

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
КАМЕРНЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ
РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР**

ЯКУТСК 1976

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Якутский филиал Сибирского отделения
Институт физико-технических проблем Севера

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
КАМЕРНЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ
РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР
(На примере некоторых месторождений Заполярья)



Издание Якутского филиала СО АН СССР
Якутск 1976

УДК 622.834 Рекомендации по совершенствованию камерных систем разработки россыпных месторождений Северо-Востока СССР (На примере некоторых месторождений Заполярья).

И 889

Якутск, изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1976.

56 с. (АН СССР, Якутский филиал СО, Институт физико-технических проблем Севера).

Рассмотрены физико-механические свойства вечномёрзлых горных пород месторождений Заполярья. Проанализированы и обобщены результаты многолетних шахтных наблюдений за поведением кровли и целиков при камерно-лавной системе разработки. На основании исследований составлены рекомендации по определению оптимальных размеров ленточных междукамерных целиков, испытывающих за время отработки камеры нагрузку, меньшую веса вышележащих пород. Предлагается также рассчитывать предельные пролеты камер с учетом скорости подвигания забоя и временной прочности пород кровли. Для глубокозалегающих месторождений разработаны предварительные рекомендации по применению столбовой системы разработки с использованием механизированной крепи.

Институт физико-технических проблем Севера

© Якутского филиала Сибирского отделения АН СССР, 1976

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на приисках Северо-Востока широкое распространение получила камерно-лавная система разработки, обеспечившая безопасность производства работ в сложных мерзлотно-геологических условиях и значительное повышение производительности труда. Вместе с тем она обладает существенным недостатком - высокими потерями полезного ископаемого - особенно заметным при разработке россыпей на больших глубинах и со сравнительно высоким содержанием металла. Уровень эксплуатационных потерь колеблется от 4 до 12 % и зависит главным образом от параметров междукамерных целиков и пролета камер.

Резко возрастают потери при оставлении ленточных (сплошных) целиков и особенно в связи с тем, что их ширину принимают, исходя из положений "Инструкции" [II], разработанных для определения параметров прерывистых (тумбовых) целиков.

Отсутствие методики расчета ленточных целиков и большие потери песков, которые наносят невосполнимый экономический ущерб, явились предпосылкой для проведения исследований, основная цель которых - дать рекомендации по снижению эксплуатационных потерь при камерных системах разработки.

В основу рекомендаций положены исследования, выполненные сотрудниками лаборатории разработки россыпных месторождений и лаборатории технологии разработки месторождений полезных ископаемых отдела горного дела Института физико-технических проблем Севера ЯФ СО АН СССР.

Рекомендации составлены кандидатами технических наук К.И.Лубием, Д.П.Сенук и инженером Г.С.Ушаковым при научном руководстве К.И.Лубия и доктора технических наук В.Н.Скубы. Научное редактирование проведено доктором технических наук А.Ю.Бейлиным.

І. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Климат района и мерзлотно-геологическая характеристика месторождений

Климат района исследуемых месторождений характеризуется продолжительной (9 месяцев) зимой и коротким прохладным летом со среднемесячной температурой $+6^{\circ}\text{C}$ и частыми туманами. Средние январские температуры минус $28-30^{\circ}\text{C}$. Суровость климата усугубляется сильными ветрами, скорость которых иногда достигает 50 м/с . Нерабочих дней по климатическим условиям - $20-40$. Снегопады бывают в любое время года. Продолжительность периода с положительной температурой - $70-90$ дней.

Характерным для района является слаборасчлененный рельеф со сглаженными формами. Максимальная высота на юге 800 м , на севере - 250 м .

Вечная мерзлота распространена повсеместно. Зимой наблюдаются наледи.

Основным отличием геокриогенного строения рыхлых отложений, включая золотоносные пласты разведанных и эксплуатирующихся месторождений, является высокая льдистость, достигающая 80% .

Главная особенность покрывающих пород - наличие различных по мощности ледяных жил, пронизывающих всю толщу суглинков и часто достигающих коренных пород.

Развитие ледяных жил склоновых отложений в районе контро-

лируется в основном процессами солифлюкции. Чем интенсивнее солифлюкция, тем неблагоприятнее условия развития ледяных жил на склонах и наоборот. В случае малоинтенсивного солифлюкционно-оползневого смещения талых пород по склону залегающие под ними ледяные жилы подвергаются незначительным изменениям. Жилы, ориентированные поперек склона, искривляются и становятся асимметричными. В жилах, ориентированных вдоль склона, образуются горизонтальные породные прослойки. При интенсивной солифлюкции развитие ледяных жил на склоне вообще прекращается.

Повторно-жилные льды, к которым относятся ледяные жилы, являются предпосылкой развития термокарстовых процессов, формирующих рельеф и угрожающих возводимым сооружениям.

При ведении подземных горных работ наличие ледяных жил существенно усложняет соблюдение технологии очистной добычи, снижая устойчивость кровли очистных выработок.

Основными средствами, обеспечивающими безопасность работ, являются сокращение площади выработанного пространства и максимальное увеличение скорости подвигания очистного забоя.

Большая часть территории района сложена средочными породами триасового возраста. Широко развиты, особенно в северной части, осадки четвертичной системы. Они представлены элювиальными, озерно-болотными, озерно-эквивальными, озерными и дельтавиальными фациями.

Среднечетвертичные, перекрывая нижнечетвертичные отложения, залегают непосредственно на коренных породах террас и долинных водостоков. Они представлены в основном галечником и песком. Мощность их до 15 м. К этим отложениям приурочена основная часть золотоносных россыпей.

Современные отложения представлены аллювием, коллювием, дельвием и аллювием надпойменных террас, сложенных галькой, песком, гравием, песчанистыми образованиями. Мощность 5-6 м.

Как правило, в золотоносной части склоновых отложений (кроме современной поймы) залегают толща литологически однородных пылеватых суглинков. Мощность их, по мере приближения к коренному склону долины, изменяется от нескольких сантиметров до 25-30 м.

Ниже приведен литологический состав рыхлых отложений по эксплуатирующимся месторождениям.

Месторождения ручьев Б., О., И.

0-0,6 м - почвенно-растительный слой, мох;

0,6-2,0 м - суглинки желтовато-серые, плотные;

2,0 м - песчаный темно-серый ил, цементированный льдом.

После суглинков обычно залегают покровные льды, содержащие линзы илов; далее идет слой илов мощностью 0,6-3 м, разбитый прожилками и жилами льда на отдельные блоки; ниже следуют аллювиальные отложения, представленные щебенкой и галькой песчанисто-глинистых сланцев и кварца, валунами кварца. Обломочный материал цементирован илом и льдом.

Месторождение руч. Э.

По составу рыхлых отложений на месторождении четко выделяются два участка.

Нижний, заключенный между разведочными линиями 6I-89 (шх. I, 2, 3, 4, 7, 9, II), характерен следующим составом рыхлых отложений:

0-0,6 м - почвенно-растительный слой, мох;

0,6 м - толща льдистых иловых супесей озерно-аллювиального генезиса. Криогенная текстура основной массы тонкодисперсная и тонкосетчатая. Жилы и клинья льда для нижней части не характерны. Ниже располагается горизонт аллювиальных галечников, темно-серых песчано-глинистых сланцев и валунов кварца.

Верхний участок (р.л. 89-109, шх. 5, 6, 8, 10, 14, 16) по составу рыхлых отложений аналогичен вышеописанным месторождениям ручьев Б., О., И.

0-0,6 м - почвенно-растительный слой;

0,6-2,0 м - суглинки желтовато-серые, плотные;

2,0 м - пласт льда, содержащий включения иловатых супесей.

Ниже залегают пласты супесей мощностью 0,6-3 м, расчлененные прожилками и жилами льда на блоки. Ледяные жилы (клиновидные) рассекают подстилающий горизонт аллювиальных галечников и проникают в разрушенные коренные породы. Обломочный материал цементируется супесью и льдом.

Месторождение руч. С-У.

Здесь также по составу рыхлых отложений выделяется два участка - нижний (р.л. 190-200, шх. 15) и средний (р.л. 200-226).

Н и ж н и й у ч а с т о к. Под растительным слоем, с глубины

0,6 м, залегают вязкие глины с незначительной примесью тонкозернистого песка мощностью 14-23 м. Ниже идет горизонт аллювиальных галечников и валунов песчано-глинистых сланцев и кварца. Обломочный материал цементируется глиной и льдом.

Средний участок сложен льдистыми супесями. Лед представлен клинообразными жилами различной ориентации. На отдельных участках в основании покровных отложений залегают серые глины (сухие илы), мощность которых колеблется от 0,4 до 20 м. Закономерностей в распространении не наблюдается. Ниже - аллювиальные галечники песчано-глинистых сланцев и кварца, сцементированные супестью и льдом.

Физико-механические свойства вечномерзлых горных пород

Вечномерзлые породы обладают способностью деформироваться во времени без увеличения напряжений; они обнаруживают свойства ползучести. Прочность их зависит от времени воздействия нагрузки - чем больше это время, тем меньшие величины напряжений вызывают критические состояния породы.

При разработке вечномерзлых россыпей эти свойства выступают как один из важнейших факторов, обуславливающих напряженно-деформированное состояние массивов горных пород вокруг выработок. Влияние времени обнажения на устойчивость кровли выработка есть не что иное, как следствие изменения механического состояния горных пород, связанное с проявлением их свойств ползучести. Известно, что длительная прочность мерзлых пород зависит от вида сопротивления разрыву, сжатию, сдвигу. Для всех видов сопротивления мерзлых пород справедливы некоторые общие закономерности:

а) предел длительной прочности значительно меньше (в 5-15 раз) мгновенной прочности (временного сопротивления);

б) прочность снижается в течение сравнительно длительного времени, однако наиболее интенсивно в начальный небольшой период;

в) длительная прочность и ползучесть мерзлых пород зависят в основном от следующих факторов: температуры, с повышением которой прочность уменьшается, а реологические свойства проявляются сильнее; гранулометрического состава пород - бо -

лее тонкодисперсные породы обладают меньшей прочностью и более резко выраженными вязкопластическими свойствами; плотности пород, с повышением которой прочность увеличивается, а показатели реологических свойств снижаются; суммарной влажности пород - льдистости, с повышением которой до определенного предела прочность увеличивается, а за этим пределом - уменьшается; содержания незамерзшей воды, с увеличением которого прочность пород снижается. Предельно длительная прочность мерзлых пород во всех случаях больше, чем чистого льда. Однако мгновенная прочность мерзлых пород, как правило, меньше.

Деформацию мерзлых пород во времени можно охарактеризовать графически кривыми ползучести, строящимися в координатах относительная деформация (ϵ) - время (t) при постоянной нагрузке $\sigma = const$. Процесс деформирования подразделяют на восстанавливающую деформацию, состоящую из упругой, структурно-обратимой [1], и не восстанавливающейся, состоящую из структурно-необратимой, пластической.

Кривую ползучести условно разделяют [2,3] на несколько участков (рис. I), отображающих различные стадии деформирования. Сразу же после приложения нагрузки в горной породе развиваются упругие деформации (участок OA), которые полностью восстанавливаются после разгрузки.

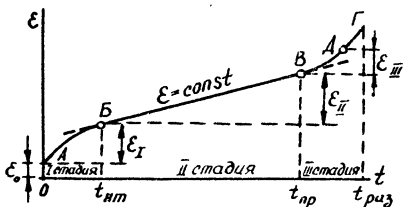


Рис. I. Полная кривая ползучести горной породы

С течением времени в мерзлой породе развиваются деформации неустановившейся ползучести (участок AB), характеризующиеся замедлением скорости, которая в пределе стремится к нулю. Величина и скорость такой деформации определяются интенсивностью действующей нагрузки. При воздействии малых нагрузок процесс деформирования заканчивается стабилизацией деформации за конечный отрезок времени.

Однако нагрузки, приближающиеся по величине к пределу длительной прочности, могут вызывать деформации, нарастающие неограниченно долго с постепенно уменьшающейся скоростью.

Если нагрузка превышает предел длительной прочности в мерзлых породах, развивается незатухающая ползучесть. Процесс деформирования с замедляющейся скоростью при достижении некоторого минимального ее значения в момент $t_{нт}$ переходит в стадию установившегося пластично-вязкого течения с практически постоянной скоростью (участок $БВ$). По мере развития деформации стадия установившейся ползучести во время $t_{пр}$ переходит в стадию прогрессирующей ползучести (участок $ВГ$) со всевозрастающей скоростью. Процесс деформирования за этой стадией заканчивается хрупким или вязким разрушением мерзлых пород, соответствующим времени разрушения $t_{раз}$.

С.С.Вялов [1] предлагает закономерность снижения прочности во времени выразить эмпирической формулой:

$$\sigma(t) = \beta / \ln(t_p / B),$$

где β (кг/см²) и B (час) - параметры, зависящие от типа породы и его температуры;

t_p - время до разрушения под нагрузкой $\sigma(t)$.

Эта формула хорошо описывает процесс снижения прочности рассматриваемых пород во времени на растяжение и сжатие и является наиболее удобной для использования в расчетах.

Коэффициенты β и B можно рассчитать, экспериментально определив два значения напряжения σ_1 и σ_2 и время разрушения для каждого из них t_{p1} и t_{p2} :

$$\ln B = \frac{\sigma_1 \ln t_{p1} - \sigma_2 \ln t_{p2}}{\sigma_1 - \sigma_2};$$

$$\beta = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_2} \cdot \ln \frac{t_{p2}}{t_{p1}}, \text{ кгс/см}^2.$$

В естественном состоянии вечномерзлые горные породы (месторождение руч. Б) имеют влажность 17-18% и следующий гранулометрический состав: фракция более 10 мм - 50,4%; 7-10 мм - 8,24%; 5-7 мм - 6,86%; 3-5 мм - 7,68%; 2-3 мм - 4,22%; 1-2 мм - 6,06%; 0,5-1 мм - 1,72%; 0,25-0,5 мм - 2,86%; менее 0,2 мм - 12,06%, т.е. булыжники, галька, гравий, щебень, дресва состав-

ляют 77,3%, а заполнитель (песок, пыль, глина) – 22,7%. Следовательно, породы представляют собой агрегат, состоящий из сравнительно крупных обломков и включений, сцементированных льдистым заполнителем. Испытание физико-механических свойств было проведено в лабораторных условиях, для чего тщательно перемешанную навеску сухой породы с гранулометрическим составом, соответствующим природному, отобранную способом средней пробы, загружали в стальную форму. После этого породу насыщали водой до влажности 14–16 %, соответствующей естественной. Затем стальную форму с водонасыщенной породой помещали под пресс в морозильной камере при давлении 2 кг/см^2 . Здесь образец замораживали при температуре минус 5°C . После замораживания получался монолит породы кубической формы с длиной ребра 20 см.

Величина давления 2 кг/см^2 , принятая при замораживании образца, соответствует естественному давлению горных пород нетронутого массива на глубине 9,5 м.

Нагружение образцов производили на испытательном стенде в условиях возможного бокового расширения. Деформацию измеряли двумя индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Время испытания образцов изменялось от нескольких секунд до 135 часов. Выполнено 15 опытов.

В большинстве случаев абсолютная деформация сжатия не превышала 7,5 % первоначальной высоты образца. Вначале был определен мгновенный предел прочности образцов пород на сжатие. Все образцы разрушались при нагрузках, превышающих $40\text{--}45 \text{ кг/см}^2$, хрупко, с образованием продольных трещин. До разрушения они почти не изменяли своей формы. Разрушение фиксировалось совершенно отчетливо, т.е. значение временного сопротивления одноосному сжатию – величина вполне определенная, объективно получаемая из опыта.

При определении длительной прочности на сжатие некоторые образцы в течение первых 30 мин нагружения значительно деформировались (относительные деформации составили 0,025 – 0,050),

затем в течение 20–48 часов деформация была едва заметной (0,005–0,001), после чего вновь резко возрастала, и образцы разрушались так же, как и при мгновенных нагрузках.

Установлено заметное снижение прочности пород с увеличением времени действия разрушающей нагрузки. Временное сопротив-

ление образцов сжатия при температуре минус 5°C составило 53 кг/см^2 , длительное — 22 кг/см^2 .

Так как в естественных условиях температура вечноммерзлых пород (в среднем) равна минус $7-8^{\circ}\text{C}$, для исследуемых месторождений приняты следующие показатели физико-механических свойств пород: объемный вес $\gamma - 2 \text{ т/м}^3$, модуль упругости $E - 50000 \text{ кг/см}^2$, предел длительной прочности на сжатие $\sigma_{см} - 26 \text{ кг/см}^2$, предел прочности на сдвиг $\tau - 14 \text{ кг/см}^2$, предел длительной прочности на растяжение $\sigma_{р} - 5-7 \text{ кг/см}^2$ в зависимости от вида заполнителя.

Указанными величинами допустимо пользоваться при проектировании шахт, расположенных в исследуемом районе.

Сопротивление разрыву, а следовательно, и интенсивность снижения прочности во времени мерзлых крупноскелетных пород обусловлены прочностью заполнителя, т.е. его влажностью и составом.

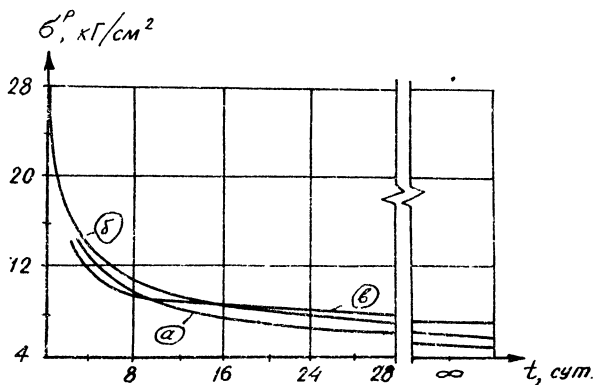


Рис. 2. Кривые длительной прочности галечника с песчаным (а) и супесчаным (б) заполнителем и щебня с суглинистым заполнителем (в)

На рис. 2 приведены кривые длительной прочности пород, наиболее часто встречающихся в исследуемом районе: галечника с песчаным и супесчаным заполнителями и щебня с суглинистым заполнителем.

Горнотехнические условия эксплуатации месторождений и система разработки

Глубина разработки изменяется от 10 до 40 м. Мощность золотоносного пласта непостоянна и колеблется от 1,6 до 4 м. Плотик сравнительно выдержан.

Длина шахтных полей - 300-400 м, ширина равна ширине россыпи, но, как правило, не превышает 250 м. Вскрытие производится наклонными стволами ($\alpha = 12-16^\circ$), оборудованными ленточными конвейерами (КШП-500).

На всех шахтах Северо-Востока с 1966 г. применяется камерно-лазная система разработки, которая обеспечила высокие технико-экономические показатели работы подземных бригад. Так, производительность труда рабочего на очистной добыче составила 8-12 м³/чел.-смены, скорость подвигания очистного забоя достигла 25-30 м в месяц, суточная добыча - в среднем 400-500 м³, а на некоторых шахтах - до 1000 м³.

Параметры системы разработки в основном соответствуют рекомендациям "Инструкцией по применению камерно-лазной системы разработки вечномерзлых россыпей Северо-Востока" (Магадан, 1973), но в ряде случаев отмечаются значительные отступления, относящиеся главным образом к размерам и форме междуканальных целиков. Недопустимо, например, сокращение ширины целика до 1-1,2 м и повсеместное, не зависящее от условий разработки, оставление сплошных ленточных целиков, вследствие чего эксплуатационные потери увеличиваются до 10-12 %.

Наблюдаются случаи недостаточно обоснованного увеличения пролета камер, что влечет за собой интенсификацию заколообразования и обрушения кровли в действующих камерах. Последнее обстоятельство заметно повышает опасность производства работ.

Крепление очистного пространства, как правило, не производится; обычно устанавливают 5-6 контрольных стоек, что соответствует рекомендации по применению камерно-лазной системы разработки при соблюдении параметров, установленных проектом горных работ. Активирование почвы выработанного пространства производится после отработки камеры. В случае необходимости частичного погашения междуканальных целиков составляются специальные проекты.

Применение камерно-лазной системы разработки, как отмечалось,

сопряжено с увеличением эксплуатационных потерь полезного ископаемого и объема нарезных выработок.

В настоящее время потери в междукамерных целиках составляют 8-10%, достигая в отдельных случаях 12%. Удельный вес подготовительных и нарезных работ колеблется в пределах 25-30%.

Приведенные показатели свидетельствуют о том, что совершенствование параметров камерно-лавной системы - задача актуальная.

Ниже приведена методика и результаты исследований, целью которых была разработка рекомендаций по сокращению эксплуатационных потерь путем установления оптимальных параметров пролетов камер и междукамерных целиков.

II. МЕТОДИКА ШАХТНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ

Общие замечания

Эффективность камерно-лавной системы разработки и безо-пасность ведения горных работ зависят главным образом от правильного выбора основных ее параметров - пролета камер и ширины междукамерных целиков. Поэтому при исследованиях обычно решают две задачи.

1. Изучение состояния кровли камер в течение определенного периода и характера ее опускания (или обрушения) при работе без крепления.

2. Исследование работы междукамерных целиков, определение их несущей способности и условий разрушения в целях сокращения до минимума эксплуатационных потерь.

При определении несущей способности целиков необходимо учитывать ряд основных факторов: неоднородность стресса и различную прочность пород пласта песков, температуру массива горных пород, льдистость, срок службы целика и его податливость, глубину разработки, размеры, форму целиков, воздействие зарядов ВВ и расположение целиков в шахтном поле. Назначение междукамерных целиков - обеспечение плавного оседания вышележащей

толщи пород и безопасных условий труда в рабочих камерах. При этом важное значение имеет характер деформирования целиков во времени, исключающий разрушение целиков вблизи действующих камер.

Так как теоретические исследования не позволяют учитывать перечисленные факторы с достаточной полнотой и достоверностью, в работе принят комплексный метод, включающий в себя аналитические решения, натурные исследования и анализ статистических данных по шахтам за 1969–1974 гг., а также некоторые результаты более ранних исследований, выполненных авторами.

Температура горных пород

На устойчивость кровли и несущую способность целиков существенное влияние оказывает температура вентиляционного потока, которая в свою очередь зависит от температуры воздуха на поверхности. Поэтому температурные наблюдения проводятся в течение нескольких месяцев и охватывают холодный и теплый периоды, для чего используются недельные термографы с самописцем, психометрические ртутные термометры и термометры сопротивления. В процессе наблюдений установлена существенная разница в показаниях контрольных термометров и термометров сопротивления, поэтому от использования последних пришлось отказаться.

Термографы устанавливали на дневной поверхности вблизи устья шахты, в околоствольном дворе, в транспортном штреке и в двух-трех действующих камерах-лавах.

Температуру горных пород измеряли ртутными термометрами, которые помещали в шурфы глубиной 2,2–2,5 м, пробуренные на различном расстоянии от почвы выработок. Данные замеров заносили в полевые журналы. После обработки термокарт и анализа данных температуры горных пород строили график изменения температуры на поверхности и ее влияния на температуру воздуха в горных выработках шахты.

Смещение кровли

2. деформация междуканнерных целиков

Замеры смещений кровли производились универсальными стойками с индикаторными головками СУИ-II. Стойка устанавливалась между реперами, которые засыпаются в почву и кровлю. Замеры

производились 1 раз в сутки. Программой исследований предусматривалось также проведение визуальных наблюдений и обследование состояния кровли камер большинства шахт эксплуатирующихся месторождений. Характерные случаи обрушения кровли фиксировались в полевых журналах.

Для наблюдения за деформацией междукamerных целиков, производимого регулярно через трое суток, использовались измерительные стойки СУИ-11. Стойку устанавливали между верхним и нижним знаками, брали отсчет и заносили в журнал наблюдений. Во время замера деформации производились контрольные измерения размеров целика, которые отражались на ранее составленном эскизе.

Привязка целиков производилась с помощью рулетки к ближайшим маркшейдерским знакам. На основании изучения маркшейдерских планов горных работ и геолого-маркшейдерских отчетов по шахтам, отработанным в 1969-1974 гг., составлены таблицы, в которых сгруппированы междукamerные целики по ширине:

до 1 м; 1-1,5 м; 1,5-2,0 м; 2,0-2,5 м; 2,5-3,0 м;
3,0-3,5 м; 3,5-4,0 м и более 4 м.

Установлены объем и процент потерь полезного ископаемого в зависимости от формы целиков и величины предельного пролета камер, для чего составлены сравнительные таблицы и схемы подготовки шахтных полей.

Измерение напряжений в целиках фотоупругими датчиками

Метод фотоупругих датчиков в современной отечественной и зарубежной геомеханике является новым и сравнительно малораспространенным методом натуральных измерений напряжений в горных породах, хотя основные теоретические положения метода были известны еще в 1931 г. [4,5].

Сущность метода состоит в следующем: фотоупругий датчик в виде небольшого толстостенного цилиндра (диаметр обычно 35-40 мм, длина 30-35 мм) с осевым отверстием, изготовленный из оптически активного материала - стекла КВ, вводится в пробуренную в горной породе скважину и приклеивается своей цилиндрической поверхностью с помощью цементного или цементно-

песчаного раствора к стенкам скважины. При схватывании цементно-песчаного раствора датчик начинает деформироваться совместно с окружающей породой и, следовательно, оказывается напряженным. Благодаря свойствам оптически активных материалов приобретать в напряженном состоянии способность к двулучепреломлению датчик обнаруживает свою напряженность при наблюдении его с помощью полярископов в поляризованном свете. Наблюдаемый в датчике оптический эффект может быть измерен, кроме того он связан с напряжениями в датчике в любой точке законом Вертгейма:

$$\Gamma = 2Cl \cdot \tau_{max},$$

где Γ - разность хода поляризованных лучей в датчике;
 l - длина светового пути (т.е. двойная толщина датчика);
 C - оптическая постоянная материала датчика, см²/кг;
 τ_{max} - максимальное касательное напряжение, кг/см².

Если измерена с помощью полярископа Γ , может быть определено и напряжение в датчике. Переход от напряжения в датчике к напряжениям в горной породе основан на известном решении задачи о взаимодействии равномерно сжимаемой бесконечной пластинки с впаиным круговым кольцом [6].

Узор, соответствующий изолиниям равных τ_{max} и наблюдаемый в поляризованном свете со стороны торцевой кольцевой поверхности датчика, показан на рис.3.

Рабочий аппарат метода учитывает влияние механического состояния датчика [7] и толщины слоя клея [8] на его показания.

Задачей тарировочных испытаний в лабораторных условиях было:

1. Определение численных значений коэффициентов пропорциональности между порядком изохроматических полос в датчике при его нагружении и напряжением в образце мерзлой горной породы или имитирующем мерзлую горную породу материале, для которого E материала $\cong E$ мерзлой породы.

2. Определение влияния отрицательной температуры вечномерзлых пород на показания фотоупругих датчиков.

3. Определение оптимальных составов и добавок цементно-песчаных смесей, обеспечивающих удовлетворительное сцепление датчиков с мерзлыми породами.

В качестве материала для изготовления образцов использовано блочное оргстекло.

Каждый образец с датчиком подвергался 3-8-кратному ступенчатому нагружению и разгрузке с выдержкой во времени при постоянной нагрузке на каждой ступени от 5 до 15 минут. Величина нагрузки не превышала 50% от мгновенно разрушающей.

Серии нагружений на гидравлическом прессе при отрицательной и положительной температурах воздуха совпадали по ступеням, времени выдержки и величинам нагрузок.

По результатам тарировки были вычислены цены полос в характерных точках датчиков, т.е. величины напряжений в образце (породе), которым соответствует изменение количества полос в точках A_i ($i=1,2$) и K_j ($j=1,2,3,4$) на единицу (см. рис.3).

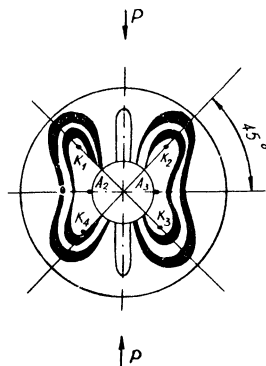


Рис. 3. Симметричная картина изолиний σ_{max} наблюдаемая в фотоупругом датчике

На рис.4 приведен тарировочный график и соответствующие цены полос для нагружений при отрицательных температурах.

Порядок пользования результатами тарировок при измерениях в шахтных условиях следующий. Снятие отчета в шахтных условиях означает подсчет и запись порядков полос в каждой из 6 характерных точек (см.рис.3) датчика, нахождение среднегоарифметического по точкам A_i и K_j и умножение среднего порядка полосы на определенную в лабораторных условиях цену ЕЕ.

$$\sigma_{массива} = n \sigma_0 ,$$

где n - порядок полосы (целое или дробное число);
 σ_0 - цена полосы, кг/см².

Лабораторные испытания показали, что в качестве оптимального клеящего состава для установки датчиков в породах, имеющих отрицательную температуру, может служить состав, рекомендуемый в работе [9]: чисто цементный раствор с 4% CaCl₂ от веса цемента и В:Ц=0,36.

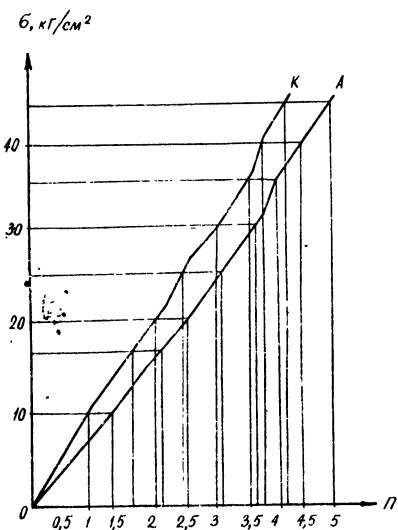


Рис. 4. Зависимость между напряжением в образце σ и порядком полосы n в датчике при отрицательной температуре

три целика равной ширины в каждой. I группа - целики, расположенные в непосредственной близости от нетронутого массива; II - целики, расположенные в 40-60 м от нетронутого массива; III - целики, расположенные в центральной части шахтного поля; IV - целики, расположенные в выработанном пространстве. В целиках I-III группы наблюдения ведут со стороны рассечки, начиная с первого дня отработки камеры; в целиках IV группы - после отработки камеры. Наблюдения ведутся одновременно во всех группах целиков.

Периодичность снятия замеров - I раз в сутки в течение трех месяцев, начиная со дня начала отработки камеры.

Изучение напряжений в кровле камер на моделях из оптически активных материалов

Для исследования напряженного состояния кровли камер использован метод фотоупругости.

Установка датчиков в подземных условиях производится в шпурах диаметром 38-42 мм и глубиной I-I,2 м. При измерениях в ленточных целиках количество шпуров в каждом целике назначается из условий требуемой надежности данных измерений и необходимости сделать суждение о напряженном состоянии всего целика. Для параметров камерно-лавной системы, применяемой при разработке исследуемых месторождений, количество шпуров, а следовательно, датчиков в каждом целике должно быть не меньше 5-6 штук.

Для наблюдения за изменением напряжений в междукамерных целиках их разбивают на четыре группы по

Для изготовления моделей был выбран оптически активный материал СД-5 (полистирол сшитый) с объемным весом $\gamma = 1,2 \text{ г/см}^3$.

По образцам размером $1,9 \times 1,1 \times 5,0$ см были определены цена полос модели σ_0 , τ_0 и материала $\sigma_0^{(1,0)}$, $\tau_0^{(1,0)}$, а также оптический коэффициент напряжения C_0 .

Основные оптико-механические характеристики СД-5 при температуре замораживания, определенные в результате испытания образцов, сведены в табл. I.

Таблица I
Оптико-механические характеристики СД-5

| Материал | Температура замораживания | Коэффициент оптической чувствит. по напряжен. C_0 $10^7 \text{ см}^2/\text{кг}$ | Цена полосы материала, кг/см | | Цена полосы модели, кг/см^2 | |
|------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | $\tau_0^{(1,0)}$ | $\sigma_0^{(1,0)}$ | τ_0 | σ_0 |
| Полистирол сшитый (СД) | 135° | 2045 | 0,13 | 0,26 | 0,12 | 0,24 |

Было изготовлено 20 плоских моделей размером 200×300 мм. В моделях были сделаны в соответствующем масштабе сквозные прямоугольные вырезы, имитирующие камеры с пролетами 10, 15, 20, 25 м, расположенными в натуре на глубине 10, 15, 20, 30 м. Геометрический масштаб моделирования выбирался из учета размеров камер; силовой масштаб моделирования – из условия создания в модели градиента напряжений, достаточного для расчета.

Основными силами, действующими в горном массиве, ослабленном горными выработками, являются объемные силы, т.е. собственный вес массива и внутренние силы – напряжения, возникающие в породе, поэтому нагружение моделей осуществлялось в центрифуге при температуре замораживания напряжений, равной 135°C .

Ш. РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Температура и влажность горных пород

Стационарные температурные наблюдения проведены на шахтах месторождений ручьев Б. и С-У. и эпизодические - на шахтах месторождения руч. Э.

Температуру на дневной поверхности и в горных выработках измеряли в соответствии с методикой недельными термографами.

Из графика (рис. 5) видно, что при изменении температуры поступающего в шахту воздуха от минус 28 до плюс 20°C температура в очистных выработках колеблется в диапазоне от минус 14 до минус 10°C.

При минимальной температуре воздуха минус 55°C температура в очистных выработках снизилась до минус 15°C, а в околоствольном дворе до минус 25°C. С повышением температуры воздуха до плюс 20°C в околоствольном дворе она достигла 0°C и не превышала минус 7°C в камере.

Аналогичные исследования проведены на шахтах месторождения руч. С-У. Здесь при изменении температуры наружного воздуха от минус 40 до плюс 20°C температура в околоствольном дворе остается отрицательной, изменяясь от 16 до 8°C, а в очистных выработках - минус 10-12°C.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что воздух, поступающий в шахту, в выработках, расположенных на достаточном удалении от околоствольного двора (более 50 м), приобретает температуру окружающих пород или близкую к ней.

На шахтах месторождений ручьев Б. и С-У. помимо измерения температуры воздуха выполнены два цикла замеров температуры пород пласта, которая изменялась от минус 6,2 до минус 8,5°C и в среднем составила минус 7,4°C.

Влажность пород пласта месторождения Б. составляет 18%. Учитывая, что строение, литологический состав и льдистость пород пласта месторождений ручьев Э., И., С-У. аналогичны пласту месторождения Б., вполне допустимо принять для этих месторождений влажность пород 18%.

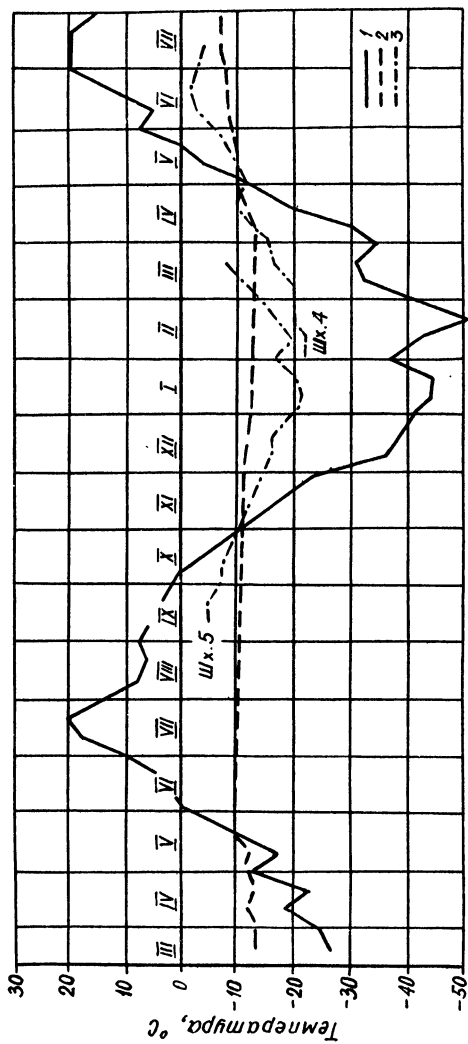


Рис. 5. Изменение среднедекадной температуры воздушной струи в шахте месторождения руд. Б.:

1 - температура воздуха на поверхности; 2 - температура воздуха в камере-лаве; 3 - температура воздуха в рудноре

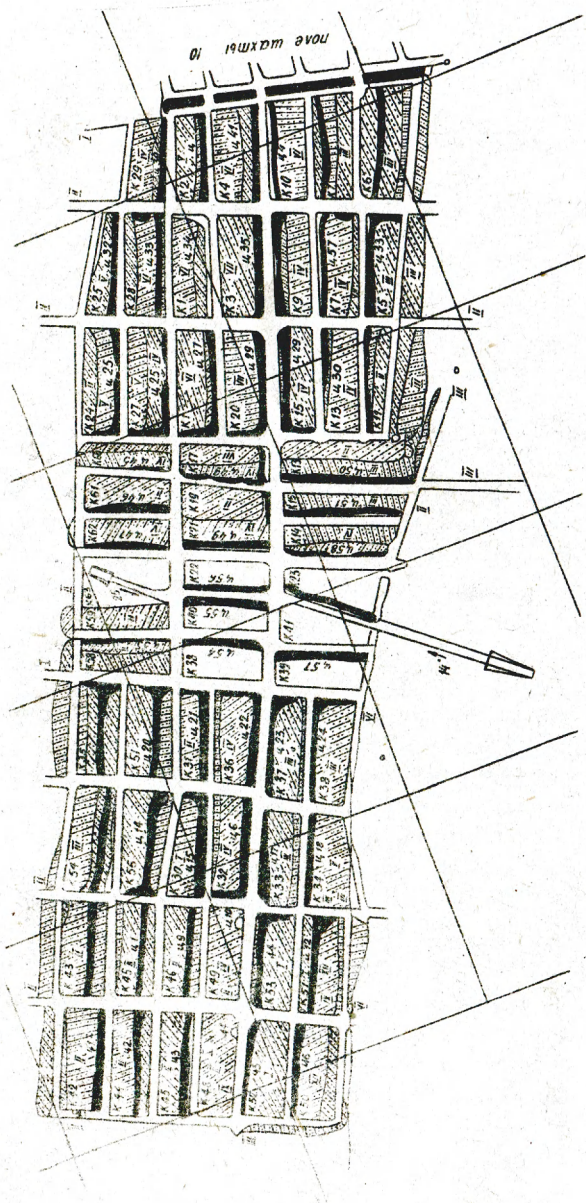


Рис. 6. Поле шах. 12 месторождения руд. С-У

Состояние кровли камер и деформирование междуканнерных целиков

Регулярные наблюдения за состоянием кровли камер проводились на шх. I2 руч. С-V, (рис.6) и периодические - на большинстве действующих шахт.

Контрольные замеры параметров камер показали, что ширина их, как правило, составляет 18-25 м, что вполне соответствует горно-геологическим условиям отработанных месторождений.

Обследование состояния кровли камер и наблюдения на шх. I2 позволили установить, что заколообразованию и обрушению кровли обычно предшествует ее опускание на 250-300 мм. Эта величина является критической для условий шахт исследуемого района.

Кроме этого установлена важная закономерность поведения кровли камер в зависимости от параметров и податливости междуканнерных целиков. Так, например, на шх. I9 в камерах, ограниченных целиками сравнительно небольшой ширины (1,8-2,2 м), как правило, обрушения кровли отсутствует (рис.7). Кровля плавно опускается без разрыва сплошности, причем величина ее и скорость опускания соответствуют величине и скорости

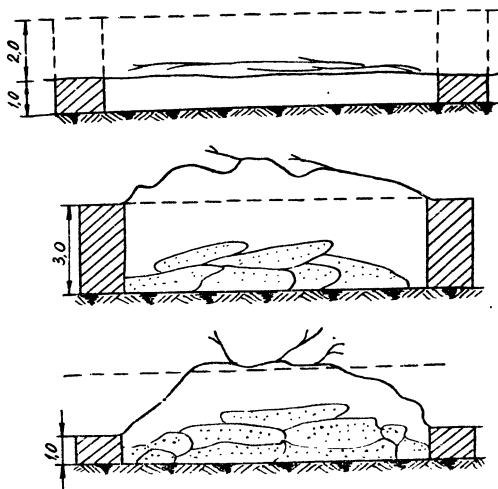


Рис. 7. Поведение кровли в камерах шх. I9.

деформации целиков. Если же целики большей ширины и обладают значительной жесткостью, абсолютная величина и скорость опускания кровли заметно опережают во времени деформацию целиков, вследствие чего происходит разрыв и обрушение кровли средней части камеры (см.рис.7). Высота зоны обрушения зависит в основном от состава и льдистости горных пород. Обычно она составляет 1-2 м, но в ряде случаев достигает 4-5 м.

Обследование состояния кровли очистных выработок позволяет сделать следующие выводы.

1. Ранее рекомендованный пролет камер 20 м не всегда является оптимальным.

2. Изменение величины пролета возможно лишь после испытания прочностных свойств пород кровли.

3. Обеспечение плавного опускания кровли и предотвращение ее обрушения возможно за счет увеличения податливости между камерных целиков.

Эти выводы нашли свое подтверждение при исследовании деформаций междукамерных целиков в россыпных шахтах, расположенных в зоне вечной мерзлоты. При разработке вечномерзлых россыпей большую роль в снижении нагрузки на целики, кроме частичной передачи ее на породы нетронутого массива, играют силы смерзания, величина которых достигает 15-17 кг/см².

Исследованиями [10,11] установлено, что целики, расположенные в непосредственной близости от нетронутого массива (1-й, 2-й ряды), несут нагрузку, не превышающую 50% веса столба вышележащих пород. При ширине шахтного поля, в 2-3 раза превышающей глубину разработки, и времени отработки более трех месяцев давление на целики, расположенные в центре шахтного поля, достигает величины γH нетронутого массива.

Последний вывод имеет весьма важное значение при решении проблемы безопасных условий труда в очистных выработках и максимального снижения эксплуатационных потерь полезного ископаемого.

Теоретические исследования [12] и эксперименты на моделях из оптически активных материалов [13] показывают, что путем увеличения податливости целиков можно добиться заметного снижения действующих на них нагрузок. Кроме того, работами Д.И. Шермана [14,15,16] доказано, что при ограниченном числе параллельных выработок нагрузка на целики часто оказывается меньше

веса вышележащей толщи пород, который частично передается на горные породы нетронутого массива.

Ю.А.Модестов [17], исследуя работу междукамерных и между-блоковых целиков, также пришел к выводу о неравномерности деформации междукамерных целиков в блоке при постоянных мощностях пласта и его физико-механических свойствах.

В работе В.Ф.Трумбачева и Е.А.Мельникова [13] показано, что максимальные напряжения зафиксированы в целике, расположенном в середине блока.

Шахтные наблюдения за состоянием междукамерных целиков, проведенные в марте-мае 1974 г. на шх. 12, показали, что ширина ленточных (сплошных) целиков, принятая по "Инструкции" [11], как правило, завышена. Так, за время наблюдений, продолжавшихся 2-3 месяца, деформация целиков 3, 50, 51, 52 не превысила 90 мм при максимальной скорости деформации 4 мм/сут. Средняя скорость деформации целиков 50, 51, 53 составила лишь 0,3 - 0,4 мм/сут, а абсолютная деформация - 40-50 мм при допустимой 250-300 мм.

Указанные целики расположены в непосредственной близости от массива горных пород, и ширина их должна быть на 30-35% меньше ширины целиков, расположенных в центральной части шахтного поля. Кроме того следует заметить, что это положение относится к междукамерным (тумбовым) целикам площадью 15-20 м².

Анализ состояния ленточных целиков (в том числе разделенных небольшими окнами), расположенных перпендикулярно нетронутому массиву горных пород, показывает, что деформации целика возрастают с удалением от массива к центру шахтного поля (рис.8).

Так, например, деформации междукамерного целика 91 (шх.2), замеренные по шести реперам, составили на расстоянии 15 м от нетронутого массива 150 мм, на расстоянии 22 м - 185 мм, 28 м - 224 мм, 38 м - 242 мм, 44 м - 270 мм и 48 м - 300 мм. Подобным же образом изменяется и скорость деформации (рис.9).

Характерной для шахт района является деформация барьерного целика 94 (шх. 1 и 2). Средняя ширина целика 3 м, длина - 160 м. Инструментальные наблюдения, проводившиеся в течение шести месяцев, показали (рис.10), что деформация его составила 50 мм,

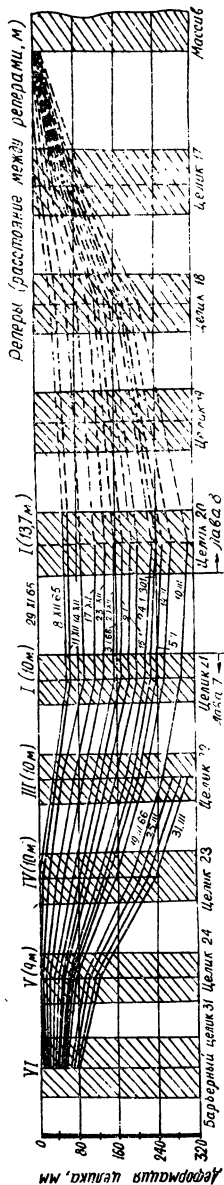


Рис. 8. Возрастающее деформации целиков при приближении их от границ к центру шахтного поля

и лишь на месте репера 4 она достигла 70 мм при средней скорости 10 мм/с.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в ряде случаев ширина междуканальных, а иногда и барьерных целиков принимается завышенной, что приводит к необоснованно большим потерям полезного ископаемого (табл.2).

Анализ графиков показывает, что деформация однородных по геологическому строению целиков зависит в равной степени от площади (тумбовые), ширины (ленточные) целиков и времени отработки камер. Существенное значение при этом имеет месторасположение целика в шахтном поле, что наглядно представлено на рис.8.

В работе [II] приведена таблица для выбора ширины междуканальных целиков ("тумбовые") в зависимости от взрывочной мощности. При этом минимальная площадь таких целиков (15 м^2) обеспечивает их достаточную податливость, минимальные потери полезного ископаемого и безопасные условия работы. Назначение целиков площадью $15-20 \text{ м}^2$ - временное поддержание кровли покрывающих пород с последующим их разрушением на безопасном расстоянии от действующей камеры. Давление, приходящееся на целики, всегда

Таблица 2
Распределение междумерных цедков по их ширине в шахтах
исследуемых месторождений

| Ширина цедка, м | М е с т о р о ж д е н и е | | | | | | | | | | | | Ширина цедка, м | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| | З. | | | К. | | | О. | | | Б. | | | Всех. Цедл.- ков | % от общего цедл.- ков | Всех. Цедл.- ков | % от общего цедл.- ков |
| | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | % от общего цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | % от общего цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | % от общего цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | % от общего цедл.- ков | | | | |
| 1,0-1,5 | 48 | 24,48 | 13 | 16,35 | 15 | 8,67 | 1 | 3,45 | 1,0-1,5 | | | | | | | |
| 1,5-2,0 | 63 | 32,14 | 39 | 48,7 | 79 | 42,7 | 7 | 24,2 | 1,5-2,0 | | | | | | | |
| 2,0-2,5 | 48 | 24,48 | 23 | 28,7 | 62 | 32,97 | 5 | 17,3 | 2,0-2,5 | | | | | | | |
| 2,5-3,0 | 15 | 7,65 | 3 | 3,75 | 18 | 9,72 | 9 | 31,0 | 2,5-3,0 | | | | | | | |
| 3,0-3,5 | 15 | 7,65 | 1 | 1,25 | 7 | 3,78 | 6 | 20,6 | 3,0-3,5 | | | | | | | |
| 3,5-4,0 | 6 | 3,06 | - | - | 3 | 1,62 | 1 | 3,45 | 3,5-4,0 | | | | | | | |
| 4,0 и более | 1 | 0,54 | 1 | 1,25 | 1 | 0,54 | - | - | 4,0 и более | | | | | | | |
| Итого... | 3,6 | 196 | 100 | 1,98 | 80 | 100 | 2,44 | 185 | 100 | 3,2 | 29 | 100 | | | | |

Продолжение табл.2

М е с т о р о ж д е н и е

| К. | О-У. | | | | | | У-Б-У. | | | | | | В-С-Г-О. | | | | | |
|--------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
| | Всех. мошн., м | | Цедл.- ков | | % от общего цедл.- ков | | Всех. мошн., м | | Цедл.- ков | | % от общего цедл.- ков | | Всех. мошн., м | | Цедл.- ков | | % от общего цедл.- ков | |
| | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков | Всех. мошн., м | Цедл.- ков |
| 10 | 10,5 | 46 | 13,5 | - | - | - | - | 2 | 1,92 | 135 | 12,03 | | | | | | | |
| 36 | 37,95 | 162 | 47,7 | 23 | 45,2 | 5 | 4,8 | 414 | 36,66 | | | | | | | | | |
| 38 | 40 | 69 | 20,3 | 24 | 47 | 21 | 20,4 | 250 | 25,52 | | | | | | | | | |
| 10 | 10,5 | 44 | 12,9 | 4 | 7,8 | 14 | 13,6 | 117 | 11,67 | | | | | | | | | |
| - | - | 11 | 3,24 | - | - | 29 | 28,1 | 69 | 7,19 | | | | | | | | | |
| - | - | 5 | 1,47 | - | - | 15 | 14,5 | 30 | 3,14 | | | | | | | | | |
| 1 | 1,5 | 3 | 0,89 | - | - | 17 | 16,66 | 24 | 2,69 | | | | | | | | | |
| Итого...2,82 | 95 | 100 | 2,88 | 340 | 100 | 3,0 | 51 | 100 | 3,12 | 1063 | 100 | 26 | 1079 | 100 | | | | |

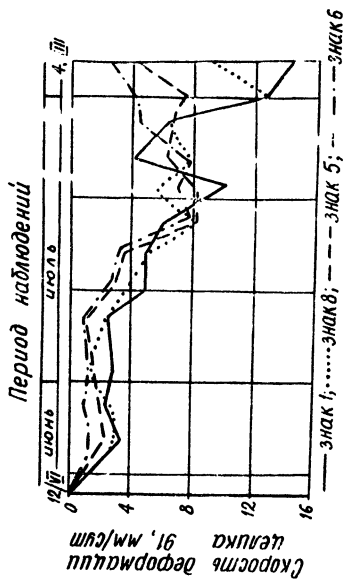
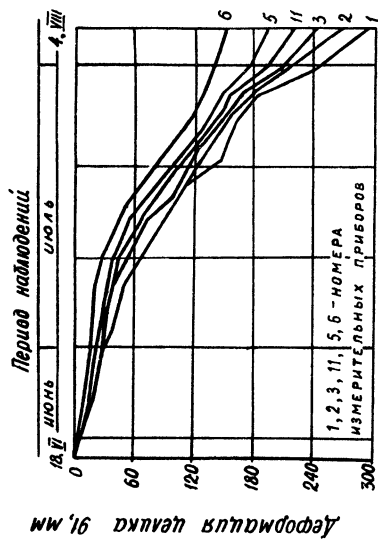


Рис. 9. Деформация целика 91 шх. 2 руч. С-У

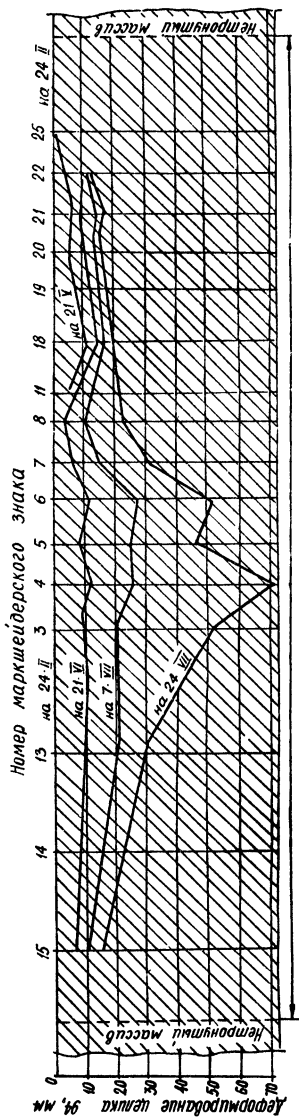


Рис. 10. Деформация барьерного целика 94 шх. I и 2 руч. С-У

меньше в этом случае веса всей вышележащей толщи пород.

Применение сплошных (ленточных) целиков рекомендовано лишь для отработки высокольдистых россыпей, когда тумбовые целики не обеспечивают устойчивости кровли.

В настоящее время на практике обычно оставляют ленточные целики независимо от степени льдистости и других горно-геологических условий, что приводит к высоким эксплуатационным потерям (до 10–15%). Кроме этого оставление ленточных целиков большой ширины (по аналогии с тумбовыми целиками), обладающих незначительной податливостью, заметно ухудшает условия труда в камере, так как в этих случаях, как правило, происходит обрушение кровли камер даже при незначительных ее смещениях.

Наблюдениями на шх. 19 (месторождение руч.У.) установлено, что в тех случаях, когда ширина междукамерного целика рассчитана с учетом его податливости и последующего разрушения (см.рис.7), кровля обычно опускается плавно, без разрыва сплошности, с некоторым опережением деформации междукамерных целиков.

Анализ зависимости деформации тумбовых целиков от их ширины (при прочих равных условиях) показывает, что в общем случае сжатие целиков существенно возрастает (рис.11) при ширине целиков менее 3 м. Для условий исследованных месторождений подтвержден ранее сделанный вывод о том, что ширина целика площадью 15–20 м² должна быть на 10% больше выемочной мощности.

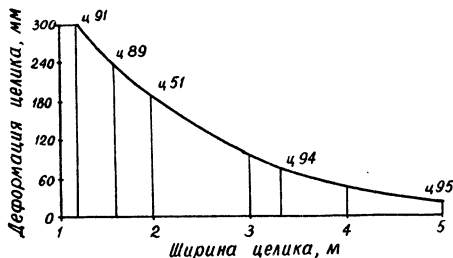


Рис. 11

Зависимость деформации
Целиков от их ширины

Этот вывод не относится к сплошным (ленточным) целикам, ширина которых может быть значительно меньше выемочной мощ-

ности, при условии отработки камеры в течение 20–25 суток – до начала резкого увеличения интенсивности деформирования целика.

Напряженное состояние целиков

Напряжения в целиках измерялись на шахте I5. Мощность пласта – 2 м, глубина разработки – 20–30 м.

Естественные условия позволили применить обычную методику установки фотоупругих датчиков, принятую для шахт с положительной температурой воздуха и пород с незначительными изменениями. Датчики устанавливались по схеме, указанной на рис. I2.

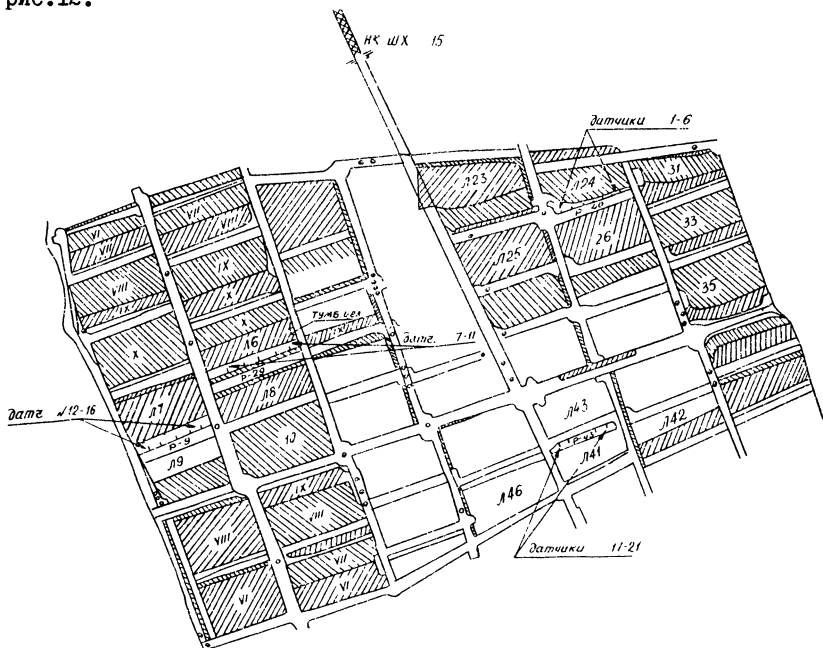


Рис. I2. Установка фотоупругих датчиков по полю шах. I5

Изменение вертикальных сжимающих напряжений в целиках за период наблюдений представлено на рис. I3.

Видно, что в ленточном целике между камерами 4I и 43 на – напряжения далеки от предельных. В дальнейшем приращения нагрузки на целик не отмечено. Появление первоначальных незначительных дополнительных напряжений в этом целике совпало по времени

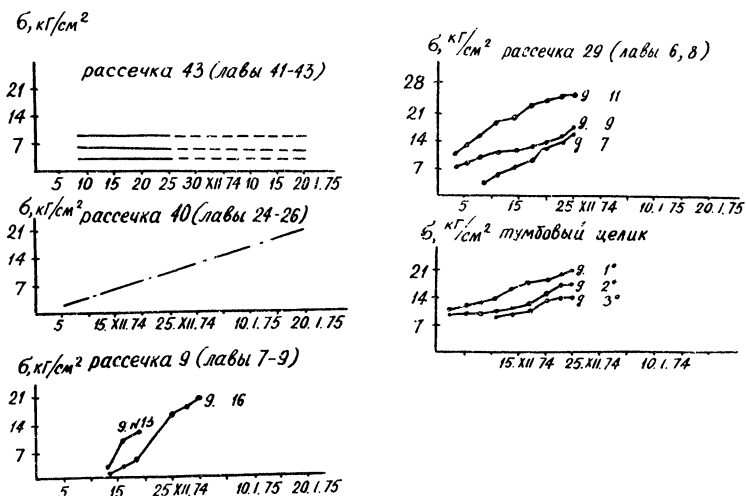


Рис. 13. Рост вертикальных сжимающих напряжений в целиках по показаниям фотоупругих датчиков.

с доработкой камеры 4I, причем в процессе доработки ширина целика была уменьшена до 2 м. За дальнейший период наблюдений ни в одной из камер вокруг целика горных работ не производилось.

Ленточный целик между камерами 24 и 26 находился также на фланге шахтного поля, т.е. в условиях, близких к условиям целика между камерами 4I и 43, однако развитие горных работ вокруг него было иным. К концу января отработка камер 25, 26, 27 закончилась, так что этот целик оказался со всех сторон окруженным отработанными камерами. Сжимающие напряжения в этом целике составляли 21 кг/см², т.е. почти в 2,5 раза больше, чем в целике между камерами 4I и 43.

Наиболее показательным был рост напряжений в ленточных целиках между камерами 6, 8 и 7, 9, расположенными почти в центре шахтного поля. Вокруг этих целиков за период наблюдений велась интенсивная очистная выемка, в результате которой к концу января весь участок шахтного поля был отработан. Состо-

яние кровли отработанных камер-лав, в том числе и отработанных еще в октябре-ноябре 1974 г. (лавы 4 и 5), было удовлетворительным. Визуальные наблюдения за состоянием этих целиков свидетельствовали о постепенном разрушении их поверхности, а одновременный плавный рост напряжений в них указывал на работу целиков в податливом режиме.

Интересно отметить неравномерную по длине целиков нагрузку на них: более нагруженными всегда оказывались края целиков, обращенные в сторону обрабатываемой площади.

К концу января, когда подработанная площадь этого участка шахтного поля составила около 1800 м², максимальные сжимающие напряжения в целике между камерами-лавами 6 и 8 достигли 27 кг/см² или около 0,65 величины $\gamma H = 43 \text{ кг/см}^2$, рассчитанной для глубины заложения россыпи, равной 25 м по полному весу пород, приходящихся на один целик.

Тумбовый целик, оставленный между камерами-лавами 6 и 5, в начале имел размеры 1,3 x 3,8 м, т.е. площадь около 6 м². К концу января в результате постепенных отслоений поверхности его толщина уменьшилась до 1,1 м, однако по данным измерений видно, что целик работал в хорошем податливом режиме. К концу наблюдений напряжения в нем достигли 20 кг/см², или 0,46 γH .

Измеренные в целиках напряжения сравнивались с предельными для мерзлых крупнообломочных пород по формуле В.Н.Тайбашева:

$$\sigma = \sqrt[4]{\frac{N}{t}} + \sigma_{ли}^{\infty},$$

- где t - время нагружения в стадии установившейся ползучести, ч;
- N - константа, определяющая характер изменения прочности во времени, (кг/см²)⁴·ч;
- $\sigma_{ли}^{\infty}$ - предельно длительное значение прочности на одноосное сжатие, кг/см²;
- σ - измеренное напряжение на момент времени от начала нагружения, кг/см².

Для исследуемых пород значение N лежит в пределах $4 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4$ (кг/см²)⁴·ч. Проверка по формуле В.Н.Тайбашева наибольших из замеренных напряжений (целик между камерами-лавами 6 и 8) показала, что напряжения в целиках шириной 2 м, расположенных почти в центре шахтного поля, на конец отработки мень-

ше предельных на 18–24%. Сравнение измеренных напряжений с рассчитанными по формуле Л.Д.Шевякова показывает кроме того, что нагрузка на эти целики меньше рассчитанной по полному весу вышележащих пород на 35–40%. Этот вывод хорошо согласуется с отмеченным ранее фактом снижения нагрузок на целики в исследованных условиях за счет сил смерзания.

Результаты измерений послужили основой дифференцированного расчета ширины ленточных целиков, расположенных в центре и на флангах шахтных полей.

Анализ практических данных

Помимо выполнения аналитических и натурных исследований были проанализированы данные геолого-маркшейдерских отчетов, относящихся к параметрам системы разработки и уровню эксплуатационных потерь, с целью определения оптимальной ширины междокамерных ленточных целиков и потерь полезного ископаемого.

Изучение маркшейдерских планов горных работ и отчетов о потерях песков в целиках различного назначения за 1969–1974 гг. позволило классифицировать 1079 междокамерных целиков по ширине и установить объем потерь в зависимости от формы и параметров целиков.

Из табл.2, в которой представлены все месторождения, находящиеся в эксплуатации, видно, что удельный вес целиков шириной до 2 м различен для шахт каждого месторождения. Так, для большинства месторождений и в среднем по прииску он достигает 50%, в то время как по шахтам месторождения руч. Б. – 27%, а руч. Б-У. – лишь 6%. Это объясняется в основном мерзлотными и геологическими особенностями рыхлых отложений месторождений, где льдистость покрывающих пород достигает 40–50%. Обследование состояния кровли и междокамерных целиков показало, что ширину ленточных целиков, ослабленных ледяными включениями (обычно жилами льда значительной мощности), следует принимать по действующей методике для тумбовых целиков.

При этом, несмотря на сравнительно большую ширину целика, обеспечивается его высокая податливость, соответствующая податливости целиков меньшей ширины при небольшой льдистости пород.

В случае же сравнительно небольшой льдистости пород (до 20%) междокамерные целики шириной 2 м являются практически жесткими опорами. Их абсолютные деформации за период отработки

камеры как правило незначительны, однако приводят к обрушению пород кровли.

Наблюдения за состоянием пород кровли на шх. I2 месторождения руч. К. и анализ данных об эксплуатационных потерях (табл.3) подтверждают вывод о нецелесообразности оставления междукамерных целиков большой ширины в шахтах с незначительной льдистостью горных пород.

В табл.3 приведены данные о добыче и потере песков, а также об удельном весе нарезных работ по шахтам за 1970-1973 гг., из которых видно, что уровень эксплуатационных потерь изменяется по шахтам даже одного месторождения в весьма широких пределах. Так, например, по шахтам месторождения руч.Б. (1970 г.) процент потерь песков в целиках колеблется от 3,3 до 13,6 при уровне потерь по месторождению 8,6 %.

Еще более высокими были потери на месторождениях ручьев Б. и О. в 1971 г. - 14%, что явилось следствием оставления целиков неоправданно большой ширины. Аналогичное положение наблюдается и на целом ряде шахт других месторождений. В конечном итоге потери песков на шахтах составили: в 1970 г. - 7,9%; в 1971 г. - 11,4; в 1972 г. - 8,1; в 1973 г. - 9,9%.

Расчеты показывают, что при сокращении ширины междукамерных целиков в среднем до 2 м, при прочих равных условиях, потери песков могут быть снижены на 25-27% против фактических в 1973 г.

Из табл.4 видно, что значительным резервом сокращения потерь является увеличение пролета камер при разработке месторождений с устойчивой кровлей и оставление прерывистых (тумбовых) целиков различной ширины в случае отработки месторождения с высоким содержанием золота.

Как отмечалось выше, единой методики определения параметров междукамерных целиков при подземной разработке многолетнемерзлых россыпей нет. На горных предприятиях обычно используют известные формулы акад. Л.Д.Шевякова и положения "Инструкции по применению камерно-лазной системы разработки на приисках Северо-Востока" [11], в которой приведена таблица для выбора ширины прерывистых междукамерных целиков столбчатой (тумбовой) формы. На практике же широко применяют ленточные (сплошные) целики, ширину которых определяют по той же методике, что нельзя признать удовлетворительным.

Т а б л и ц а 3

Данные о добыче и потерях песков в целиках
по шахтам за 1970-1973 гг.

| Год | Группа месторождений | Добыча песков, тыс. м ³ | | | % нарезных работ | % потерь к погашенным запасам |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------|---------|------------------|-------------------------------|
| | | Всего | в т.ч. | | | |
| | | | очист. | нарезн. | | |
| 1969 | Руч. Б. | 303,9 | 214,2 | 89,7 | 29,5 | 7,4 |
| 1969 | Руч. И. | 56,7 | 36,2 | 20,5 | 36,1 | 4,5 |
| Всего за 1969 г. | | 360,6 | 250,4 | 110,2 | 30,5 | 7,0 |
| 1970 | Руч. Б. | 305,1 | 225,5 | 79,6 | 26,1 | 8,6 |
| 1970 | Руч. И. | 102,6 | 77,0 | 25,6 | 24,9 | 5,8 |
| Всего за 1970 г. . . . | | 407,7 | 302,5 | 105,2 | 25,8 | 7,9 |
| 1971 | Руч. Б., О. | 315,6 | 255,6 | 60,0 | 19,0 | 14,0 |
| 1971 | Руч. И. | 161,7 | 112,6 | 49,1 | 30,3 | 9,4 |
| 1971 | Руч. И. | 3,2 | - | 3,2 | 100 | - |
| 1971 | Руч. С -У. | 231,2 | 165,6 | 65,6 | 28,3 | 10,4 |
| 1971 | Руч. К. | 49,0 | 27,8 | 21,2 | 43,2 | 5,3 |
| Всего за 1971 г. . . . | | 760,7 | 561,6 | 199,1 | 24,8 | 11,4 |
| 1972 | Руч. Б., О. | 214,6 | 155,2 | 59,4 | 27,6 | 10,4 |
| 1972 | Руч. И. | 66,8 | 44,8 | 22,0 | 34,4 | 8,5 |
| 1972 | Руч. И. | 367,6 | 258,2 | 109,4 | 29,7 | 6,9 |
| 1972 | Руч. У., Б., У. | 246,5 | 155,7 | 90,8 | 36,8 | 8,1 |
| Всего за 1972 г. . . . | | 895,5 | 613,9 | 281,6 | 31,3 | 8,1 |
| 1973 | Руч. Б. и О. | 121,2 | 104,4 | 16,8 | 13,9 | 12,5 |
| 1973 | Руч. И. | 120,8 | 95,0 | 25,8 | 21,4 | 9,2 |
| 1973 | Руч. У., Б., С -У, У -Ю. | 293,7 | 228,1 | 65,6 | 22,3 | 9,3 |
| 1973 | Руч. А. и К. | 69,2 | 50,7 | 18,5 | 26,8 | 6,9 |
| 1973 | Руч. И. | 326,1 | 263,1 | 63,0 | 19,3 | 10,9 |
| 1973 | Руч. У., Б -Ю. | 203,8 | 140,0 | 63,8 | 31,3 | 11,4 |
| Всего за 1973 г. . . . | | 1134,8 | 881,3 | 253,5 | 22,3 | 9,9 |

Как видно из анализа обширного фактического материала (см. табл.3) о параметрах целиков и эксплуатационных потерях в горных предприятиях объединений Якутзолото и Северовостокзолото ширина целиков в ряде случаев оказывается необоснованно завышенной. Целики шириной более 2,5 м в общем количестве составляют 25%.

Известно, что помимо прочностных характеристик горных пород параметры целиков зависят от глубины разработки, мощности пласта и пролета камер.

Эти факторы учитываются формулой Бёргера:

$$\beta = \frac{aL}{\left(\frac{940}{H} - 1\right)(a + L)} + 0,54h,$$

- где a - пролет (ширина камеры), м;
 β - ширина целика, м;
 L - длина камеры, м;
 H - глубина разработки, м;
 h - выемочная мощность (высота целика), м.

Т а б л и ц а 4

Потери в междукamerных целиках в зависимости от их параметров, форм и пролета камер

| Ширина целика, м | Форма целика | Потери в междукamerных целиках, % | | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------------------------|------|-------|------|------|
| | | Ширина камеры, м | | | | |
| | | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| 2,0 | Ленточные (сплошные) | 9,82 | 7,36 | 6,14 | 5,21 | 4,29 |
| 2,5 | " | 12,28 | 9,21 | 7,68 | 6,52 | 5,37 |
| 3,0 | " | 14,78 | 11,0 | 9,21 | 7,82 | 6,45 |
| 3,5 | " | 17,18 | 12,9 | 10,74 | 9,14 | 7,52 |
| 2,0-3,5 | " | 9,36 | 8,02 | 7,84 | 6,82 | 5,68 |
| 2,0-3,5 | Ленточные (прерывистые) | 7,16 | 5,76 | 4,65 | 4,12 | 3,28 |

При небольших глубинах разработки (до 100 м) расчеты по этой формуле дадут вполне удовлетворительные результаты и могут быть использованы на практике.

По приведенной формуле, имеющей более трех переменных величин, построена составная сетчатая номограмма (рис.14).

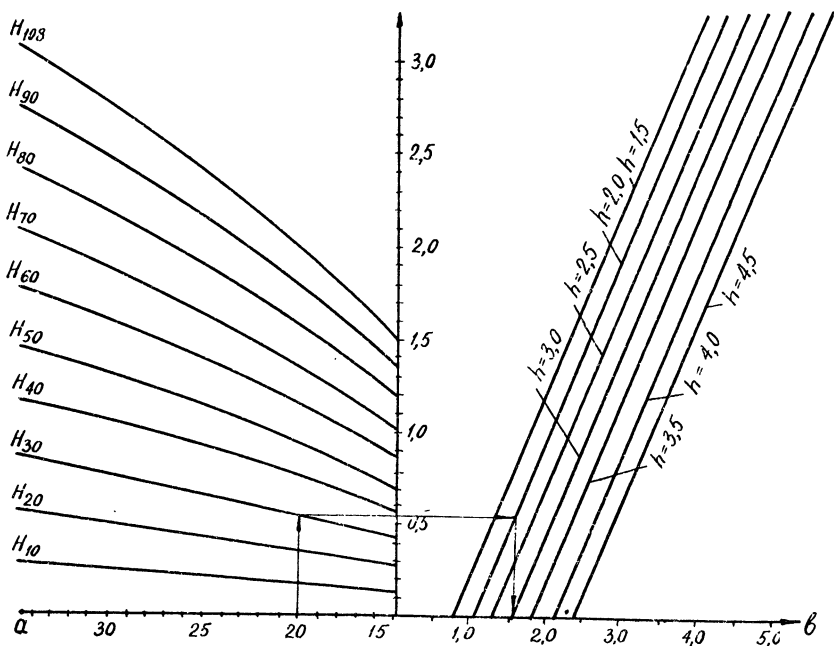


Рис. 14. Номограмма для определения ширины ленточных пеликов b в зависимости от выемочной мощности h , пролета камеры a и глубины разработки H .

Пределы изменения параметров и условий разработки при построении номограммы принимались следующие (в м):

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Ширина целика | - 1,5-5 |
| Пролет (ширина) камеры | - 15-35 |
| Длина камеры | - 100 |
| Глубина разработки | - 10-100 |
| Высота целика (выемочная мощность) | - 1,5-4,5 |

Использование номограммы при проектировании горных работ сократит время на расчет и позволит определять ширину ленточных (сплошных) целиков в зависимости от горно-геологических условий разрабатываемого месторождения.

IV. РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЛЕТОВ КАМЕР С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ ОТРАБОТКИ И СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

Закономерности изменения устойчивых обнажений пород кровли в зависимости от влияния продолжительности работы выработки, глубины залегания россыпи и особенностей поведения мерзлых дисперсных пород под нагрузкой не исследованы. На практике устойчивые обнажения кровли определяют, как правило, по аналогии с ранее отработанными месторождениями.

Выбор конструктивных параметров принимаемых систем разработки базируется на результатах промышленных испытаний, требующих больших материальных затрат и времени. При увеличении продолжительности стояния кровли уменьшается прочность мерзлых пород, одновременно уменьшается и предельная площадь обнажения кровли.

Рекомендуемые "Инструкцией" [II] предельно допустимые пролеты камер не всегда являются оптимальными, так как они определены по методу К.Ф.Войтковского и А.Ф.Зильберборда [18], отождествляющих работу кровли с работой плиты с различными опорными закреплениями. Предложенная формула дает результаты, близкие к реальным при пролете, превышающем мощность кровли в 4 и более раза, и пригодна для расчета в основном отслаивающейся непосредственной кровли.

Предлагаемый метод расчета предельного пролета кровли незакрепленных камер-лав заключается в увеличении значения длительно устойчивого пролета $L_{t=\infty}$ на некоторую величину L_1 , определяемую скоростью подвигания очистного забоя и временем сохранения устойчивости предельного пролета, которое одновременно должно быть равно времени отработки камеры от $L_{t=\infty}$ до значения предельно длительного пролета $L_{пр}$.

Разделение полного пролета L_{np} на $L_{t=\infty}$ и L_1 объясняется тем, что до превышения величины $L_{t=\infty}$ смещения кровли являются затухающими и только при пролетах, больших $L_{t=\infty}$ наблюдаются незатухающие смещения кровли.

Время, в течение которого будут продолжаться незатухающие смещения, является временем сохранения устойчивости, которое определяется величиной L_1 .

В результате изучения напряжений в кровле камер на моделях из оптически активных материалов получены для определения пролетов камер следующие формулы:

$$\text{при } L_{np} < H: L_{np} = \frac{a[\sigma^p(t) + 0,1 K_{зан} \lambda \gamma H]}{0,1 K_{зан} \gamma H(1 - \beta \lambda) - \beta \sigma^p(t)};$$

$$\text{при } L_{np} > H: L_{np} = \frac{\sigma^p(t)}{0,1 K_{зан} \gamma \left(\frac{H}{a + \beta H} - \lambda \right)},$$

где L_{np} — предельный пролет камер, м;

$\sigma^p(t)$ — длительная прочность мерзлой породы на растяжение, кг/см²;

H — глубина заложения камер, м;

γ — объемный вес, т/м³;

λ — коэффициент бокового распора;

$K_{зан} = \frac{\mu}{mK}$ — коэффициент запаса;

K, m, r — соответственно коэффициент однородности мерзлых пород, условий работы и перегрузки;

a, β — параметры.

Значения параметров приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5
Параметры моделируемых камер

| Глубина заложения камер, м | a | β |
|----------------------------|------|---------|
| 10 | 3,4 | 0,3 |
| 15 | 3,5 | 0,4 |
| 20 | 3,6 | 0,5 |
| 30 | 3,85 | 0,65 |
| 40 | 4,15 | 0,75 |

Для исследуемых условий коэффициенты K, m и μ принимаются равными 1; 0,7 и 1,1 соответственно.

Полученные формулы не позволяют сразу определить предельный пролет в новых горно-геологических условиях, поскольку значение длительной прочности определяется временем сохранения устойчивости, которое заранее неизвестно. Поэтому введено дополнительное условие, вытекающее из рассмотрения расчетной схемы (рис. 15):

$$L_{np} = L_{t=\infty} + L_1 = L_{t=\infty} + Vt ;$$

- где $L_{t=\infty}$ - пролет, сохраняющий устойчивость в течение длительного времени;
 V - скорость подвигания забоя;
 t - время отработки камеры с $L_{t=\infty}$ до L_{np} , равное времени сохранения устойчивости кровли.

Это условие совместно с формулами для L_{np} при $L_{np} < H$ и $L_{np} > H$ дает две пары зависимостей:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{np} = \frac{\alpha [\sigma^p(t) + 0,1 K_{зап} \gamma \lambda H]}{0,1 K_{зап} \gamma H (1 - \beta \lambda) - \beta \sigma^p(t)} ; \\ L_{np} = L_{t=\infty} + Vt ; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{np} = \frac{\sigma^p(t)}{0,1 K_{зап} \gamma \left(\frac{H}{\alpha + \beta H} - \lambda \right)} ; \\ L_{np} = L_{t=\infty} + Vt ; \end{array} \right.$$

Из каждой формулы можно определить время t , если кривая длительной прочности пород кровли задана в виде формулы или графика, а затем и предельный пролет L_{np} .

По этим двум парам зависимостей, представляющих две системы трансцендентных уравнений относительно L_{np} , построена номограмма (рис. 16).

Пределы изменения параметров при построении номограмм приняты следующие:

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| глубина разработки | $H = 20-40$ м, |
| скорость подвигания очистного забоя | $V = 1-2$ м/сут. |

Породы кровли – галечник с песчаным и супесчаным заполнителем, щебень с суглинистым заполнителем. Кривые длительной прочности пород (см.рис.2) построены для температур минус 7–8°С, соответствующих естественной температуре мерзлых пород рассматриваемых месторождений.

Порядок пользования номограммой следующий. Зная среднюю скорость подвигания очистного забоя V м/сут, находим время t , которое можно назвать оптимальным временем сохранения устойчивости кровли камер. Затем, зная характер пород

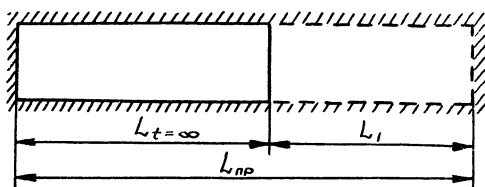


Рис. 15. Расчетная схема метода определения оптимального пролета камеры

и глубину разработки, находим пролет L , который для данных условий также будет оптимальным устойчивым пролетом на весь период отработки камеры. Таким образом, имея кривую длительной прочности пород кровли, мы можем определить предельный пролет камеры–лавы в зависимости от глубины и скорости

подвигания очистного забоя, при котором время отработки камеры с $L_{t=\infty}$ до L_{np} равно времени сохранения устойчивости кровли. Как видно на рис.16, для кровли, сложенной галечниковыми породами с песчаным заполнителем, предельный пролет камер на глубине 30 м при $V = 1$ м/сут равен 22 м.

При увеличении скорости подвигания очистного забоя до 1,5 м/сут предельный пролет камер может быть увеличен до 25 м.

Результаты исследований позволили при выборе оптимальных параметров камер и размеров целиков рекомендовать следующее:

1. При отработке месторождений со сравнительно невысокой ледистостью (до 15–20%) и устойчивой кровлей оптимальные пролеты камер целесообразно определять с учетом скорости подвигания очистного забоя, характера пород кровли и глубины разработки по предложенной номограмме (см.рис.16). Это обеспечивает снижение эксплуатационных потерь на 2,5–3% и объемов горноподготовительных работ на 7–8%.

2. Ширину ленточных (сплошных) междуканнерных целиков следует определять по приведенной номограмме (см.рис.14). Возможное снижение потерь песков при этом составит 25-30% относи - тельно существующего уровня потерь.

3. Площадь прерывистых (тумбовых) целиков следует увеличивать при отработке центральной части шахтного поля, пользуясь положениями действующей "Инструкции".

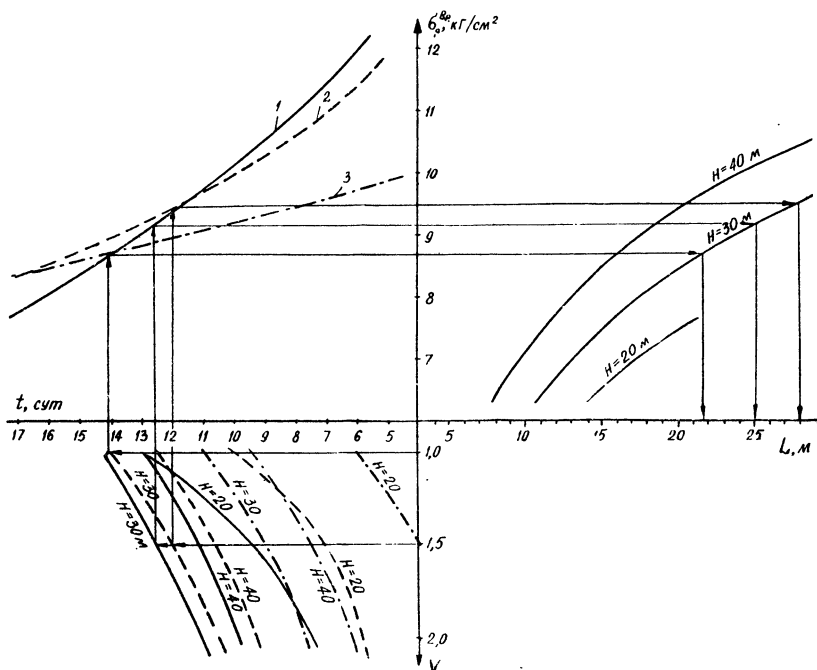


Рис. 16. Номограмма для определения предельного пролета камеры по скорости подвигания очистного забоя, глубине разработки и характеру пород, слагающих кровлю: 1 - галечник с песчаным заполнителем, $t = -7,2^{\circ}$; 2 - галечник с супесчаным заполнителем, $t = -7,2^{\circ}$; 3 - щебень с суглинистым заполнителем, $t = -7,2^{\circ}$

Внедрение рекомендаций позволит, при обеспечении безопасных условий труда, снизить эксплуатационные потери на 25-30% и получить значительный экономический эффект.

У. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ НА ШАХТАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА

В последние годы на Северо-Востоке вводятся в эксплуатацию или планируются к отработке россыпные месторождения, залегающие на глубине 100-250 м.

Условия разработки таких месторождений резко отличаются от условий разработки неглубоких шахт (глубина 10-50 м), которые широко распространены в ЯАССР и Магаданской области.

Значительное повышение температуры на больших глубинах, а следовательно, и соответствующее снижение прочностных свойств горных пород затрудняет применение известных систем разработки и технологии ведения горных работ. Кроме того применяемые системы разработки становятся неэкономичными.

В связи с этим возникла необходимость изыскания высокопроизводительных, безопасных систем разработки и прогрессивной технологии, базирующихся на использовании новой техники.

Изучение условий применения и опыта эксплуатации механизированных выемочных комплексов на угольных шахтах (в том числе и в зоне вечной мерзлоты) свидетельствует о принципиальной возможности и целесообразности проведения промышленных испытаний на одной из шахт Северо-Востока механизированной крепи в комплексе с породопогрузочной машиной.

Опыт подземной разработки россыпей Северо-Востока СССР насчитывает около сорока лет. За этот период значительно изменилась механизация производственных процессов и улучшились условия труда горняков. Производительность труда рабочих на очистной добыче за тридцать лет увеличилась в 8 раз, а в среднем за каждое десятилетие - на 20%.

С ростом механизации и совершенствованием систем разработки увеличивались размеры шахтных полей, но несмотря на это в

настоящее время ежегодно обрабатывается около 300 шахт, так как в подавляющем большинстве запас песков в шахтном поле не превышает, как правило, 30–50 тыс.м³, и лишь несколько шахт имеют объем добычи 100–150 тыс.м³. Среднесуточная производительность шахт составляет 200 м³, а на крупных шахтах – 300–500 м³.

Глубина разработки изменяется от 10 до 100 м, составляя в среднем 25–30 м. Выемочная мощность колеблется от 1,4 до 4,5 м. В большинстве случаев она не превышает 2 м.

Температура горных пород – минус 3–7°С – определяет сравнительно высокую механическую прочность рыхлых отложений, что позволяет проходить и эксплуатировать горноподготовительные и нарезные выработки без крепления, а очистные – крепить деревянными стойками. Расход крепежного леса при этом составляет 10–15 м³ на 1000 м³ добываемых песков.

Допускаемая площадь обнажения кровли выработанного пространства обычно 2000–3500 м².

Основными средствами механизации подземных горных работ являются: перфораторы, скреперные лебедки различной мощности и ленточные конвейеры. На доставке песков иногда применяют бульдозеры, а на подъеме – скиповые подъемные установки.

Несмотря на постоянное совершенствование, подземные работы остаются самыми трудоемкими и дорогостоящими. Кроме того эксплуатационные потери при подземной разработке очень велики и иногда достигают 10–12%.

Опыт последних лет показывает, что дальнейшее проведение исследовательских работ в этом направлении сколько-нибудь значительного эффекта обеспечить не сможет.

Необходимы изыскания и исследования оптимальных размеров шахтных полей, обеспечивающих максимальную концентрацию горных работ, параметров систем разработки и принципиально новых технологических схем ведения очистной выемки.

Необходимость таких исследований возрастает в связи с разведкой и вводом в эксплуатацию глубокозалегающих россыпей (100–250 м), для разработки которых существующие параметры систем, средства доставки и крепления не могут быть приняты по целому ряду соображений.

Известно, что с увеличением глубины разработки возрастает температура вечномерзлых пород и, как следствие, снижаются их

прочностные свойства и устойчивость. Снижение же устойчивости горных пород неизбежно влечет за собой изменение параметров систем разработки. Это в равной степени относится как к сплошным, так и к камерным системам. Сокращение безопасных пролетов очистных выработок приводит к увеличению эксплуатационных потерь и объема подготовительных и нарезных работ, стоимость которых в два раза выше очистных, а производительность труда — в два раза ниже.

В настоящее время на одном из приисков планируется ввод в эксплуатацию крупного россыпного месторождения с глубиной залегания до 120–130 м. Россыпь, сравнительно узкая (50–60 м), имеет протяженность 3 км. Такие параметры месторождения определяют необходимость проектировать шахтные поля значительной протяженности, учитывая большие затраты на вскрытие.

Замеры температуры горных пород на шахтах месторождения руд. Б., где глубина залегания достигает 150 м, показывают, что она колеблется от минус 1,5⁰С до минус 3⁰С; это почти в три раза выше температуры горных пород эксплуатируемых шахт исследуемого района.

Как отмечалось, на приисках Северо-Востока широко применяются камерно-лавную систему разработки, обладающую двумя существенными недостатками — большими потерями полезного ископаемого в междуканальных и барьерных целиках (7–12%) и высоким удельным весом нарезных и подготовительных работ (25–30%).

Влияние этих недостатков значительно усилится при разработке месторождений на больших глубинах, и они окажутся не только неэкономичными, но и небезопасными.

Следует заметить, что и другие системы разработки, широко применяющиеся на Северо-Востоке, при существующей технологии также не смогут обеспечить достаточной безопасности ведения горных работ, высокой производительности труда и заданной себестоимости добычи полезного ископаемого.

Изучение работы угольных шахт, в том числе в зоне вечной мерзлоты, показывает, что важнейшим направлением технического прогресса в угольной промышленности является комплексная механизация очистных работ, базирующаяся на применении выемочных комплексов. Внедрение комплексов позволило в 2–3 раза повысить производительность труда шахтеров, значительно снизить себестоимость угля и увеличить среднесуточную добычу его из одного забоя до 700–800 т.

В результате анализа эффективности применения комплексов, например в Печерском бассейне, установлено, что наряду с улучшением основных технико-экономических показателей значительно повысилась безопасность ведения очистных работ и культура производства.

Фактическая экономия от внедрения комплекса ОМКМ по пласту "Мощному" в 1969 г. только за 5 месяцев работы составила 450 тыс.руб.

В условиях вечной мерзлоты на шахтах Норильского комбината проводились длительные испытания комплексов Институт горного дела им. Скочинского и горно-металлургическим исследовательским цехом Норильского комбината [19].

На шахте "Кайеркан" вмещающие породы представлены трудно-обрушающимися аргиллитами, алевролитами, песчаниками, долеритами и диабазами. Характерным для пластов, отработывавшихся комплексами, являлась устойчивость непосредственной кровли на расстоянии 17-23 м при первом отходе забоя от монтажной камеры, а после первого обрушения - на площади 1,0-1,2 тыс.м². Последующие обрушения сопровождались образованием зависающих ступенчатых консолей длиной 11-17 м. Некоторые показатели работы лав с комплексами представлены в табл.6.

Т а б л и ц а 6
Сравнительные показатели по шахте "Октябрьской" комбината Воркутауголь при работе в лавах, оборудованных комплексом ОКП и комбайном "Донбасс-1".

| | ОКП | "Донбасс-1" |
|---------------------------------------|-------|-------------|
| Численность рабочих на выход, чел. | 44 | 46 |
| Производительность труда, т/чел.смену | 36,9 | 9,2 |
| Себестоимость 1 т. угля | 1-82 | 4-72 |
| Срок службы комплекса, лет | 5 | - |
| Стоимость комплекса, тыс.руб. | 195,0 | - |
| Транспортные расходы, тыс.руб. | 6,0 | - |

Шахтные исследования показали, что значения реакции гидростоек крепи обусловлены характером обрушения пород кровли. Так, в условиях пласта III реакция гидростоек в момент, предшествующий первому обрушению пород непосредственной кровли, составля-

ет 50–67 т, а в периоды, предшествующие обрушению консолей – 30–48 т. При сдвигении пород основной кровли, которое происходило через 35–50 м, реакции гидростоек были максимальными и достигли 65–85 т. Иногда в середине лавы происходила просадка гидростоек "нажестко".

Применение комплексов типа ОКМТМ на шахтах Норильска обеспечило механизацию основных трудоемких процессов при выемке угля, а также крепление лавы и передвижку конвейера. По итогам первого года работы комплексов получены следующие результаты: трудоемкость работ в лавах значительно сократилась, себестоимость добываемого угля снизилась на 15–20%, расход крепежного леса уменьшился в 3–8 раз, сократилась численность рабочих в лаве и резко повысилась безопасность ведения очистных работ.

Многолетние наблюдения за состоянием кровли в различных золотодобывающих районах Северо-Востока позволяют сделать следующие выводы.

Устойчивость кровли очистных выработок зависит в основном от состава пород, их температуры, площади обнажения и периода эксплуатации.

При сплошных системах разработки заметное опускание кровли происходит при площади обнажения 2000–3000 м², обычно спустя 1,5–3 месяца после начала очистных работ. При небольшой выемочной мощности (1,4–1,8 м), часто кровля без разрыва ложится на почву.

Установка органной крепи в 3–3,5 м от забоя обеспечивает безопасную работу людей, но после очередного взрывания лавы возможно образование отдельных заколов и коржей площадью до 1 м² при мощности 0,2–0,3 м.

Характер обрушения пород кровли при камерно-лавной системе разработки, которую обычно применяют в случаях большой мощности пласта (до 4,5 м), отличается тем, что в зависимости от места расположения камеры в шахтном поле кровля камеры обрушается до начала деформации междуканальных целиков, когда очистная выработка находится у массива горных пород или ограничена целиками большой ширины, значительно превышающей выемочную мощность (см. рис. 11, 12).

При расположении камер, ограниченных податливыми целиками, в средней части шахтного поля возможны два варианта поведения

кровли: кровля без нарушений опускается одновременно с деформированием целиков или обрушается по высоте до 2-3 м даже при незначительных деформациях их.

Такие схемы характерны для шахт, где глубина разработки обычно не превышает 30-40 м.

При разработке россыпей на больших глубинах (более 100 м) следует ожидать другой характер проявления горного давления.

По данным геотермических исследований на некоторых шахтах прииска Б. температура горных пород на глубине 100-130 м составляет минус 1,8-3°C. В этих условиях устойчивость пород кровли будет в 2-3 раза ниже, чем в шахтах с температурой горных пород минус 6-7°C, и обычно применяемые на Северо-Востоке способы управления горным давлением (целики и деревянная крепь) могут оказаться совершенно неприемлемыми.

Анализ эксплуатации механизированных крепей на угольных шахтах в зоне вечной мерзлоты и исследования проявления горного давления в россыпных шахтах Северо-Востока дают основание рекомендовать проведение промышленных испытаний механизированной крепи оградительно-поддерживающего типа ОМКТМ, которая выпускается Тульским (Узловским) машиностроительным заводом двух типоразмеров:

- | | | | |
|---|--------------------|---|--------------|
| I | внемочная мощность | - | 1,8-2,45 м; |
| 2 | " | " | - 2,2-3,2 м. |

При глубине залегания пласта 100-120 м оптимальные условия для проектирования экспериментальной шахты (лавы) следующие: ширина шахтного поля и длина лавы - 60-80 м, внемочная мощность - 2,2-2,8 (II типоразмер крепи), запас песков в шахтном поле - не менее 200-250 тыс.м³, породы кровли должны быть легкообрушающимися.

Последний фактор, как показал опыт эксплуатации механизированных крепей на шахтах Норильска, не является определяющим.

При разработке вечномерзлых россыпей допустимо применение крепи типа ОМКТМ, если предельный пролет кровли выработанного пространства не превышает 20-22 м.

При буровзрывной отбойке песков крепь монтируется с таким расчетом, чтобы расстояние от козырька крепи до забоя не превышало 3,0-3,5 м. Такая ширина рабочего пространства обеспечивает безопасные условия труда и вполне достаточна для нормальной работы породопогрузочной машины ШПНБ-2, ширина которой 1,8 м.

Для сокращения расстояния разброса вырываемых песков целесообразно применение электрического способа взрывания участка с возрастающим замедлением с отбоем на нишу.

После взрыва и проветривания производится уборка песков породопогрузочной машиной на скребковый конвейер, с которого пески перегружаются на ленточный конвейер окаточного штрека.

Исследованиями работы крепи установлено, что при увеличении скорости подвигания забоя от 0,6 до 3,5 м/сут. интенсивность нагрузки на перекрытие секции крепи уменьшается в 3-4 раза. Поэтому при проектировании режима работы шахты целесообразно на первом этапе принять четырехсменную организацию очистки добычи с условием выполнения двух-трех циклов в сутки.

Состав комплексной бригады, обслуживающей механизированный участок, при такой организации работы в лаве (три смены добычных, одна - ремонтная) и заданной производительности показан в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

| Профессия | Количество выходов в сутки | | |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------|-------|
| | добычные смены | ремонтные смены | Всего |
| Бурильщик | 9 | I | 10 |
| Взрывник | 6 | I | 7 |
| Машинист крепи | 3 | - | 3 |
| Машинист конвейера | 6 | - | 6 |
| Машинист погрузочной машины | 3 | I | 4 |
| Навалокрепильщик по выемке ниш | 3 | - | 3 |
| Дежурный электрослесарь | 3 | - | 3 |
| Слесарь по ремонту оборудования | - | 2 | 2 |
| И т о г о ... | 33 | 5 | 38 |

Производственная мощность механизированного участка:

| | |
|-----------------------|--------|
| Длина лавы, м | - 100 |
| Выемочная мощность, м | - 2,5 |
| Глубина шпуров, м | - 1,8 |
| К и Ш | - 0,87 |

| | |
|-------------------------------------------------|--------|
| Подвигание забоя за цикл, м | - 1,5 |
| Объем взорванных песков за цикл, м ³ | - 375 |
| Суточная добыча, м ³ /сут | - 1125 |

Внедрению механизированных крепей должен предшествовать комплекс исследований по изысканию способа предохранения оборудования крепи от действия взрыва и определению работоспособности гидросистемы в условиях отрицательных температур.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В я л о в С.С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М., Изд-во АН СССР, 1959, 190 с.
2. В я л о в С.С., Г м о ш и н с к и й В.Г., Г о р о д е ц к и й С.Э. и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений. М., Изд-во АН СССР, 1962. 253 с.
3. Г р е ч и щ е в С.Е. Механические свойства мерзлых грунтов.-В сб.: Фундаменты сооружений на мерзлых грунтах в Якутии. "Наука", 1968, с.29-50.
4. *Sezawa K. and Nishimura G. Aero. Res. Inst. Tokyo, vol. 6, 1931, 25-43.*
5. *Coutinho A., International Assos. of Bridge and Structural Engineers Congress N9 (1949) 83-103 (NCB Transact. A623 (AB)).*
6. С а в и н Г.Н., Т у л ь ч и й В.И. Пластинки, подкрепленные составными кольцами и упругими накладками. Киев, "Наукова думка", 1971. 267 с.
7. С е н у к Д.П., К у л а к о в Г.И. Влияние механического состояния фотоупругого датчика на его показания.-ФТПРПИ, 1971 №2, с.102-104.
8. С е н у к Д.П. Обобщенная плоская задача о двухслойном кольцевом включении в упругой плоскости.-В сб.: Измерение напряжений в массиве горных пород. Материалы семинара 1973 г. Новосибирск, "Наука", 1974, с.96-100.
9. С к у б а В.Н. Совершенствование разработки угольных месторождений области многолетней мерзлоты. Якутск, 1974. 318 с.

10. Л у б и й К.И. Подземная разработка вечномерзлых россыпей с применением камерных систем. "Труды ВНИИ-1, том XXIII", Магадан, 1968, с.13-24.

11. Л у б и й К.И. Инструкция по применению камерно-лавной системы разработки вечномерзлых россыпей Северо-Востока. Магадан, 1973, 24 с.

12. Р а х и м о в В. Некоторые закономерности проявления горного давления при камерной системе разработки. "Научн.сообщ. Ин-та горного дела АН СССР", 1961, т.ХП, с.17-24.

13. Т р у м б а ч е в В.Ф., М е л ь н и к о в Е.А. Распределение напряжений в целиках и потолочниках камер.-В сб.: Исследование напряжений вокруг горных выработок. Углетехиздат, 1959. 102 с.

14. Ш е р м а н Д.И. К вопросу о напряженном состоянии междукамерных целиков. "Изв. АН СССР", ОТН, 1952, № 6,7, с.840-857, с.992-1010.

15. Ш е р м а н Д.И. Смешанная задача теории потенциала и теории упругости для плоскости с конечным числом прямолинейных разрезов. "Докл. АН СССР", 1940, т.27, вып.4, с.330-334.

16. Ш е р м а н Д.И. О напряжениях в весомой полуплоскости, ослабленной двумя круговыми отверстиями.- ПММ, 1951, т.15, №3, с.297-316.

17. М о д е с т о в Ю.А. Влияние числа отработанных камер в блоке на характер деформации междукамерных целиков и кровли. "Изв.высш.учеб. заведений. Горный журнал", 1961, №9, с.38-43.

18. В о й т к о в с к и й К.Ф., З и л ь б е р б о р д А.Ф. Новый метод расчета предельной величины устойчивых обнажений кровли. "Колыма", Магадан, 1959, №11, с.7-9.

19. М о р о з о в И.Г., К а з а к о в С.С., Э л ь к и н И.Л. и др. Комплексная механизация и автоматизация на угольной шахте. М., "Недра", 1972. 206 с.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

| | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| В в е д е н и е..... | 3 |
| I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ | |
| Климат района и мерзлотно-геологическая характеристика месторождений..... | 4 |
| Физико-механические свойства вечномёрзлых горных пород..... | 7 |
| Горнотехнические условия эксплуатации месторождений и система разработки | 12 |
| II. МЕТОДИКА ШАХТНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ | |
| Общие замечания..... | 13 |
| Температура горных пород..... | 14 |
| Смещение кровли и деформация междукамерных целиков..... | 14 |
| Измерение напряжений в целиках фотоупругими датчиками..... | 15 |
| Изучение напряжений в кровле камер на моделях из оптически активных материалов..... | 18 |
| III. РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | |
| Температура и влажность горных пород..... | 20 |
| Состояние кровли камер и деформирование междукамерных целиков..... | 23 |
| Напряженное состояние целиков..... | 30 |
| Анализ практических данных..... | 33 |
| IV. РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЛЬГОВ КАМЕР С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ ОТРАБОТКИ И СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ | |
| | 38 |

| | Стр. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| V. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕМН НА ШАХТАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА | 43 |
| Л и т е р а т у р а..... | 50 |

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КАМЕРНЫХ
СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА
СССР (На примере некоторых месторождений Заполярья)

Утверждено к печати Президиумом Якутского филиала
Сибирского отделения Академии наук СССР

Подготовлено к печати редакционно-издательским
отделом ЯФ СО АН СССР

| | |
|----------------|---------------|
| Редактор | Т.П.Шкулепо |
| Техн. редактор | С.А.Толкачева |
| Корректор | Л.П.Филипова |

Подписано в печать 2/III-76 г. МЛ 00163.
Формат 60x84 1/16. Бумага типогр. № 2.
Усл.п.л. 312. Уч.-изд.л. 3,2. Тираж 500 экз.
Заказ 176 Бесплатно.

Издание Якутского филиала СО АН СССР
Фотоофсетная лаборатория Якутского филиала СО АН СССР
677891, Якутск, ул.Петровского, 36

Сканирование - Беспалов
DjVu-кодирование - Беспалов

