами, для выемки запасов руд приняты системы разработки с обрушением и закладкой выработанного пространства с применением на проходческих и очистных работах самоходного оборудования.

Руководством АО «ФИК “Алел”» в настоящее время принято решение о выемке высокоценных запасов руд Суздальского месторождения системами разработки с закладкой выработанного пространства. В связи с переводом Суздальского рудника АО «ФИК “Алел”» на технологию выемки запасов руд с закладкой выработанного пространства твердеющими закладочными смесями, возникла необходимость выбора рациональных составов смеси, разработки рациональных схем приготовления и транспортирования закладочной смеси на подземном руднике.

Разработка технологии закладочных работ на Суздальском руднике проводилась в период 2007-2009 гг. рядом проектных и научных организаций, таких как ДГП «ВНИИцветмет» НЦ КПМС РК, ТОО «БАИСиК» и ТОО «Горметпроект». Первоначально планировался мельнично-способ приготовления закладки на поверхностном БЗК и доставка закладочной смеси в пустоты отработанной камеры трубопроводным транспортом в самотечном режиме [1]. В отчете о НИР [2] в качестве инертного заполнителя при приготовлении закладочной смеси в ДГП «ВНИИцветмет» были исследованы следующие инертные материалы: риолиты из каменного карьера; разнозернистый песок из карьера № 2; разнозернистые известняки из внутреннего отвала карьера № 1; углисто-глинистые алевролиты из отвала № 3. Установлено, что максимальную прочность имеют составы, приготовленные с использованием в качестве заполнителя риолита. Кон-

трольные составы на их основе имеют прочность выше по сравнению с составами на основе известняка, песка и алевролитов, соответственно, на 25, 50 и 100 %. С учетом вышесказанного, риолит рекомендован в качестве основного источника инертного заполнителя при приготовлении закладочных смесей.

В работе [3] была рассмотрена технология закладочных работ на пастовой закладочной смеси с подачей ее бетононасосами и на жестких бетонных смесях с подачей их метательными машинами. В специфических условиях Суздальского рудника (невысокая производительность рудника, высокая стоимость вяжущего, значительные расстояния доставки) сотрудниками ДГП «ВНИИцветмет» было рекомендовано применение метательных машин и жестких бетонных смесей на основе цемента, отходов горного производства и местных материалов (порода отвалов и песок).

Технологическим регламентом для проектирования [4] рекомендовано подземное размещение бетонозакладочного комплекса на горизонте +160 м.

Доставка закладочной смеси в проекте [5] предусматривалась автомобильным транспортом по автотранспортному уклону, однако в данном проекте бетонозакладочный комплекс не рассматривался. Однако вышеперечисленные проекты строительства БЗК не были приняты к практической реализации на Суздальском руднике из-за высоких капитальных затрат на приобретение шаровой мельницы, дополнительных затрат на водоотлив дренируемых вод при формировании закладочного массива при трубопроводном транспорте закладочной смеси при достаточно небольших объемах закладочных работ в пределах 12 м³/ч, большой разбросанностью рудных тел со значительным содержанием золота (более 12 г/т), отработка которых предполагается системами разработки с закладкой, незначительной мощностью рудных тел и, как следствие, невысоких объемах закладочных работ в отработанных выемочных единицах.

В настоящее время руководство ФИК «Алел» планирует отказаться от мельничного способа приготовления закладки из-за его достаточно высокой

стоимости и ставит задачу разработки технологии приготовления закладки смесителями на поверхностном комплексе и транспортирования закладочной смеси до мест ее укладки в выработанное пространство самоходными миксерами. Укладка смеси в выработанное пространство предусмотрена бетоноукладчиками с крупностью инертного заполнителя до 20 мм с подачей смеси в выработанное пространство до 80 м. Специалистами АО «ФИК «Алел»» был обоснован выбор наиболее рационального основного технологического оборудования для ведения закладочных работ в условиях Суздальского рудника, а именно бетононасос-смесительной установки МВ-30WS производства МЕКА производительностью 30 м³/ч готового бетона, горно-шахтная машина фирмы ПАУС UNI 50-3 миксер и компактный прицепной насос для подачи мелкозернистого бетона Р 715 Putzmeister.

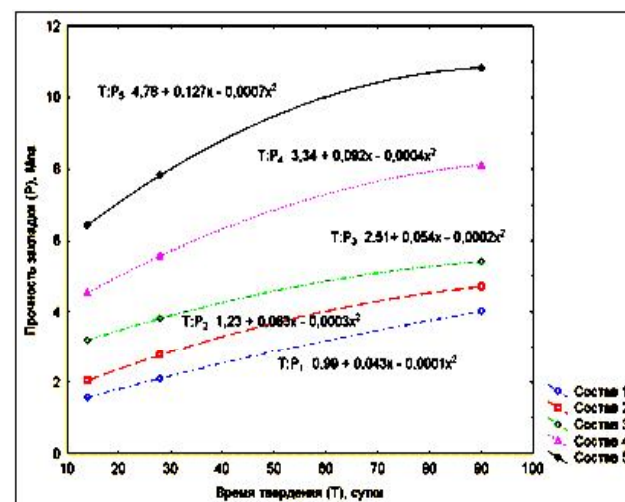
Для практической реализации технологии приготовления закладочных смесей на поверхностном бетононасосном узле (БСУ) необходимо подобрать составы закладочной смеси для приготовления закладки (с минимальным количеством затворителя при сохранении необходимых прочностных характеристик закладочного массива), разработать технологическую схему приготовления и транспортирования закладки, выбрать основное технологическое оборудование, провести расчет технологических процессов закладочных работ. Выявлен оптимальный гранулометрический состав смеси, удовлетворяющий требованиям транспортабельности смеси по трубопроводам и нормативной прочности (таблица 1). Лабораторные исследования по выявлению реологических свойств закладочной смеси и прочностных характеристик закладки были проведены в специализированной лаборатории строительных и закладочных работ Риддерского ГОКа ТОО «Казцинк». На основании проведенных всесторонних исследований были определены рациональные составы закладочных смесей для условий Суздальского рудника (таблица 2).

Корреляционные зависимости прочности закладки от времени твердения приведены на рисунке (при

содержании цемента в составах, соответственно, 1 – 125 кг/м³, 2 – 150 кг/м³, 3 – 200 кг/м³, 4 – 250 кг/м³, 5 – 300 кг/м³, известняка в пределах 380-310 кг/м³, песка в пределах 1150-935 кг/м³ и воды 380-395 л/м³).

Таблица 1 – Оптимальный гранулометрический состав смеси, удовлетворяющий требованиям транспортабельности смеси по трубопроводам и нормативной прочности

Фракция, мм	-15+2,5	-2,5+0,074	-0,074
Содержание в смеси, %	10-15	55-60	30-35



Зависимость прочности закладки от времени твердения для условий Суздальского рудника

Как известно, использование в составе закладочной смеси добавок пластификатора типа Pozzolith дает возможность повысить текучесть закладочной смеси, а также снизить расход дорогостоящего цемента при приготовлении закладки при условии сохранения реологических свойств закладочной смеси и прочностных характеристик закладочного массива. Наиболее

Таблица 2 – Рекомендуемые составы закладочных смесей для принятых систем разработки на Суздальском руднике

Системы разработки	Часть закладочного массива	Нормативная прочность, МПа	Расход материалов, кг/м ³			Расход добавки Pozzolith MR 55	Срок твердения, сутки	Ожидаемая прочность, МПа
			цемент	заполнитель (известняк; песок)	вода			
Система подэтажно-камерной выемки руды	опорный упрочненный слой	2,5-2,8	150	1700 (425:1275)	310	1,0	28	2,99
		2,5-3,0	100	1717 (428:1287)	320	-	90	3,21
	дозалив	1,5	100	1717 (428:1287)	320	-	28	1,68
		1,5	75	1740(432:1303)	320	-	90	2,41
	несущий слой	4,0-4,5	150	1673(418:1255)	320	-	90	4,71
Система слоевой выемки руды (восходящая выемка)	опорный упрочненный слой	2,0	100	1754(436:1318)	305	1,0	28	2,0
		2,5-2,8	100	1717 (428:1287)	320	-	90	3,21
	основной слой	1,0-1,5	125	1695(424:1271)	320	-	14	1,57
		1,5	100	1717 (428:1287)	320	-	28	1,68
	несущий слой	4,0-4,5	150	1673(418:1255)	320	-	90	4,71
Система слоевой выемки руды (нисходящая выемка)	несущий слой	4,0-4,5	200	1642(411:1232)	315	1,0	28	4,43
		4,0-4,5	150	1673(418:1255)	320	-	90	4,71
	дозалив	1,0-1,5	125	1695(424:1271)	320	-	14	1,57
		1,0-1,5	100	1717 (428:1287)	320	-	28	1,68

Этажно-камерная	одинаковая	2,5-3,0	100	1717 (428:1287)	320	-	90	3,21
-----------------	------------	---------	-----	-----------------	-----	---	----	------

подходящими для условий Суздальского рудника является химическая добавка Pozzolith MR 55 (на основе Pozzolith MR 25 с воздухововлекающими добавками). Прирост прочности образцов закладки при использовании добавки пластификатора в объеме 1 кг/м³ закладки для рекомендованных составов закладочных смесей для условий Суздальского рудника составил от 7 до 15 %.

Расчет на прочность закладочного трубопровода сводится в основном к определению минимально допустимых толщин стенок в зависимости от параметров транспортируемой среды.

Расчет трубопроводов на прочность производится по методу предельных состояний. Для стальных труб устанавливаются следующие предельные состояния, определяемые несущей способностью трубопровода: прочность на разрыв от воздействия внутреннего давления и достижение предела текучести при работе на поперечный изгиб, сжатие или растяжение трубопровода, уложенного на опоры, от воздействия собственного веса, веса транспортируемой среды и других факторов.

У насоса Putzmeister P 715 напорный патрубок имеет диаметр 4,5" (112 мм), поэтому расчеты были проведены для стандартных наружных диаметров труб 108, 114, 121, 127, 133 мм. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таким образом, для последующих расчетов принимаем трубы стальные бесшовные горячедеформированные ГОСТ 8731-74, 8732-78 с наружным диаметром 127 мм и внутренним диаметром 113 мм (толщина стенки 9 мм).

На основании проведенных расчетов установлено, что одна установка насоса позволяет осуществлять устойчивую доставку закладочной смеси на расстояние 250 м по горизонтали плюс 20 м по вертикали.

Расчет транспорта закладочной смеси миксером фирмы ПАУС UNI 50-3 проведен в соответствии с [6].

Исходные данные для расчета: расстояние от БСУ до горизонта 235 м $L = 0,35$ км; мощность двигателя миксера $N = 115$ кВт; КПД трансмиссии $\eta = 0,7$; основное удельное сопротивление движению: груженого миксера $W_o^{gp} = 150$; порожнего миксера $W_o^{nop} = 250$; масса миксера: порожнего $m_{nop} = 18,5$ т; груженого $m_{gp} = 25,5$ т; продольный уклон спирального съезда $i = 80\%$; производительность БСУ $Q_{см} = 30$ м³/ч; производительность бетононасоса $Q_{нас} = 15$ м³/ч

$$m_{gp} = m_{nop} + \rho_{зс} \cdot V_m = 18,5 + 2 \cdot 3,5 = 25,5 \text{ т,}$$

где $\rho_{зс} = 2$ т/м³ – плотность закладочной смеси;
 $V_m = 3,5$ м³ – полезный объем миксера.

Скорость движения миксера по транспортному уклону определяется по формуле:

$$g_{gp} = \frac{3600 \cdot N \cdot \eta}{m(w_o - g_i)} = \frac{3600 \cdot 115 \cdot 0,7}{25,5(150 - 9,81 \cdot 80)} = 17,9 \text{ км/ч,}$$

где N – мощность двигателя, кВт;

m – масса миксера, т;

η – КПД передачи (трансмиссии);

w_o – основное удельное сопротивление движению груженой порожней машины;

i – продольный уклон спирального съезда.

Скорость движения порожнего миксера по транспортному уклону:

$$g_{nop} = \frac{3600 \cdot 115 \cdot 0,7}{18,5(250 + 9,81 \cdot 80)} = 15,1 \text{ км/ч.}$$

Принимаем скорость движения миксера груженого и порожнего $g = 15$ км/ч, что соответствует технической характеристике миксера на третьей передаче (20-25 км/ч) и требованиям «Общесоюзных норм технологического проектирования подземного транспорта горно-добывающих предприятий». ОНТП-86.

Время рейса миксера определяется по формуле:

$$T_p = t_3 + t_{gp} + t_{раз} + t_{nop} + t_{дон}, \text{ мин,}$$

где t_3 – время загрузки миксера закладочной смесью, мин;

t_{gp} – время движения груженого миксера под уклон по спиральному съезду, мин;

$t_{раз}$ – время разгрузки смеси закладочной смеси из миксера в приемную ёмкость насоса, мин;

t_{nop} – время движения порожнего миксера на подъём по спиральному съезду, мин;

$t_{дон}$ – время, необходимое на маневры при загрузке миксера, мин.

Время загрузки миксера, исходя из производительности смесителя $Q_{см} = 30$ м³/ч:

$$t_3 = \frac{V_m}{Q_{см}} = \frac{3,5 \text{ м}^3}{30 \text{ м}^3/\text{ч}} = 0,12 \text{ ч} = 7,2 \text{ мин.}$$

Принимаем $t_3 = 8$ мин.

Время движения груженого миксера от БСУ до насоса по спиральному съезду и горным выработкам:

$$t_{gp} = \frac{L_c}{g_{gp}}, \text{ ч,}$$

Таблица 3 – Результаты расчетов для стандартных наружных диаметров труб

Наружный диаметр трубы D_n , мм	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные ГОСТ 8731-74, 8732-78			Трубы стальные бесшовные горячекатаные из стали марок 30 ХГСА, – ВД, 30 ХГСН 2А		
	внутренний диаметр $D_{вн}$, мм	толщина стенки δ , мм	масса трубы 1 м/кг	внутренний диаметр $D_{вн}$, мм	толщина стенки δ , мм	масса 1 м трубы, кг
108	95	8,5	20,86	95	8,5	20,86
114	101	8,5	22,12	101	8,5	22,12
121	107	9,0	23,58	108	8,5	23,58
127	113	9,0	24,84	114	8,5	24,84

133	119	9,0	26,10	119	9,0	26,10
-----	-----	-----	-------	-----	-----	-------

Примечание: указанная толщина стенки трубы является минимальной

где L_c – длина транспортировки, км;

g_c^{sp} – скорость движения груженого миксера под уклон, км/ч.

Время движения порожнего миксера на подъем:

$$t_{nop} = \frac{L_c}{g_c^{nop}}, \text{ ч.}$$

где g_c^{nop} – скорость движения порожнего миксера на подъем, км/ч.

Принимаем время движения груженого миксера 2 мин. и порожнего – 2 мин. (при длине транспортировки 0,35 км).

Время разгрузки миксера $t_{раз}$ принимается в соответствии с производительностью насоса Putzmaister. Время разгрузки закладочной смеси из миксера в приемный бункер бетононасоса:

$$t_{раз} = \frac{V_m}{Q_{нас}} = \frac{3,5 \text{ м}^3}{15 \text{ м}^3/\text{ч}} = 0,23 \text{ ч} = 14,1 \text{ мин.}$$

Принимаем $t_{раз} = 15$ мин.

Суммарное время, необходимое на маневры при загрузке и разгрузке миксера, принимаем равным $t_{дон} = 3$ мин.

Полное время рейса миксера составит 30 мин.

Анализ результатов расчетов показывает следующее. Трубопроводный транспорт весьма чувствителен к остановкам и перерывам, из-за которых бетонная смесь в трубопроводах загустевает и частично схватывается. Это вызывает аварии и значительные непроизводительные затраты по разборке и очистке бетонопроводов. По этой причине доставка бетонной смеси миксерами должна быть бесперебойной. Практика строительных работ показывает, что при перерыве более чем на 30 минут смесь во избежание образования пробок в бетоноводе должна активизироваться

путем периодического включения бетононасоса. Таким образом, одним миксером возможна работа только на расстояние до 0,35 км. В дальнейшем для нормальной работы закладочного комплекса необходима работа с двумя миксерами.

Себестоимость закладочных работ по статье «Материалы» при формировании искусственного массива усредненной прочностью 2,0 МПа в возрасте 28 суток складывается из следующих компонентов: цемент – 100 кг/м³; известняк – 436 кг/м³; песок – 1318 кг/м³; вода – 305 л/м³; химические добавки – 1,0 кг/м³.

Удельный расход компонентов закладки при формировании искусственного массива усредненной прочностью 2,0 МПа в возрасте 28 суток и затраты на их приобретение сведены в таблицу 4.

В расчете затрат на приобретение компонентов смеси стоимость цемента производства ТОО «Семейцемент» принята 16 000 тенге/т, затраты на добычу песка в карьере № 2 – 1500 тенге/м³, затраты на транспортирование известняка из внутрикарьерного отвала карьера № 1 на расстояние 0,5 км ориентировочно приняты равными 1000 тенге/м³.

Для обеспечения процесса приготовления закладочных смесей при производительности комплекса 12 м³/ч водопотребление с учетом хозяйственных нужд составит около 5 м³/ч. Водоснабжение предусмотрено от инженерных сетей промплощадки и в затраты на приготовление смеси не включается.

Таким образом, удельные затраты на приготовление 1 м³ закладочной смеси составят около 2690 тенге, что сопоставимо с затратами на приготовление закладки на ведущих горно-добывающих предприятиях Восточного Казахстана: Орловском руднике Жезкентского ГОКа ТОО «Корпорация «Казахмыс» – 2460 тенге/м³; Риддер-Сокольном руднике Риддерского ГОКа ТОО «Казцинк» – 2053 тенге/м³.

Таблица 4 – Удельный расход компонентов закладки и затраты на приготовление закладочной смеси

№ п/п	Наименование компонентов закладки	Удельный расход компонентов на 1 м ³ закладки, кг/м ³	Затраты на приобретение компонентов смеси, тенге/кг
1	Цемент М-400 Семейского завода	100	16
2	Песок	1318	0,58
3	Известняк	436	0,39
4	Шахтная вода	305	-
5	Химические добавки Pozzolith MR 55	1,0	150

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологический регламент для проектирования бетонозакладочного комплекса (БЗК) месторождения «Суздальское» (тема: 6-07-44, договор № 80 от 28.08.2007 г.) / ДГП «ВНИИцветмет». Усть-Каменогорск-Семипалатинск, 2007.
2. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Лабораторные исследования и выбор составов закладочных смесей для условий подземного рудника Суздальского месторождения» (дог. № 80 от 26.09.2006 г.) / ДГП «ВНИИцветмет». Усть-Каменогорск, 2007. 37 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе по теме 6-08-09 «Разработка и исследование жестких закладочных смесей и выдача технологического регламента для проектирования техники и технологии закладочных работ на их основе при отработке месторождения «Суздальское» (дог. № 2517 от 16.04.2008 г.). Этап I. Разработка и исследование жестких закладочных смесей (промежуточный) / ДГП «ВНИИцветмет». Усть-Каменогорск, 2008.
4. Рабочий проект «Бетонозакладочный комплекс (БЗК) подземного рудника месторождения «Суздальское»: ТОО «БАИ-Сик». Усть-Каменогорск, 2009.
5. Проект «Увеличение мощности рудника Суздальский, часть – технологическая (подземный рудник). Вскрытие и отработка запасов с горизонта +40 м до -100 м» / ТОО «Горметпроект». Усть-Каменогорск, 2009.

6. Нормы технологического проектирования подземного транспорта горно-добывающих предприятий ОНТП 1-86, раздел В «Проектирование самоходного нерельсового транспорта».

УДК 622.277(574)

Рудоподготовка месторождений благородных металлов для кучного выщелачивания

А.К. ТУРСУНБАЕВА, к.т.н., профессор кафедры ММиН,
 Карагандинский государственный технический университет

Ключевые слова: благородные металлы, кучное выщелачивание, рудоподготовка, рудный штабель, агломерация, окомкование, кольматация, сегрегация.

Развитие добычи благородных металлов в Республике Казахстан осуществляется как на россыпных, так и на коренных месторождениях, что предполагает принципиальную смену технологий от традиционных к физико-химическим и, прежде всего, кучному выщелачиванию, позволяющему существенно снизить капитальные вложения и эксплуатационные затраты. Однако в Казахстане кучное выщелачивание (КВ) не нашло широкого применения не только из-за резкоконтинентального климата, сложного химического и фазового состава исходного сырья, но и из-за отсутствия целенаправленных теоретических и технологических исследований по рудоподготовке месторождений благородных металлов для кучного выщелачивания. При этом каждое месторождение имеет особенности минералогического, химического состава руд, формы нахождения в них золота и серебра, что требует проведения целенаправленных исследований по добыче и рудоподготовке. Следует отметить, что самым энергоемким и дорогостоящим процессом подготовки руды является ее разрушение: взрывание, дробление и измельчение [1, 2].

Руды ряда месторождений благородных металлов Казахстана имеют значительную твердость, содержат как свободное, так и невидимое золото в арсенопирите и пирите. Наличие такого золота обуславливает высокие требования к работе цикла дробления руды и ее выщелачивания, а также развитие новых методов рудоподготовки, что является предметом настоящих исследований. Основными факторами, определяющими эффективность технологии КВ руд благородных металлов, являются: физико-химические свойства руды, способы рудоподготовки и формирования рудного штабеля, обеспечивающие проницаемость рудной массы. Исходя из этого, определены основные задачи исследования.

На основании математической модели влияния минерального и химического составов, текстурно-структурных факторов на процессы дробления и измельчения руд благородных металлов, дающей возможность классифицировать руды для оптимизации процессов дробления и измельчения, а также аналитической модели и установленных закономерностей дезинтеграции упорных руд благородных металлов, позволившие классифицировать руды по способам воздействия на них внешних потоков энергии, предлагается технологическая схема рудоподготовки на ме-

сторождениях благородных металлов для кучного выщелачивания.

Так как в сульфидных рудах месторождений благородных металлов Казахстана серебро и золото представлено в виде электрума и имеет тонкую вкрапленность, то рекомендуется рудоподготовку осуществлять в три стадии дробления, по классам: -20+15 мм, -15+10 мм, -10+5 мм, что позволяет за период выщелачивания 60 суток при общем расходе растворителя до 1 кг/т достичь степени извлечения драгоценных металлов на уровне 85 %. Для руд других минералогических типов: окисленные, смешанные, гранулометрические – слои штабеля формируются с использованием изложенных принципов.

На стадии рудоподготовки образуется значительное количество мелочи, наличие которой резко снижает просачивание раствора через слой руды в штабеле при выщелачивании. Основным способом решения данной проблемы является агломерирование руды связующим веществом на барабанном окомковывателе. В этой связи формирование рудного штабеля предлагается осуществлять передвижными и штабелирующими конвейерами. Для устранения уплотнения рудной массы бульдозером при формировании штабеля рекомендуется использовать передвижные штабелирующие конвейеры. Выявлено, что работа по измельчению минерала пропорциональна его поверхности натяжению σ . Максимальная работа разрушения отмечается при диспергировании в вакууме, в среде инертного газа или несмачивающей жидкости. Минимальная работа разрушения отмечалась при диспергировании в жидких средах, содержащих поверхностно-активные вещества. Показано, что дробленая руда требует сортировки по типоразмерам, либо окомкования.

Согласно предлагаемой технологической схеме рудоподготовки месторождений благородных металлов для КВ (рисунок 1) добыча руды в карьере после буровзрывных работ осуществляется селективной выемкой. Транспортировка руды выполняется автосамосвалами на склад, а затем на дробильно-сортировочный комплекс (ДСК).

На дробильно-сортировочном комплексе (ДСК) руду разгружают в приемный бункер (1) вместимостью 30 м, из которого с помощью пластинчатого питателя руда подается на первую стадию дробления.

Схема рудоподготовки включает в себя трехста-