Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIX, вып. 1, 1964 г.

ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКИХ РУДОСПУСКОВ НА АПАТИТОВЫХ КАРЬЕРАХ ЗАПОЛЯРЬЯ

А. А. Кулешов

Нагорные апатитовые карьеры Расвумчорр-Цирк и Центральный расположены в центральной части Хибинского массива и отрабатывают часть дугообразной апатитовой залежи.

Район месторождения характерен суровыми климатическими условиями: низкие отрицательные температуры зимой (до —36° С), снежные метели и бураны. Число дней в году с отрицательными температурами на высокогорном плато Расвумчорр достигает 300, на карьере Расвумчорр-Цирк — 270. Продолжительность зимнего периода 9 месяцев; толщина снежного покрова на плато превышает 3 *м*. Значительно усложняют работу карьеров зимой частые туманы и лавиноопасные склоны.

По проекту института «Гипроруда» производительность карьеров: Расвумчорр-Цирк 1,8 млн. *т*, Центрального 12 млн. *т* руды в год. Однако фактическая производительность карьера Расвумчорр-Цирк значительно превысила проектную.

Руда из карьеров перепускается на горизонт капитальной штольни по вертикальным рудоспускам круглого сечения. Два рудоспуска карьера Расвумчорр-Цирк пройдены диаметром 5 *м* и глубиной 140 *м*, три рудоспуска Центрального рудника диаметром по 6 *м* будут закончены проходкой в ближайшее время на глубину около 600 *м*.

Принятая схема вскрытия (рис. 1) нагорных карьеров наиболее проста, дешева в строительстве и обеспечивает наиболее короткий транспортный путь руды из карьера до обогатительных фабрик. На комбинате «Апатит», так же как и на других рудниках Советского Союза, не было опыта эксплуатации глубоких карьерных рудопусков в суровых климатических условиях. Карьеры Каджаранский (Армянская ССР), Алтын-Топканский (Таджикская ССР), Хайдарканский (Узбекская ССР), применяющие аналогичную транспортную схему, работают в совершенно иных климатических условиях и не испытывают затруднений при перепуске руды.

Представляет некоторый интерес опыт эксплуатации глубоких (350 *м*) карьерных рудоспусков на руднике «Молибден» Тырныаузского комбината, где климатические условия в какой-то степени приближаются к северным. При эксплуатации этих рудоспусков в них образовывались пробки при попадании заснеженной руды, что сильно затрудняло работу рудника. Однако этот карьер закончен отработкой еще в 1953 г., и опыт работы рудоспусков здесь не был обобщен; специальные исследования также не проводились.

Из зарубежных рудников, применяющих глубокие карьерные рудоспуски, весьма интересны три: Кируна (Швеция), Эрцберг (Австрия) и Карол (Канада), на которых рудоспуски эксплуатируют в суровых клима-

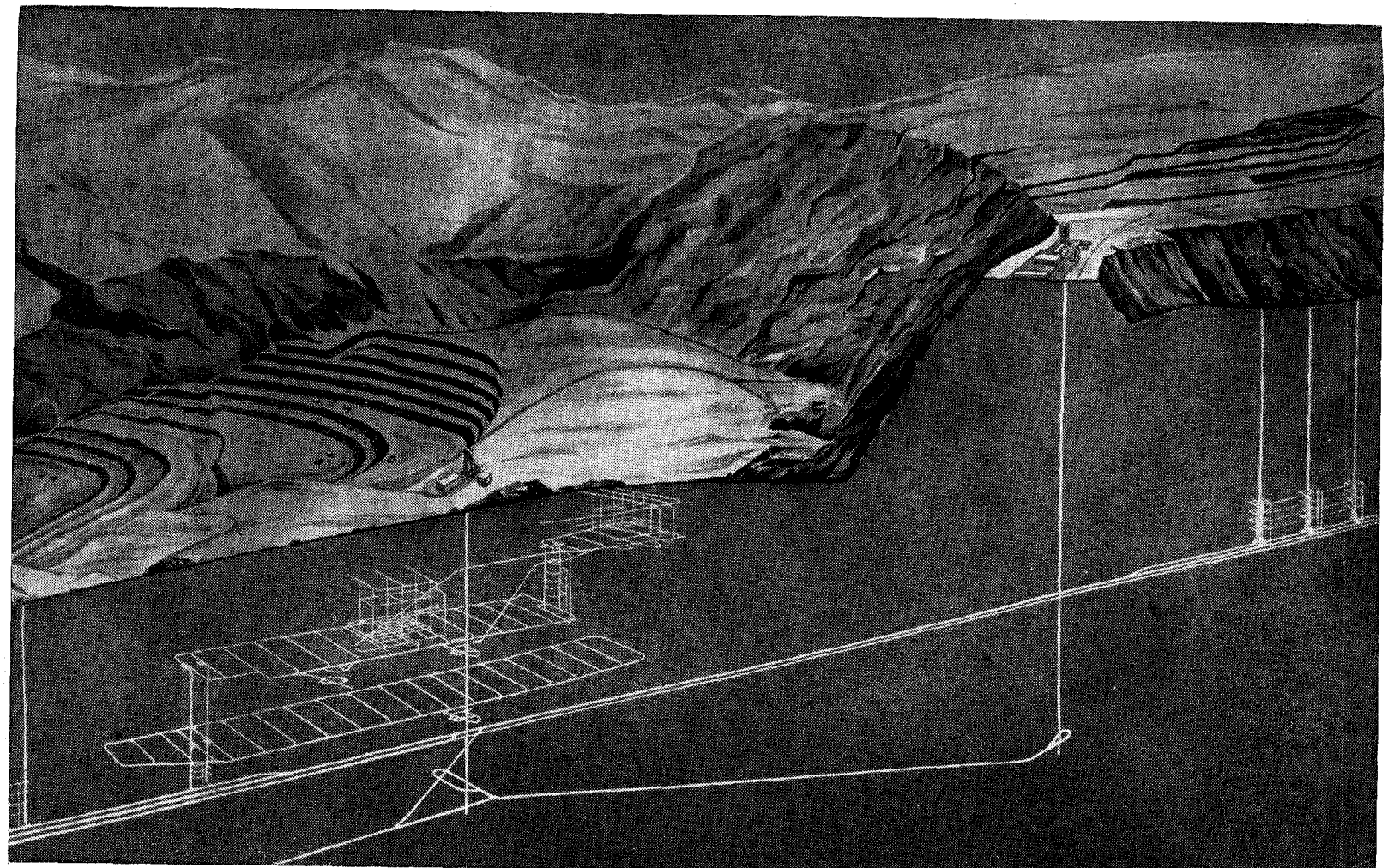


Рис. 1. Схема вскрытия месторождения Расвумчорр-Цирк.

тических условиях. Однако в литературе опыт этих рудников по эксплуатации рудоспусков почти не освещен. Технология транспортирования руды по глубоким рудоспускам на зарубежных карьерах характеризуется предварительным дроблением руды в дробилках и применением ленточных или пластинчатых питателей на горизонте откатки вместо люковых устройств с пальцевыми или цепными затворами.

Теоретически вопрос перепуска руды по глубоким рудоспускам разработан весьма слабо. Известна только одна теоретическая работа [1], однако все описанные в ней исследования проводились на сухом песке и не учитывали многообразия явлений, происходящих при перепуске заснеженной руды. В результате исследований установлено критическое отношение диаметра рудоспуска к диаметру максимального куска руды

$$m = \frac{d_{\text{рудосп}}}{d_{\text{max куска}}} = 4{,}21.$$

За последние три года институтом МИРГЭМ проведен ряд лабораторных и аналитических работ по выявлению причин зависаний руды в глубоких рудоспусках карьера Расвумчорр-Цирк и установлено следующее.

1. Крупные куски руды, падая с большой высоты, уплотняют и спрессовывают рудную мелочь со снегом, в результате чего увеличивается связность между частицами руды и стенками рудоспуска. Сводообразующее давление для мелких фракций ($< 0{,}25$ *мм*) равно 10—14 *кг/см*^{2}. Пластические деформации от удара в рудном столбе распространяются на определенную глубину, ниже которой материал не уплотняется.

2. В результате статического давления рудного столба и в связи с длительными перерывами в выгрузке руда слеживается в рудоспусках.

3. Размеры поперечного сечения рудоспусков выбраны неправильно. Критическое значение m при перепуске заснеженной руды должно быть значительно больше, чем 4,21. В частности, согласно исследованиям на моделях, увеличение диаметра рудоспуска в 2,5 раза (с 6 до 14 *м*) должно устранить возможность зависаний руды в рудоспуске.

Проведенные исследования выявили также, что в наибольшей мере затрудняют выпуск пылеватые фракции руды размером 0—0,25 *мм*, которые как бы цементируют более крупные фракции. Кроме того, мелкие фракции перемешиваются со снегом, и руда в рудоспуске смерзается. Сила смерзания рудных зерен размером 0,25 *мм* достигает 23 *кг/см*^{2}, а рудных зерен размером 10 *мм* всего 0,9 *кг/см*^{2}.

Однако полная картина причин и механизма образования зависаний при перепуске заснеженной руды по глубоким рудоспускам пока не выяснена и дополнительно должны быть изучены следующие вопросы: влияние температурного режима на результаты выпуска — температуры в забое, рудоспуске, на горизонте выпуска, величины перепада температуры на поверхности и в капитальной штольне; влияние вентиляционного режима в системе выработок — капитальная штольня — рудоспуск — контрольные выработки, влияние конденсации пара и сублимации в рудном столбе на смерзаемость руды; влияние режеляции снега (повторного замерзания) при динамическом ударе кусков друг о друга и вопросы, связанные со смерзаемостью руды при этом; физико-механические свойства руды в зависимости от содержания в ней снега и от гранулометрического состава.

Не выявлено также влияние на образование зависаний шероховатости стенок рудоспусков, протяженности рудоспуска, дробления руды при падении, не исследовано влияние различных химических добавок при перепуске заснеженной руды.

Без детального исследования всех перечисленных вопросов невозможно установить истинные причины зависания заснеженной руды и разработать режим нормальной эксплуатации рудоспусков. Сложность изучаемой проблемы состоит в том, что на выпуск руды из рудоспуска влияет одновременно много факторов, действие которых не всегда можно правильно определить и учесть в процессе работы. Кроме того, степень влияния этих факторов резко меняется в зависимости от изменения качественной характеристики перепускаемого материала и метеорологических условий на поверхности.

Практика эксплуатации карьерных рудоспусков рудника Расвумчорр-Цирк в зимние периоды 1962—1964 гг. показала, что даже рудоспуски глубиной 140 *м* работают неустойчиво из-за образования в них пробок на любой высоте рудоспуска и в течках бункера.

Зимой 1962—1963 гг. рудоспуски не работали совсем: руду пришлось возить за 7 *км* на рудный склад. Нормальная эксплуатация рудоспусков началась только в мае, когда стала поступать бесснежная руда, и на поверхности установилась положительная температура. Анализируя опыт эксплуатации рудоспусков в этот сезон, плохую работу рудоспусков можно объяснить следующим.

1. Отсутствие практического опыта не позволило установить оптимальный режим загрузки и выгрузки руды из рудоспусков: руда загружалась в пустой рудоспуск, выпускалась снова почти вся, что в дальнейшем приводило к сильному прессованию руды в нижней части рудоспуска и к зависаниям в этом месте.

2. Как правило, в рудоспуск поступала сильно заснеженная руда (свыше 10% снега), так как весь персонал карьера не представлял себе важности этого фактора для перепуска руды и перед массовыми взрывами снег с уступов не убирался.

3. С наступлением холодов рудоспуски не оставались постоянно заполненными рудой, и по ним возникала сильная естественная тяга. В результате участок капитальной штольни и течки рудоспусков сильно обледенели.

4. Сравнительно малые объемы добычи руды (6—7 тыс. *т/сутки*) не позволяли интенсивно выпускать руду из рудоспусков, руда долго лежала в рудоспусках и смерзлась.

5. Стенки рудоспусков после проходки были неровные — не «отшлифовались», что способствовало сводообразованию.

Накопленный опыт и специальные эксперименты по определению рационального режима загрузки и выгрузки руды позволили более успешно начать эксплуатацию рудоспусков зимой 1963—1964 гг. В ноябре 1963 г., когда в работе находился только один рудоспуск 2, простой его из-за зависаний составил всего четверо суток. Опыт показал, что на результаты выпуска руды, кроме прочих факторов, сильно влияет высота рудного столба в рудоспуске и величина перерывов в выпуске руды. Для условий карьерных рудоспусков рудника Расвумчорр-Цирк удалось определить то минимальное количество руды (минимальную высоту рудного столба), при которой прессование руды падающими кусками не происходит. Это количество составляет 1000 *т* (19 *м* по высоте рудоспуска).

Количество руды, максимальное с точки зрения влияния на выпуск, должно быть не более 3,5—3,7 тыс. *т* (75—80 *м* по высоте рудоспуска). При хорошем равномерном дроблении руды в карьере высоту столба руды в рудоспуске можно держать больше указанной, так как на образование зависаний это не влияет. Верхний предел высоты рудного столба ограничен в основном условиями дополнительного дробления руды в рудоспуске при падении: при малой высоте падения (менее 40—50 *м*) руда в рудоспуске практически не дробится, глыбы негабаритных размеров застревают в течках, и интенсивность выпуска снижается.

Условия эксплуатации рудоспуска 2 в феврале — марте 1964 г. были следующими при температуре наружного воздуха:

	+1 —1	—1 —6	—6 —10	—10 —15	—15 —20° С
Влажность руды, %:					
максимальная	8,5	7,62	7,1	5,1	4,7
средняя	7	3,7	3,7	3,5	4,2
Перерыв в выгрузке руды, *мин*:					
максимальный	120	110	220	120	190
средний	57	90	138	85	112
Высота рудного столба, *м*:					
максимальная	65,5	115	104	124	62,5
средняя	52	64	61	80	55
Выгружено руды, *т*	9609	18 456	16 678	20 366	2 660

Как видно из приведенных данных, рудоспуски работали нормально при средней высоте рудного столба 60—80 *м*. Это соответствует количеству руды в рудоспуске 2800—3700 *т*, хотя иногда столб руды достигал 124 *м* (5000 *т*). Минимальная высота столба составляла 19 *м* (1000 *т*). Выпуск из рудоспуска шел нормально при сравнительно небольшой (менее 5%) влажности руды. При таких значениях влажности температура наружного воздуха практически на выпуск не влияет и перерывы в выгрузке руды даже свыше трех часов к зависаниям не приводили.

В основном рудоспуск работал нормально при температуре наружного воздуха выше —15° С.

Данные табл. 1 характеризуют условия образования зависаний в стволах и течках рудоспусков. Зависания образуются в основном при температуре наружного воздуха ниже —10° С и влажности руды от 6 до 20%. При более низкой температуре зависания возникают при меньшей влажности руды. В таблице учтены только зависания продолжительностью более двух часов. Зависания с меньшей продолжительностью бывают лишь в течках, где средняя продолжительность одного зависания в 1,7 раза меньше, чем в стволах рудоспусков (30 и 52 *ч*). Зависания руды в течках почти всегда связаны во времени с зависаниями в стволе, после ликвидации которых руда, падая с большой высоты (20—70 *м*), сильно прессуется в нижней части рудоспуска; запрессованную часть рудного столба (15—20 *м*) приходится «разрабатывать» фугасными зарядами в течение обычно 12—18 *ч*. При фугасировании отрывающиеся от пробки порции руды, как

Таблица 1

Условия образования зависаний в рудоспусках 1 и 2 в феврале — марте 1964 г.

Показатель	В стволах при температуре наружного воздуха, °С				В течках при температуре наружного воздуха, °С		
	—6 —10	—10 —15	—15 —20	—20	—10 —15	—15 —20	—20
Число зависаний . .	1	2	5	3	7	8	4
Влажность руды, %:							
максимальная . .	4	17	14	11,4	20,4	14	9
средняя	4	12,2	9	6,7	10,5	8,5	6
Высота рудного столба, *м*:							
максимальная . .	98	93	114	114	111	114	93
средняя	98	83	78	76	85	63	44
Перерыв в выгрузке руды, *мин*:							
максимальный .	90	60	210	480	150	210	160
минимальный . .	90	60	95	160	60	60	70
Продолжительность зависания, *ч*:							
максимальная . .	2	132	168	24	54	48	36
минимальная . .	2	24	6	18	6	36	12

правило, сильно запрессовываются в течках, образуя «подушку», сужающую живое сечение течек (рис. 2).

Однако зависание руды в течках может образовываться и независимо от зависаний в стволе, так как зависания в течках обычно связаны с гранулометрическим и качественным составом выгружаемой руды. При большом содержании в руде мелких фракций (менее 50 *мм*) и поступлении в рудоспуск разрушенных окисленных руд или глинистых моренных отложений руда в рудоспуске сильно слеживается, прессуется при выпуске и зависает в течках.

Практика показывает, что руда с равномерным гранулометрическим составом перепускается по длинным рудоспускам значительно лучше, чем с неравномерным.

Данные по ликвидации зависания фугасными зарядами в карьерных рудоспусках 1 и 2 в январе — марте 1964 г. были следующими:

	Январь	Февраль	Март
Период ликвидации зависаний:			
смена	54	92	42
час	324	552	252
Выгружено руды в период зависаний, *т*	25 500	10 400	6178
Число поставленных фугасов . .	395	336	355
Общий расход ВВ, *кг*	1259	789	800
Удельный расход ВВ, *кг*/1000 *т*	49,7	75,2	18,2
Отбито руды на один фугас, *т*	65	31	17,2
Средний вес одного фугаса, *кг*	3,2	2,3	2,3

Совместное влияние всех факторов на выпуск руды оценивает время, затраченное на погрузку одного состава из 24 думпкаров (1100 *т* руды). Из табл. 2, где приведены данные о работе рудоспусков в течение пяти зимних месяцев (ноябрь — март), видно, что среднее время погрузки одного состава в ноябре было примерно в два раза меньше, чем в декабре — феврале. В ноябре было также значительно меньше зависаний. Это объясняется сравнительно теплой погодой (морозы не превышали —10° С), незначительной влажностью руды (в основном менее 5%) и высокой интенсивностью выпуска руды, так как в работе находился только один рудоспуск 2, через который проходила вся руда, добытая в карьере. В марте условия работы рудоспусков стали благоприятнее вследствие улучшения погоды и ритмичной интенсивной загрузки рудоспусков рудой.

В табл. 3 приведены данные, показывающие зависимость продолжительности погрузки одного состава (110 *т* руды) от температуры наружного воздуха при различной влажности. Время погрузки одного состава тем больше, чем ниже температура наружного воздуха и чем больше влажность руды.

Таблица 2

Показатели эксплуатации карьерных рудоспусков 1 и 2 зимой 1963—1964 гг.

Месяц	Количество выгруженной из рудоспусков руды, *т*	Число зависаний		Время простоя, сутки		Среднее время погрузки состава, *мин*	Среднее время перерыва между составами, *мин*
		в стволе	в течках	Рудоспуск 1	Рудоспуск 2		
Ноябрь	230 462	2	2	*	4,5	70	140
Декабрь	158 283	3	4	*	12	158	114
Январь	133 906	3	5	9,5	4	124	180
Февраль	139 025	7	10	18	5	155	103
Март	231 957	4	7	8	2,5	110	67
	893 633	19	28	35,5	28	123	121

* Рудоспуск находился в ремонте.

Чтобы уменьшить влияние снега на перепуск руды, оборудована специальная установка подачи раствора поваренной соли в рудоспуск. Обычно применяют раствор плотностью 1,14—1,16, что соответствует концентрации 20—25%. Расход раствора составляет 1,5—2 $м^3/ч$, или

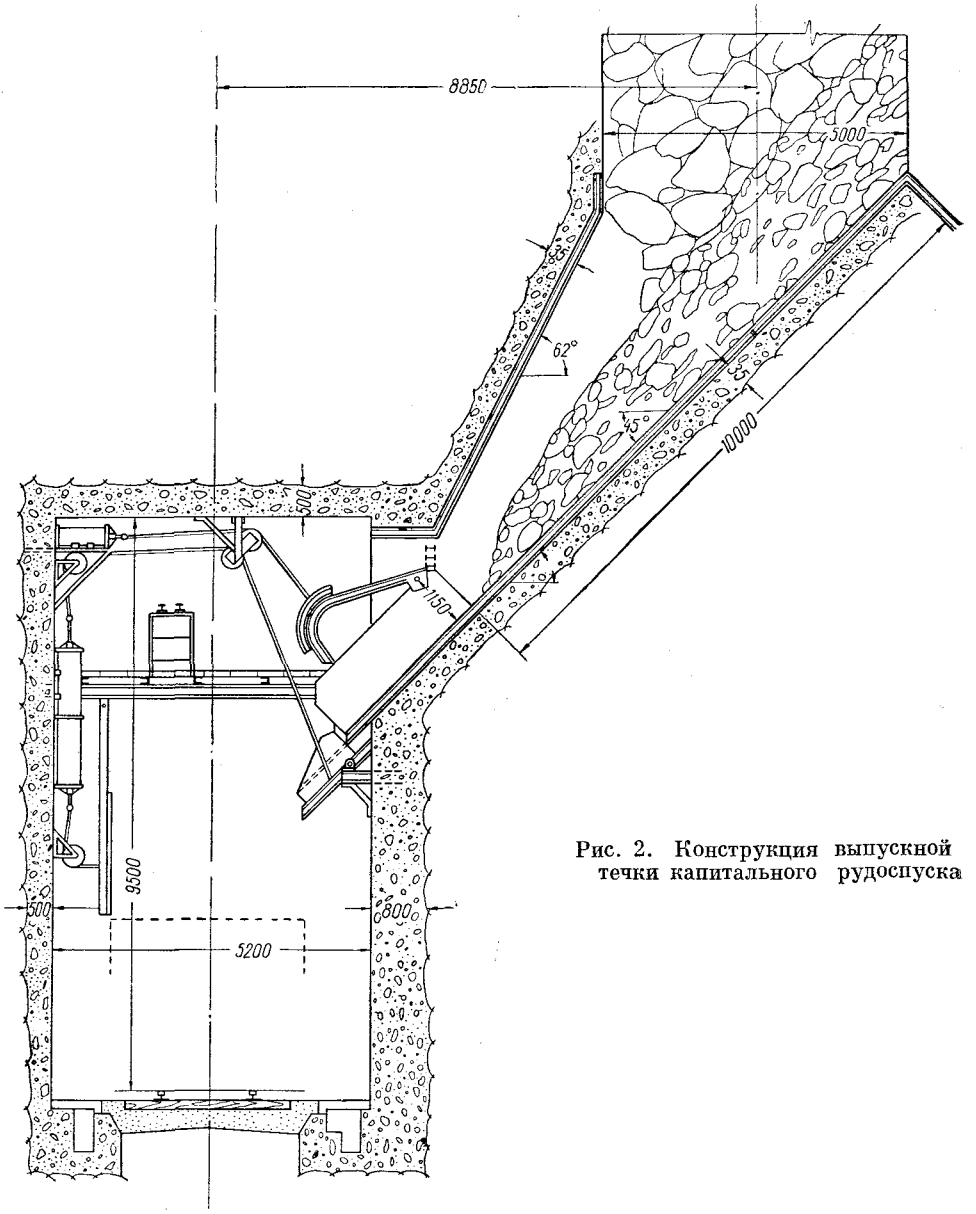


Рис. 2. Конструкция выпускной течки капитального рудоспуска

4—5 $л/т$ руды. Практика показала, что подача соляного раствора в рудоспуск уменьшает возможность примерзания руды к стенкам рудоспуска и смерзаемости кусков руды между собой.

По данным лабораторных исследований, проведенных на комбинате, добавление к руде 50 $г/т$ поваренной соли на процессе флотации практически не сказывается. Однако подача раствора NaCl не избавляет от образования зависаний, особенно при низких отрицательных температурах (ниже —20° С): концентрированный раствор поваренной соли замерзает при —21,2° С.

Таблица 3

Влияние температуры наружного воздуха на продолжительность погрузки состава

Среднее время погрузки одного состава (1100 *т*) при температуре наружного воздуха *(град), мин*										Среднее, *мин*	Влажность руды, %
−3 −4	−5 −6	−7 −8	−9 −10	−11 −12	−13 −14	−15 −16	−17 −18	−19 −20	−20 −25		
50	72	77	102	94	109	125	108	107	55	90	0—5
—	90	120	144	105	202	168	152	160	73	135	6—8
—	—	—	135	—	—	202	—	—	—	168	9—10
—	—	—	120	—	—	503	—	—	—	311	10—15

Для оперативного контроля за эксплуатацией рудоспусков и укрепления технологической дисциплины на руднике внедрены диаграммы эксплуатации рудоспусков, которые ведутся диспетчерской службой рудника. На диаграммах фиксируется режим загрузки и выгрузки руды за каждую смену, высота рудного столба, перерывы между подачами составов под погрузку, температура наружного воздуха и влажность руды. Таким образом, диаграммы отражают совокупность основных факторов, влияющих на результаты выпуска руды из рудоспусков.

Выводы

1. Зависания руды возникают в основном при температуре наружного воздуха ниже —10° С и при влажности руды, превышающей 5%.

2. При влажности руды менее 5% температура наружного воздуха на выпуск практически не влияет.

3. Для обеспечения нормального перепуска руды по рудоспускам рудника Расвумчорр-Цирк влажность руды (содержание снега) должна быть не более 5%.

4. Число зависаний в течках продолжительностью свыше двух часов существенно больше таких же зависаний в стволе рудоспуска. Средняя продолжительность одного зависания в течках в 1,7 раза меньше, чем в стволе рудоспуска.

5. Высота рудного столба в рудоспуске должна поддерживаться в пределах не более 80 *м*.

6. Интенсивность выпуска руды должна составлять не менее 9—10 тыс. *т/сутки*. Для обеспечения такой интенсивности следует держать в работе один рудоспуск, а второй — в резерве.

7. При влажности руды менее 5% и температуре наружного воздуха до —10° С перерывы в выгрузке руды длительностью до 3,5 *ч* не вызывают зависаний руды.

8. Параметры рудоспусков и конструкция их бункерной части при проектировании выбраны неправильно: диаметр рудоспуска (5 *м*) мал, а конструкция течек не приспособлена к выпуску заснеженной руды и способствует образованию подушки из смерзшейся руды, что значительно уменьшает выходное отверстие и приводит к зависаниям к течках. Нижнюю часть рудоспусков Расвумчорр-Цирк следует расширить на высоту до четвертого контрольного ходка и изменить конструкцию течек.

9. Запроектированные бункеры сечением 14 × 19 *м* и высотой 80 *м* на рудоспусках Центрального рудника исключат образование зависаний в стволах рудоспусков, но не избавят от зависаний в течках, так как там сохранятся примерно те же условия, что и в рудоспусках рудника Расвумчорр-Цирк.

Для нормальной эксплуатации рудоспусков Центрального рудника необходимо тщательно разработать мероприятия, устраняющие возможность образования зависаний в течках рудоспусков.