Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIV, вып. 1, 1961 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ВЫПУСКА РУДЫ ПОД ЗАКЛАДКОЙ

(на моделях)

Ю. И. Паненков

В практике горнорудной промышленности встречаются случаи, когда выпуск магазинированной руды из камер приходится вести под закладкой, опускающейся вслед за рудой и непрерывно добавляемой по мере выпуска руды. Необходимость в этом может встретиться при недостаточно устойчивых породах висячего бока или междукамерных целиков руды. При этом закладка лежит непосредственно на руде или применяется разделяющее руду и закладку перекрытие с целью предотвращения разубоживания руды закладочным материалом. Однако такую роль перекрытие может выполнять не всегда. Например, при недостаточно крутом угле падения и большой высоте этажа оно рано опускается на лежачий бок, и значительное количество руды после этого будет выпускаться практически без перекрытия. Опускающееся на лежачий бок совместно с лежащей на нем закладкой перекрытие также может зажать часть руды, которая в таком случае будет потеряна. Это объясняется стремлением кусков руды, закладки и самого перекрытия под действием силы тяжести перемещаться вертикально вниз.

Следовательно, для получения хороших результатов выпуска руды под закладкой решающее значение имеет режим выпуска, а также условия управления перемещением разделяющего перекрытия. Для установления качественных закономерностей при выпуске руды под закладкой из камер шириной 8—10 *м* (при одном ряде выпускных воронок) с применением и без применения разделяющего перекрытия были проведены лабораторные исследования. Они предусматривали также выяснение характера перемещений перекрытия с целью установления режима управления им и выяснения нагрузок на его элементы.

Методика моделирования. Методика проведения лабораторных исследований выпуска руды достаточно хорошо разработана и освещена в литературе [1, 2]. Остановимся только на особенностях, характерных для наших опытов.

Основным критерием подобия при моделировании выпуска руды принимается подобие физических и геометрических свойств материала модели тем же свойствам выпускаемой руды при геометрическом подобии размеров блока или камеры на модели и в натуре. При моделировании важно воспроизвести также в соответствующем масштабе высоту

засыпки руды и закладочного материала. Динамика и кинематика движения кускового материала в значительной мере зависят от его гранулометрического состава, причем основные свойства всей массы определяются преобладающей фракцией. Как известно из теории грунтов, физические свойства грунтов оцениваются в связи с гранулометрическим составом и влажностью, причем группа преобладающих частиц грунта определяет свойства всей массы материала [3].

Эти положения можно распространить на процесс выпуска руды, если основные параметры фигуры выпуска[1] зависят от преобладающей фракции крупности материала. Насколько это предположение соответствует действительности, проверялось четырьмя опытами на модели со стеклянной стенкой (рис. 1). Опыты подтвердили, что смесь разных фракций получает свойства той фракции крупности, которая преобладает. Дополнительными опытами установлено, что при содержании фракций 45—58% смесь имеет промежуточные свойства по сравнению с состав-

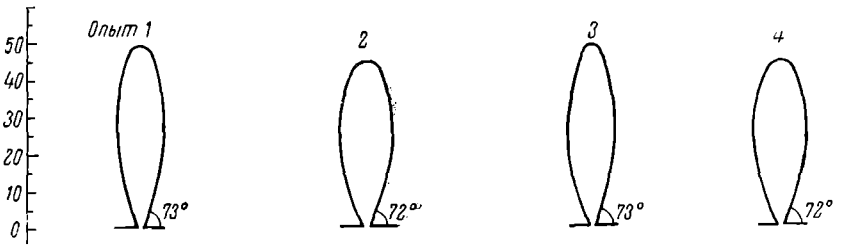


Рис. 1. Изменение размеров фигуры выпуска в опытах с дробленым известняком:
1 — фракций А — 5+3 *мм*; *2* — фракций Б — 7 + 5 *мм*; *3* — смесь фракций 30% А и 70% Б; *4* — смесь фракций 70% А и 30% Б

ляющими ее фракциями. Таким образом, выбор состава руды и закладки при моделировании можно производить, определив преобладающий класс крупности, например, методом фотографирования поверхности руды в камере после отбойки каждого слоя.

Для опытов по выпуску были изготовлены модели двух масштабов: 1 50 и 1 100. Основной была модель 1 100, а модель 1 50 использовалась для проверки отдельных положений. Модель 1 100 представляла собой деревянный ящик с одной остекленной боковой стенкой. Торцовые стенки шириной 8 *см* наклонены под углом 80° к горизонту (соответственно углу падения залежи). В днище сделано четыре круглых отверстия диаметром 1,5 *см* при расстояниях между центрами 7,5 *см*.

Материалами, моделирующими руду и закладку, были дробленые руда и известняк с Алтын-Топканского рудника в Таджикистане. Для опытов по выпуску руды составляли смесь, исходя из данных гранулометрического состава руды, характерного для отбойки глубокими скважинами. Гранулометрический состав закладки выбирался в соответствии с составом по крупности, принятым в проекте закладочных работ на Алтын-Топканском руднике. Объемный вес руды (насыпной) 1,6 *г/см*^{3}, закладки 1,5 *г/см*^{3} Максимальная крупность кусков руды в модели 1,5 *см*; крупность закладки та же, за исключением опытов, когда выпуск производился под крупнокусковой закладкой (когда куски были до 4,5 *см*).

При моделировании выпуска с разделяющими перекрытиями применяли три вида перекрытий. Гибкое перекрытие моделировалось двумя-

[1] Под фигурой выпуска понимается геометрическое место частиц, одновременно приходящих к выпускному отверстию. Форму фигуры выпуска, как известно, обычно считают эллипсоидом.

Результаты опытов по выпуску руды под закладкой

Номер опыта	Характеристика материала		Вид перекрытия	Вес выпущенного материала из воронок, *кг*					Вес засыпанного материала, *кг*	Потери на лежачем боку, % к выпущенной руде	Разубоживание руды, %
	выпускаемог	засыпаемого			2			всего			
1	Песок. *B* до 1 *мм*	Песок. *B* до 2 *мм*	Без перекрытия								
2	То же	То же	Жесткое	Проверялась общая картина выпуска и оптимальный режим при угле падения 80°							
3	»	»	Без перекрытия								
4	»	Не засыпался	То же								
5	Песок. *B* до 2 *мм*	Диабаз. *B* до 5 *мм* Соль. *B* до 50 *мм*									
6	Руда. *B* до 15 *мм*, $\gamma = 16{,}7$ *г/см*³	Известняк. *B* = 0,1 — 12 *мм*, $\gamma = 15{,}4$ *г/см*³	Полужесткое	6,8	4,25	3,3 / 0,6	1,6 / 0,9	15,95 / 1,5	14,8	0	9,0
7	Руда. *B* до 15 *мм*, $\gamma = 16{,}7$ *г/см*³	Известняк. *B* = 0,1 — 12 *мм*, $\gamma = 16{,}0$ *г/см*³	Полужесткое (с закреплением висячего бока в начальный период)	5,8	3,2	3,3	3,3	15,6	13,0	0	2,5
8	То же	То же	То же	5,9 / 0,1	1,7	2,6	3,0	13,1	13,1	0	0,8
9	Руда. *B* до 15 *мм*, $\gamma = 16{,}8$ *г/см*³	Известняк. *B* = 0,1 — 12 *мм*, $\gamma = 16$ *г/см*³	Полужесткое	6,9	3,4	4,2 / 0,438	3,3 / 0,052	17.8 / 1,09	14,2	0	6,0
10	Руда. *B* до 15 *мм*, $\gamma = 17{,}0$ *г/см*³	Известняк. *B* = 0,1 — 12 *мм*, $\gamma = 15{,}4$ *г/см*³	Жесткое	5,2 / 0,46	4,2 / 0,48	3,4 / 0,8	3,3 / 0,72	16,1 / 2,46	14,0	0	15,4
11	То же	То же	То же	7,25	5,45	3,0	0,6	15,7 / 0,05	11,28	0	0,3
12				5,2	4,5	4,2	3,4 / 0,8	17.3	13,0		5,0
13	Руда дробленая. *B* до 15 *мм*, $\gamma = 16{,}6$ *г/см*³	Известняк дробленый. *B* до 12 *мм*, $\gamma = 15{,}5$ *г/см*³	Без перекрытия	4,1 / 0,35	2,5 / 0,28	4,2 / 0,41	2,3 / 0,49	13,1 / 1,53	11,2	4,0	12,0
14	Руда дробленая. *B* до 15 *мм*, $\gamma = 16{,}4$ *г/см*³	Известняк дробленый. *B* до 12 *мм*, $\gamma = 15{,}4$ *г/см*³	Гибкое	6,9	3,48	4,71	1,4	16,52	12,5	0	4,0
15	То же	Диабаз дробленый	Без перекрытия	6,74 / 0,65	4,9 / 0,2	5,5 / 0,5	1,24 / 0,4	18,4 / 1,75	16,05	5,1	9,5

Примечание. В таблице условно крупность материала обозначена *B*, объемный вес γ.

премя слоями тонкой хлопчатобумажной ткани. Полужесткое перекрытие изготовлялось из деревянных палочек диаметром 3 *мм*, уложенных в шахматном порядке и связанных медной проволокой диаметром 0,3 *мм*. Материалом для жесткого перекрытия служила фанера.

Наблюдения и необходимые измерения во время опытов производились через стеклянную стенку. Для удобства наблюдений за перемещением руды и закладки материал засыпался в модель слоями толщиной 5 *см* и пересыпался тонким слоем мелкого диабаза (черного цвета) или измельченной соли (белого цвета).

Порядок проведения опыта. Порядок выпуска из дучек принимался таким, чтобы обеспечить минимальное разубоживание и потери руды на лежачем боку. Из соответствующей дучки выпускалась руда в мерный сосуд, взвешивалась, и результаты записывались в журнал. Сверху в модель засыпалось такое же по объему количество закладки. Положение руды, закладки и перекрытия фиксировалось на графиках и фотографированием. При выпуске разубоженной руды порода отбиралась (руда и порода хорошо отличались по цвету), и руда и порода взвешивались порознь. Всего произведено 15 опытов.

Результаты опытов. Как видно из приведенной таблицы, худшие показатели относятся к выпуску руды под закладкой без разделяющего перекрытия, когда, кроме большого разубоживания руды (10—12%), допущены и потери руды на лежачем боку (4—5%). При жестком перекрытии потерь руды на лежачем боку не было, а разубоживание в разных опытах составляло 0,3; 5 и 15,4%. Выпуск руды с гибким и полужестким перекрытиями происходил почти без потерь на лежачем боку и при меньшем разубоживании (0,8; 2,5; 6; 9%). Объяснение полученных результатов выпуска дает анализ характера перемещений руды, закладки и перекрытия при различных режимах выпуска.

В первоначальных опытах (№ 1—5) установлено, что для достижения равномерного опускания контакта руды и закладки необходимо вести выпуск неравномерно, стараясь брать руду преимущественно из дучек у лежачего бока. Это совпадает с выводами, сделанными ранее разными исследователями о большей скорости движения руды, выпускаемой из дучек у висячего бока. В связи с этим при равномерном выпуске руды из всех дучек приходит в движение закладочный материал, находящийся над выпускными отверстиями у висячего бока, что становится источником разубоживания при выпуске из соседних дучек. Выпуск из остальных дучек происходит в основном при двух контактах руды и закладки — горизонтальном и вертикальном.

При преимущественном выпуске руды из дучки у лежачего бока удается выпустить руду с небольшим разубоживанием, но вследствие стремления кусков руды и закладочного материала перемещаться по вертикали руда, расположенная непосредственно у лежачего бока, сильно к нему прижимается. Из-за возникающих больших сил трения руда здесь перемещается очень медленно и в конце концов некоторая ее часть отсекается закладочным материалом и остается потерянной.

На рис. 2, где показан ход опыта № 13, хорошо видна схема перемещения контакта руды и закладочного материала. В этом опыте максимальные размеры кусков руды 1,5 *см*. На поверхности руды находился слой дробленой соли толщиной 5 *см* и крупностью 3—5 *см*. На него по мере выпуска руды досыпался известняк с максимальной крупностью кусков 1,2 *см*. Слой соли постепенно растягивался, и на высоте 12 *см* от днища (при общей высоте модели 50 *см*) началось разубоживание во всех воронках. Кроме того, начиная от точки 30, часть руды осталась

на лежачем боку. При выпуске руды без перекрытия важное значение имеет крупность закладочного материала. Если он по гранулометрическому составу мало отличается от руды, то разницы между движением руды и закладочного материала не наблюдается. Когда же закладка представлена материалом более мелким, чем руда, то значительная часть закладки попадает в центральную часть зоны влияния воронки, где скорости движения материала больше. Мелкий материал закладки «просеивается» через более крупную руду, а следовательно, увеличивается разубоживание. Если же закладочный материал крупнее, чем выпускаемая руда, то условий для быстрого внедрения крупнокускового материала закладки не создается. Изменение картины выпуска при переходе от мелкого материала к более крупному видно на рис. 3, *а*, где показано одно из положений опыта № 5.

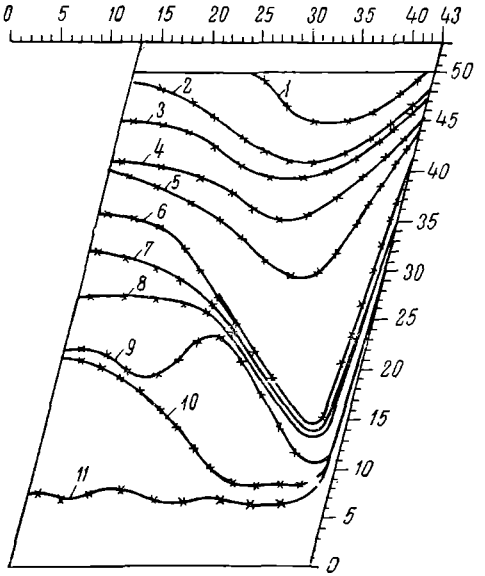


Рис. 2. Положения контакта (*1—11*) руды и соли в опыте № 13

Таким образом, крупнокусковой закладочный материал может обеспечить снижение разубоживания. Однако потери руды на лежачем боку без дополнительных мероприятий при этом не устраняются.

Наблюдениями также установлено, что характер перемещения руды под и над перекрытием различен и зависит от типа перекрытия. Под перекрытием движение кусков руды подчиняется закономерностям ее передвижений внутри эллипсоида [1], а над перекрытием — зависит от его гибкости. Так, при жестком перекрытии закладочный материал перемещается всей массой, причем наибольшую скорость перемещения имеют куски, лежащие непосредственно на перекрытии. Скорость кусков, лежащих выше, постепенно уменьшается. В результате образуется зона разрыхления, что, как известно, сопровождается увеличением бокового распора на стенки модели и соответственно уменьшением давления на перекрытие. При перемещении закладочного материала над перекрытием его структура мало нарушается. Например, в опыте № 10 слои закладочного материала остались параллельными перекрытию и перемещаются вслед за ним. Однако жесткое перекрытие без регулирования опускания зависает или, упираясь в лежачий бок, поворачивается вокруг точки опоры (рис. 3, *б*). Регулирование перемещения такого перекрытия выпуском руды затруднительно, чем отчасти объясняется большое разубоживание (15%) в одном из опытов.

При гибком во всех направлениях перекрытии перемещение в известной мере следует изменениям поверхности выпускаемой руды, на которой лежит перекрытие. Полужесткое перекрытие обеспечивает прогиб вслед за опускающейся рудой в одном направлении (в наших опытах в продольном). Закладочный материал, лежащий на перекрытии, перемещается вслед за ним, причем небольшие перемещения наблюдаются во всей массе закладочного материала.

Так как перекрытие не всегда опирается на руду всей площадью, при выпуске руды возможно некоторое управление перекрытием. В этом

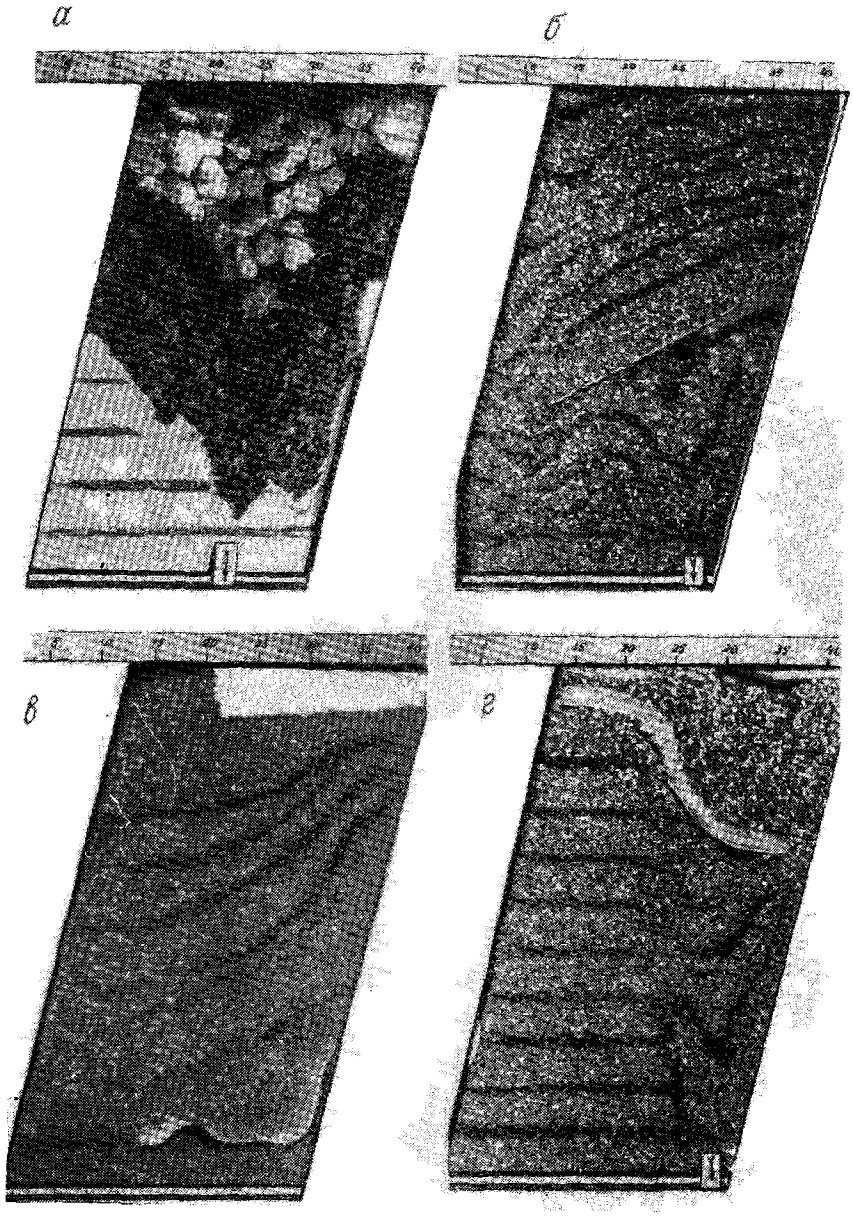


Рис. 3. Выпуск руды в модели 1/100:
а – под крупнокусковым материалом; *б* — с жестким разделяющим перекрытием; *в* — сполужестким разделяющим перекрытием; *г* — с полужестким разделяющим перекрытием при закреплении у висячего бока

случае удается произвести выпуск руды без потерь на лежачем боку.

Как гибкое, так и полужесткое перекрытия все же стремятся перемещаться вместе с массой руды и закладочного материала вертикально вниз и смещаться постепенно в сторону лежачего бока. В конечном итоге в конце выпуска у висячего бока разделительное перекрытие отсутствует. На рис. 3, *в* показано окончательное положение полужесткого перекрытия в опыте № 6, при котором, как видно из таблицы, разубоживание достигает 9%.

Для предотвращения перемещения полужесткого или гибкого перекрытия вертикально вниз и в сторону лежачего бока необходимо дать ему наклон, чтобы составляющая силы веса, нормальная к плоскости перекрытия, стремилась переместить его в сторону висячего бока. Такой поворот не может быть достигнут только режимом выпуска руды. Для его осуществления необходимо закрепить в первоначальный период перекрытие у висячего бока, как это показано на рис. 3, *г* (модель 8), и производить выпуск из дучек у лежачего бока. После поворота перекрытие надо освободить от закрепления, и тогда оно будет перемещаться в сторону висячего бока. В конечном итоге здесь может остаться неперекрытой часть площади камеры у лежачего бока, но этот участок, как известно, менее опасен в отношении разубоживания. При таком способе управления перемещением перекрытия, как это видно из результатов опытов № 7 и 8, можно рассчитывать на выпуск руды с небольшим разубоживанием.

Практически в условиях рудника закрепление перекрытия можно осуществить путем подвески его на канатах или прикрепления к болтам штанговой крепи в висячем боку в верхней части камеры. Освобождение перекрытия не представляет трудности. Ввиду значительных растягивающих усилий, возникающих в перекрытии после его закрепления, гибкие и полужесткие перекрытия желательно для повышения прочности армировать продольными канатами.

Выводы

1. Установлен характер перемещения руды и закладочного материала при выпуске руды из камеры без разделяющего перекрытия и с разделяющими перекрытиями: гибким, полужестким и жестким.

2. При выпуске руды под закладкой, за исключением вертикального падения, следует опасаться потерь руды на лежачем боку.

3. Лучшие показатели по разубоживанию могут быть получены при крупнокусковой закладке. При наличии разделяющего перекрытия разубоживание можно свести до минимума при одновременном уменьшении потерь руды на лежачем боку. Из трех видов исследованных перекрытий наиболее отвечает оптимальным условиям полужесткое перекрытие.

4. При мощности рудного тела 30—40 *м* преимущественный выпуск руды рекомендуется вначале вести из воронок у лежачего бока до поворота перекрытия под углом 50—60° к плоскости висячего бока, считая от перекрытия вниз по часовой стрелке, а затем соблюдать последовательно равномерный выпуск из всех воронок.

5. Поворот перекрытия облегчается при его закреплении у висячего бока в первый период выпуска. Этот способ управления перемещением перекрытия может быть также успешно применен при выполаживании лежачего бока рудного тела.

ЛИТЕРАТУРА

Малахов Г. М. Выпуск руды из обрушенных блоков. Металлургиздат, 1952.

2. Галаев Н. З. Исследование условий, определяющих основные размеры выпуска руды. Рукопись. Канд. диссертация. Фонды ЛГИ, 1953.

3. Цитович Н. А. Механика грунтов. Госстройиздат, 1947.