

УДК 622.271:622.341

## ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ И СКЛАДИРОВАНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ РУД

**В. Х. Кумыков, Т. М. Кумыкова**

*Восточно-Казахстанский государственный  
технический университет им. Д. Серикбаева,  
ул. Протожанова А. К., 69, 070004, г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Приведены результаты экспериментальных и натурных исследований факторов, влияющих на окисление и самовозгорание пожароопасных руд при их открытой разработке. Даны практические рекомендации по технологии выемки и хранению типов руд, склонных к самовозгоранию. Предложены способы предупреждения эндогенных пожаров и защиты штабеля сульфидных руд на складах.

*Открытая разработка полиметаллических руд, самовозгорание, эндогенные пожары, экскавация, продольные и поперечные экскаваторные заходки, рабочий уступ, штабель руды, инжектор, ингибитор*

Добыча смешанных свинцово-цинковых руд сопряжена с опасностью возникновения очагов эндогенных пожаров. Современное состояние изученности вопроса позволяет сделать вывод о том, что главными факторами, обуславливающими пожароопасность, являются: концентрация сульфидной серы в руде, кислотность (рН) рудничных вод, температурный режим окружающей среды и собственно рудной залежи, типы руд и их текстурно-структурные особенности, наличие тектонической нарушенности массива, гидрогеологическая обстановка участка.

При равенстве влияния факторов определяющими представляются система разработки и ее параметры. Отбойка блоков многорядными скважинами с отработкой рудной массы сплошными забоями продольными экскаваторными заходками при мощности навала 5–10 м, как показали наблюдения [1], всегда сопровождается эндогенными пожарами. При этом на основании экспериментальных исследований установлено, что для возникновения пожаров критическое содержание пиритной серы должно составить не менее 21.77 % [1]. С учетом главных классификационных факторов: локализация очагов в границах стратиграфических горизонтов с большим содержанием (более 40 %) глобулярного пирита; нахождение указанного типа руд в восстановительной подзоне коры выветривания; приуроченность к зоне тектонических нарушений и интенсивной трещиноватости; высокое содержание сульфидной серы и мощности рудных тел свыше 5 м, согласно инструкции Института “Унипромедь” [2], нами проведено геолого-технологическое районирование Дальнезападного участка Жайремской группы полиметаллических месторождений (Центральный Казахстан) по степени пожароопасности и составлена технологическая карта распределения типов и сортов руд по эксплуатационным горизонтам.

Технология выемки типов руд, склонных к самовозгоранию, требует установления основных физических и химических факторов, приводящих к загоранию массы.

Натурные наблюдения в зоне карьера № 2, спецотвала забалансовых руд № 11, рудных складов № 7 и № 8 выявили следующие особенности:

— опасность самовозгорания при равенстве прочих условий возрастает при вскрытии горизонтов по рудному телу (9 из 10 случаев);

— самовозгоранию способствует экскаваторная выемка рудной массы сплошным забоем с продольными заходками шириной 10–12 м. Время подготовки горизонтов при этом составляет 4–5 мес, что значительно превышает критическое время самовозгорания;

— запасы взорванной рудной массы значительно превышают нормативные по объему, что приводит к удлинению продолжительности их отработки одним экскаватором в среднем в 1.5–2 раза;

— рудные навалы, составленные кусками размером в поперечнике в среднем 10–15 см, менее подвержены самовозгоранию, чем навалы, составленные из кусков 1–7 см. По данным [3], площадь окисления в отбитой рудной массе, подверженной самовозгоранию, равна  $480 \text{ м}^2/\text{м}^3$  (в нарушенном массиве уступа  $320–350 \text{ м}^2/\text{м}^3$ );

— на рудных складах пожары обусловлены большим скоплением рудной массы, значительным разрывом во времени (в среднем 9–12 мес) между складированием и отгрузкой, преобладанием мелкой фракции 0.5–1.5 см в общей массе кусков (75–80 % по замерам на складе № 8), значительной высотой штабелей (12–15 м, склад № 11) и отсутствием каких-либо профилактических мер.

Руды горят, как правило, во взорванном состоянии при отработке сплошными забоями. Время подготовки горизонтов при данной системе занимает 2–3 мес. На рис. 1 показан характер горения смешанных свинцово-цинковых руд на горизонте 297 м карьера № 2 при разрушении блока по обычной технологии и выемке рудной массы продольными экскаваторными заходками.

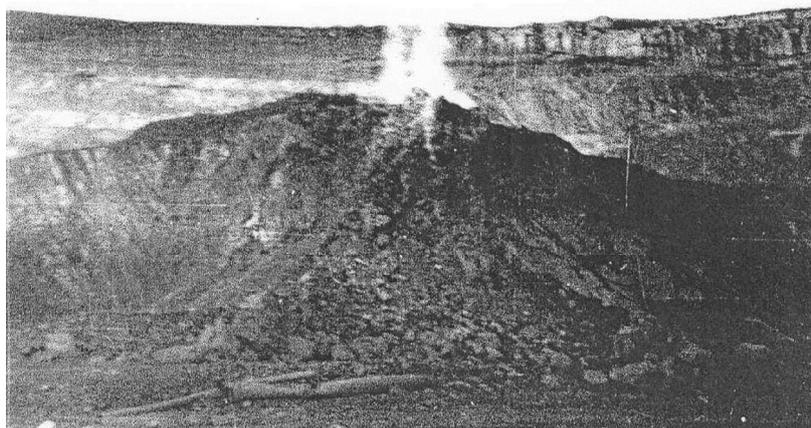


Рис. 1. Характер горения смешанных свинцово-цинковых руд в забое при разрушении уступа по традиционной технологии и выемке 12-метровыми уступами системой с продольными экскаваторными заходками. Дальнезападный Жайрем (Центральный Казахстан)

С целью определения критического времени самовозгорания проведены исследования на физической модели образцов жайремских руд. Исходя из реальной обстановки в карьере, заданы следующие условия эксперимента: диапазон начальных температур нагрева образцов 25,

35, 70, 90, 120°C; кислотность подаваемой воды  $pH = 3$  в количестве 1–4 %. Продолжительность опытов при непрерывном нагревании до 15 сут, количество воздуха на окисление одного образца 100 мл/мин, градиент температуры  $dT/dt = 0.82$  °C/мин. Анализ отходящих газов на содержание сернистого ангидрида и окиси углерода показал, что в первую очередь в руде окисляются сульфиды, а не углесодержащие вещества, как отмечено в работе [4].

Угlistые соединения начинают окисляться при более высоких температурах (около 400°C [5]), и ход реакции выделения углекислого газа характеризуется плавной кривой. Результаты исследований отображены на рис. 2 в координатах: концентрация сернистого ангидрида  $SO_2$  — время пребывания образцов в замкнутом объеме для начальных температур  $T = 25, 35, 70, 90$  и 120°C. Видно, что динамика изменения концентрации сернистого ангидрида характеризуется тремя областями:

- 1) область инкубации тепла (ниже  $AB$ , рис. 2) прослеживается для всех значений начальных температур;
- 2) зона резкого ускорения реакции (выше  $AB$ ) — область начала горения;
- 3) область активного горения (собственно зона самовозгорания).

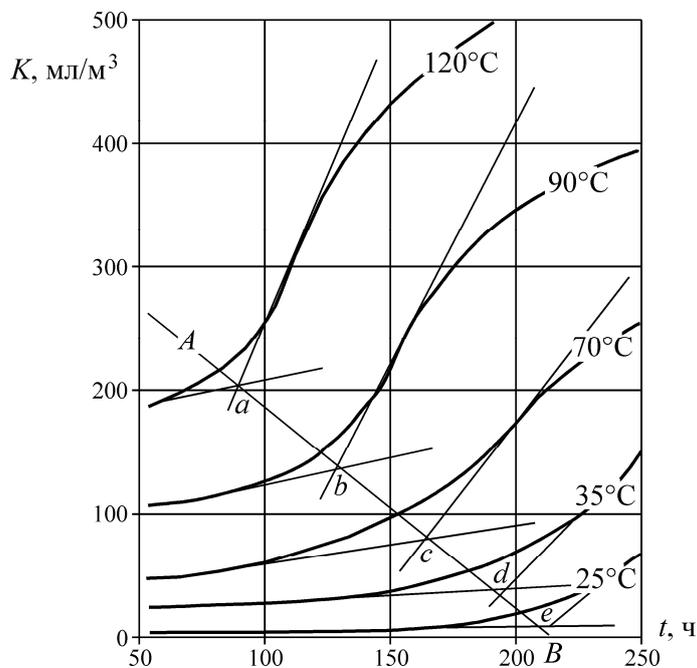


Рис. 2. Интенсивность самовозгорания смешанных свинцово-цинковых руд в зависимости от начальной температуры среды:  $K$  — концентрация сернистого ангидрида;  $t$  — продолжительность нагревания

При значениях  $T = 25, 35$  и  $70$ °C время начала самовозгорания возрастает. Точки начала самовозгорания отодвинуты вправо. Для больших значений  $T$  точки лежат в пределах графика. Полученные при пересечении касательных точки ( $a, b, c, d, e$ ) соответствуют времени от начала подготовки рудной массы буровзрывным способом для экскавации и погрузки ее в транспортные средства до момента начала самовозгорания рудных блоков. Согласно полученному графику, время до начала самовозгорания смешанных свинцово-цинковых руд, представленных пробами с гор. + 297 м с содержанием общей серы 21.77 % при температуре массива + 25°C, составляет 10–12 сут (пересечение сплошной линии  $AB$  с осью  $t$ , рис. 2). Эти данные хорошо

согласуются с данными натуральных наблюдений случаев самовозгорания руд в карьере № 2 в летний период при среднесуточной температуре воздуха 25°C. Руда горит, теряя свои технологические свойства. Как показывают результаты разработки многосортных руд Жайремского месторождения, для эффективной выемки запасов самовозгорающихся руд хорошо подходит система с поперечными экскаваторными заходками с бурением и взрыванием блоков на полную высоту уступа и подступной выемкой взорванной массы. Преимущества предлагаемой системы разработки блоков самовозгорающихся руд:

- возможность максимальной интенсификации добычных работ за счет уменьшения объемов подготовки руд к выемке;
- управление качеством на основе регулирования кусковатости рудной массы;
- повышение качества выемки за счет управления параметрами взрыва;
- возможность совмещения во времени работы нескольких добычных экскаваторов за счет исключения процесса проведения разрезной траншеи из цикла подготовки горизонтов, при этом 2–3 экскаватора могут быть задействованы на добыче в пределах блока одновременно.

Известно, что основным недостатком снижения высоты уступов в рудной зоне является некоторое удорожание добычных работ. Кроме того, в зависимости от конкретных горно-геологических условий и организации работ, переход на подступную выемку запасов может привести к увеличению значения текущего коэффициента вскрыши и снижению интенсивности углубки карьера. При этом в случае недостаточности резерва вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов снижается производительность карьера, экономические показатели комбината падают. Эти недостатки компенсируются значительным сокращением времени отработки уступа, чем предупреждаются эндогенные пожары в рабочей зоне карьера и, как следствие, сохраняются технологические свойства рудной массы при флотационном обогащении. Применение системы разработки поперечными экскаваторными заходками позволяет интенсифицировать добычные работы, обеспечивающие выемку запасов в нормативный срок за счет оптимизации параметров рудного блока по минимуму нахождения рудной массы во взорванном состоянии. Схема организации горных работ при добыче руд, склонных к самовозгоранию, показана на рис. 3.

Система разработки блоков поперечными экскаваторными заходками сокращает время нахождения взорванной массы до полной очистки блока с 1.8 до 0.5 мес. Это способствует сохранности свойств руды до полной разработки блока и размещения ее на складах по специальной технологии. Таким образом, переход на подступную выемку пожароопасных руд малыми блоками дает возможность повысить производительность добычного экскаватора и сократить время отработки уступа.

Выявленные закономерности самовозгорания рудной массы позволили разработать ряд технических рекомендаций, направленных на создание принципиально новой технологии добычи и складирования пожароопасных руд [6–8]. При их использовании достигается повышение выхода металла из труднообогатимых и склонных к самовозгоранию свинцово-цинковых руд за счет стабилизации качества в процессе добычи.

Сущность предложенного способа заключается в одновременном ведении процесса усреднения и профилактических работ по предупреждению самовозгорания путем включения в состав шихты ингибитора-известняка в сочетании с пожароопасным технологическим сортом руды. Для этого после геолого-технологического картирования рудного поля и выделения сорта, склонного к самовозгоранию, на верхнюю площадку отсыпают слой руды пожаробезопасного технологического сорта в смеси с мелкодробленным до 2 мм известняком. Расчетное количество

известняка, необходимое для нейтрализации кислотности среды, удваивают, исходя из фактической концентрации серной кислоты в карьерной воде добычного горизонта. Блок взрывают. Известняк, используемый в качестве ингибитора, распределяется в объеме взорванной рудной массы. После этого полученная шихта отгружается в автосамосвалы и подается в бункер корпуса крупнодробления.

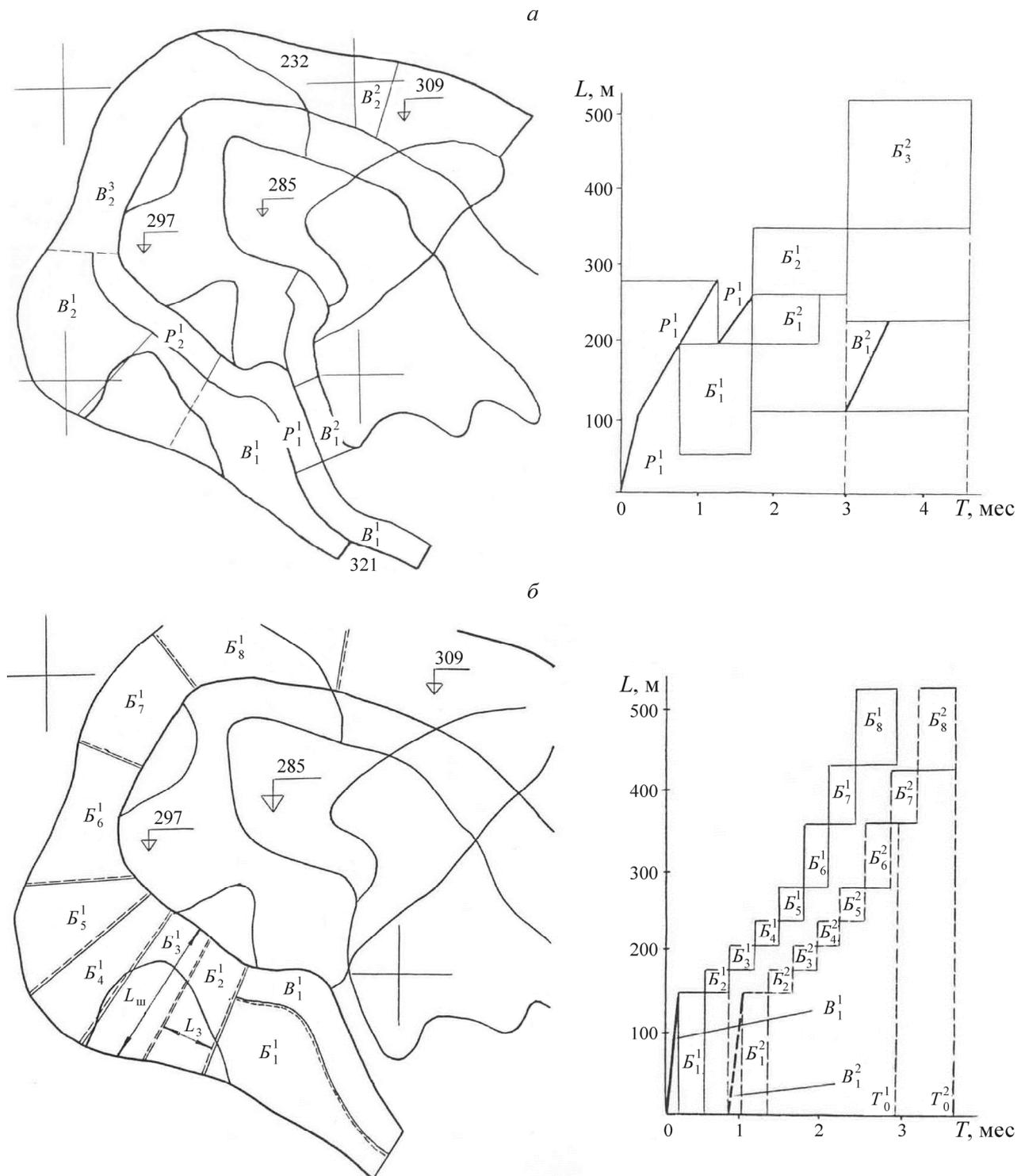


Рис. 3. Схема организации горных работ при добыче самовозгорающихся руд системой с продольными (а) и поперечными (б) экскаваторными заходками

Показатели обогащения руд повышаются на 3 % по извлечению и на 1–1.5 % по содержанию металлов в концентратах, так как переработка однородного рудопотока позволяет обогащать руды в наиболее оптимальном режиме. При этом прирост извлечения металлов в концентрат: 3.1 % — свинца, 1.3 % — цинка.

Способ защиты штабеля сульфидной руды от самовозгорания [6] (рис. 4) включает формирование отвала сульфидных руд, обработку рудной массы известьсодержащим реагентом, установку в отвале инжекторов и подачу через них в массив щелочной воды под давлением. Предварительно основание отвала покрывают слоем глины и крупнокускового известняка. Отвалообразование ведут послойно чередованием руды со слоем измельченного известняка, поверхность отвала покрывают измельченным известняком и через инжекторы в массив подают щелочную воду.

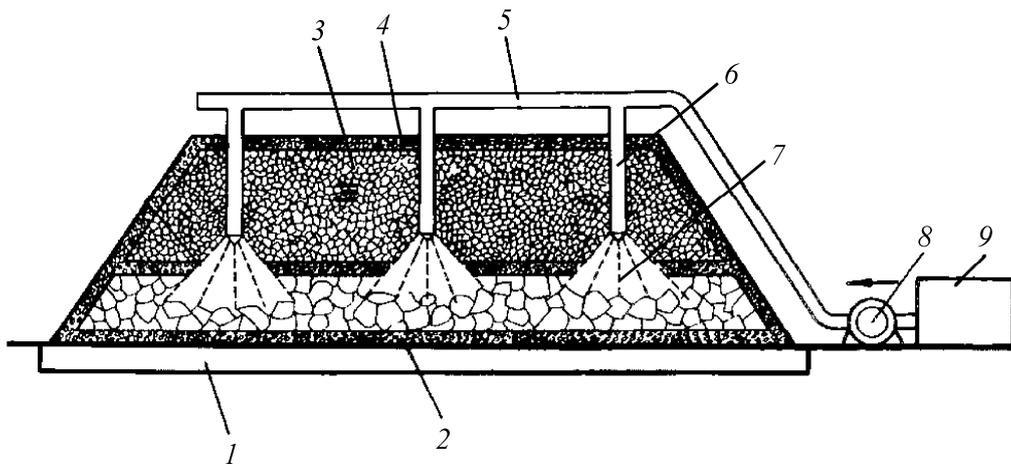


Рис. 4. Способ защиты штабеля сульфидной руды от самовозгорания: 1 — слой глины; 2 — слой крупного известняка; 3 — руда; 4 — тонкоизмельченный известняк; 5 — магистральный трубопровод; 6 — инжекторы; 7 — разбрызгиватели; 8 — центробежный насос; 9 — емкость для воды

Согласно другому способу [7] (рис. 5), за счет принудительного нагнетания в скважины огнетушащего состава достигается стабилизация физико-химических условий, приводящих к эндогенным пожарам. Это обеспечивает применение технологических схем отбойки и экскавации, используемых в карьерах при отработке обычных руд.

Технологический эффект торможения и затухания процессов, приводящих к пожарам, по способу [8] достигается за счет послойной отсыпки руд дифференцированно по кусковатости с первоочередной отсыпкой в штабель мелкокусковой фракции, наиболее подверженной окислению и самовозгоранию, до заданной высоты слоя. Торцовые части каждого слоя формируют крупнокусковой фракцией руд того же технологического сорта горизонтальной мощностью не менее величины, определяемой из соотношения  $h/\cos\alpha$ , где  $h$  — критическая толщина слоя, которая обеспечивает теплоизоляцию мелкокусковой части слоя;  $\alpha$  — угол откоса штабеля.

На основании термодинамических исследований разработан способ установления склонности к самовозгоранию сульфидных свинцово-цинковых руд [9]. Все разработанные технические решения апробированы в производственных условиях Жайрема (Центральный Казахстан). В рамках исследований доказана их высокая технологичность, экономическая эффективность и реализуемость в сложных горно-геологических условиях разработки полиметаллических месторождений. Этому способствовала комплексность изучения проблемы и многообразие методов обоснования технологических решений.

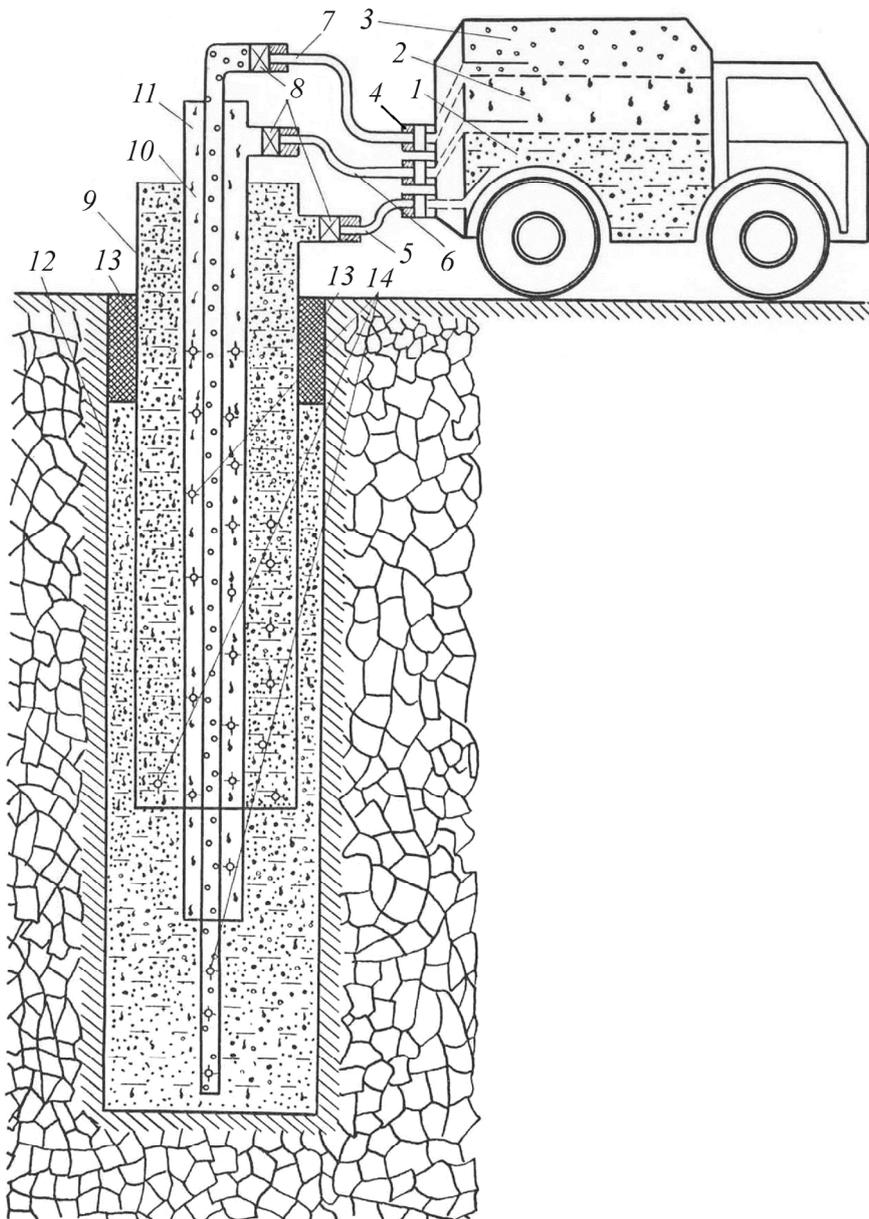


Рис. 5. Способ предупреждения и тушения эндогенных пожаров: 1 — резервуар для известковой суспензии (пульпы); 2 — резервуар для стабилизатора пены; 3 — резервуар для пенообразователя; 4 — расходомеры; 5 — шланг подачи известковой суспензии; 6 — шланг подачи стабилизатора пены; 7 — шланг подачи пенообразующего вещества; 8 — регуляторы давления; 9 — обсадная труба; 10 — трубопровод подачи стабилизатора; 11 — трубопровод подачи пенообразующего вещества; 12 — скважина; 13 — цементное кольцо; 14 — отверстия

## ВЫВОДЫ

1. Возникновению эндогенных пожаров способствует высокое (22 % и более) содержание сульфидной серы и глобулярная форма строения сульфидов.
2. Наиболее интенсивно окисляются и самовозгораются сульфиды цинка при низком содержании цинка (0.5 % и менее) при мощности рудных тел 1 м и более.
3. Самовозгорание происходит при выемке дробленой рудной массы продольными экскаваторными заходками.

4. Подступная выемка с поперечными экскаваторными заходками обеспечивает разработку рудного уступа до момента интенсивного окисления и самовозгорания руд.

5. Устройство штабеля руд на предварительно уложенный слой известняка и ввод в него через инжекторы щелочной воды предотвращают самовозгорание.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Обосновать параметры** системы разработки при селективной добыче технологических типов и склонных к самовозгоранию руд Дальнезападного рудника: информ. карта / ВНИИцветмет. Руководитель В. Х. Кумыков. — Усть-Каменогорск, 1991.
2. **Колпакова Г. П., Манаков В. Я. и др.** Влияние ряда неорганических веществ на окисление медно-никелевых руд / Тр. Ин-та Унипромедь. — Свердловск, 1976.
3. **Ахмеджанов Т. К., Жанбатыров А.А.** Изменение температурного режима в объеме окисляющейся сульфидной руды / Повышение безопасности работ и совершенствование проветривания на горнодобывающих предприятиях Казахстана. — Алма-Ата, 1982.
4. **Манаков В. Я.** Классификация колчеданных и полиметаллических руд по степени склонности к самовозгоранию / Тр. Ин-та Унипромедь. — Свердловск, 1978.
5. **Кумыков В. Х., Тогузов М. З., Кумыкова Т. М.** Экспериментальный метод определения пожаро-безопасного времени отработки блоков самовозгорающихся руд / Проблемы освоения, разработки и переработки полезных ископаемых на месторождениях Жезказганского региона: материалы Междунар. науч.-техн. конф. — Жезказган, 1997.
6. **А. с. 1432247 А1 SU кл. Е 21 F 5/00.** Способ защиты штабеля сульфидных руд от самовозгорания / В. Х. Кумыков, Л. М. Лукер и др. // Оpubл. в БИ. — 1988. — № 39.
7. **А. с. 1640445 А 1 SU кл. Е 21 F 5/00 07.04.91.** Способ предупреждения и тушения эндогенных пожаров / В. Х. Кумыков, В. А. Шестаков, Т. М. Кумыкова и др // Оpubл. в БИ. — 1991. — № 13.
8. **А. с. 1710776 А 1 SU кл. Е 21 F 5/00.** Способ защиты штабеля сульфидных руд от самовозгорания / В. Х. Кумыков, М. З. Тогузов и др. // Оpubл. в БИ. — 1992. — № 5.
9. **Предварительный патент на изобретение. KZ (B) (11) 505.** Способ установления склонности к самовозгоранию сульфидных свинцово-цинковых руд / В. Х. Кумыков, Т. М. Кумыкова, М. З. Тогузов // Бюл. № 3. — 1997.

*Поступила в редакцию 3/IV 2013*