

УДК 622.271.3:622.7.091.2

И. Х. АХМЕДЬЯНОВ, В. П. КРАСАВИН, О. Н. ДАНИЛОВ (ОАО «Учалинский ГОК»)**В. В. ГРИГОРЬЕВ** (ООО «Шахтостроительное управление»)**В. Н. КАЛМЫКОВ** (Магнитогорский государственный технический университет)

ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ УЧАЛИНСКОГО КАРЬЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЕЗВОЖЕННЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ



И. Х. АХМЕДЬЯНОВ,
технический директор,
канд. техн. наук



В. В. ГРИГОРЬЕВ,
директор,
канд. техн. наук



В. П. КРАСАВИН,
зам. технического директора
по горным работам



О. Н. ДАНИЛОВ,
начальник отдела
охраны окружающей среды
и гидротехнических
сооружений



В. Н. КАЛМЫКОВ,
проф.,
д-р техн. наук

Изложены основные проектные решения по складированию отходов (хвостов) обогащения в выработанном пространстве карьера после завершения открытых горных работ в условиях продолжающейся подземной добычи подкарьерных запасов. Для обеспечения безопасности формирования техногенного массива и сокращения водопритоков обоснована необходимость предварительного сгущения хвостовой пульпы с использованием флокулянтов. Показаны этапы производственно-технологического процесса заполнения чаши карьера, конструкции водо-пропускных, пульпо- и гидроизолирующих устройств, методики расчета параметров, а также экономическая и экологическая эффективность проекта.

Ключевые слова: хвостохранилище, карьер, выработанное пространство, подземный рудник, сгущение пульпы, формирование техногенного массива, водопроток, пульпо- и гидрозащитные конструкции, экономическая и экологическая эффективность.

В связи с исчерпанием вместимости действующего хвостохранилища ОАО «Учалинский ГОК» обострилась проблема изыскания и получения новых земельных отводов для складирования хвостов обогатительного производства, особенно на землях сельскохозяйственного фонда. В связи с этим была исследована возможность использования пространственных техногенных георесурсов — выработанных пространств карьера и шахт. С завершением в 2015 г. горных работ в карьере «Учалинский» образуется свободное выработанное пространство объемом 150 млн м³, достаточное для размещения хвостов обогатительного производства комбината в течение 40 лет. Одновременно заполнение выработанного пространства хвостами обогащения практически решает проблемы обязательной рекультивации нарушенных горными работами земель.

Конечная глубина карьера составит: на южном фланге 372 м, в центральной части 324 м, на севере 340 м. Наиболее сложной научно-технической проблемой заполнения его выработанного пространства хвостами обогащения является одновременное функционирование под карьером подземного рудника (**рис. 1**). Анализ горнотехнической ситуации показал невозможность скла-

дирования хвостов обогащения в выработанном пространстве карьера без предварительного их сгущения из-за многочисленных гидравлических связей карьера с подземным рудником и высокой проникающей способностью текущих хвостов обогащения (пульпы). Многолетние наблюдения показывают, что паводковые воды, попадающие в выработанное пространство карьера, полностью дренируют в выработки подземного рудника и затем через станции шахтного водоотлива откачиваются на поверхность.

Для определения режима формирования и параметров техногенного массива из хвостов обогащения были изучены физико-механические свойства пульпы: пористость, модуль деформации, угол внутреннего трения, вязкость, угол растекания, а также их зависимость от гранулометрического состава, давления и содержания твердого. Полученные данные позволили прогнозировать такие технологические свойства формируемого техногенного массива, как влажность, плотность, деформация, водоотдача [1]. Установлено, что сгущенная пульпа хвостов обогащения обладает высокой коагулирующей способностью; выявлена зависимость проникающей способности частиц хвостов обогащения в сыпучий скальный массив от давления; определен гранулометрический

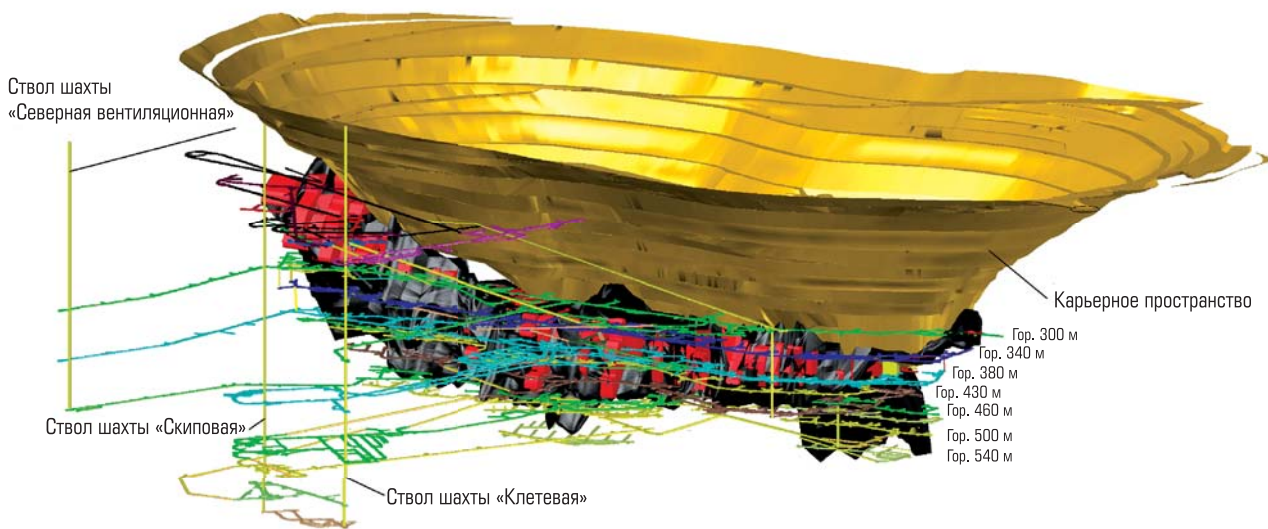


Рис. 1. Трехмерная модель карьера «Учалинский» и основных выработок подземного рудника

состав фильтрационных экранов $(-5+3 \text{ мм})$, обеспечивающий коагуляцию каналов тонкодисперсным материалом. Доказано, что эффективным способом изменения свойств пульпы является использование флокулянтов при обезвоживании отходов обогащения. Так, варьируя расходом флокулянтов, можно корректировать угол растекания пульпы от 3 до 25° , плотность формируемого массива от 2 до $2,5 \text{ т/м}^3$, предел текучести от 100 до 250 Па.

Таким образом, исследования показали, что совмещение процессов заполнения карьера отходами обогащения с подземной добычей в подкарьерной зоне и формирование техногенного массива с оптимальными технологическими параметрами (плотность, пористость, влажность, угол растекания) можно обеспечить за счет управления физико-механическими свойствами сгущенных хвостов обогащения, а также использования эффекта коагуляции сыпучих сред и нарушенного массива для изоляции карьерного пространства [2].

В связи с производством подземных работ в зоне влияния карьерной выемки проработан вариант первоначального заполнения карьера сгущенными хвостами с добавкой вяжущих компонентов, т. е. твердеющей смесью. При этом подаваемый материал должен не только заполнить все возможные зоны обрушения и перекрыть крупные гидравлические каналы, соединяющие карьер и подземный рудник, но и создать определенный защитный слой, исключающий возможность выхода зон обрушения обрабатываемых камер в дно карьера. Только после создания такого защитного «чехла» появляется возможность складирования сгущенных хвостов без добавления вяжущих материалов.

При определении мощности слоя твердеющей закладки в нижней части карьера учитывали требования Инструкции [3] в части надежного предотвращения выходов обрушений очистных камер к массиву из хвостов обогащения без добавок вяжущих компонентов. На начало заполнения карьера хвостами обогащения верхняя отметка фронта ведения подземных очистных работ бу-

дет ниже гор. -460 м . Таким образом, мощность искусственного целика между зоной ведения горных работ и дном карьера составит от 80 м на южном фланге до 160 м — на северном. Средневзвешенная прочность этого целика может быть оценена по аналогии с закладочными работами на Учалинском руднике, где нижнюю часть камер (примерно 25 %) закладывают смесями с нормативной прочностью 5 МПа, а остальную часть — с прочностью 3 МПа. Средневзвешенная прочность существующего целика составляет 3,5 МПа.

В соответствии с Правилами [4], безопасную мощность карьерного целика для крутопадающих рудных тел определяют по формуле

$$H_6 \geq k \sqrt{l_2 \frac{L \cdot l}{l^2 + l^2}},$$

где H_6 — безопасная глубина расположения верхней кромки очистной камеры; L — размер выработанного пространства по простиранию; l — размер горизонтальной проекции выработанного пространства в крест простирания; l_2 — высота выработанного пространства, k — коэффициенты, зависящие от крепости пород ($k = 6$).

Предельные высота и длина камер на Учалинском руднике составляют, соответственно, 20 и 40 м, пролет камеры — 15 м, средний угол падения рудного тела 80° , камеры длинной стороной могут быть ориентированы как по простиранию рудного тела, так и вкрест. Тогда, согласно формуле, при ориентировке камер в крест простирания рудного тела $L = 43 \text{ м}$, $l = 15 \text{ м}$, $l_2 = 20 \text{ м}$ безопасная глубина $H_6 = 102 \text{ м}$; при ориентировке камер по простиранию рудного тела $L = 40 \text{ м}$, $l = 18,4 \text{ м}$, $l_2 = 20 \text{ м}$ безопасная глубина $H_6 = 109 \text{ м}$. Исключая из безопасной глубины ведения горных работ ($H_6 = 109 \text{ м}$) толщину существующего искусственного целика (80 м), получаем значение необходимой

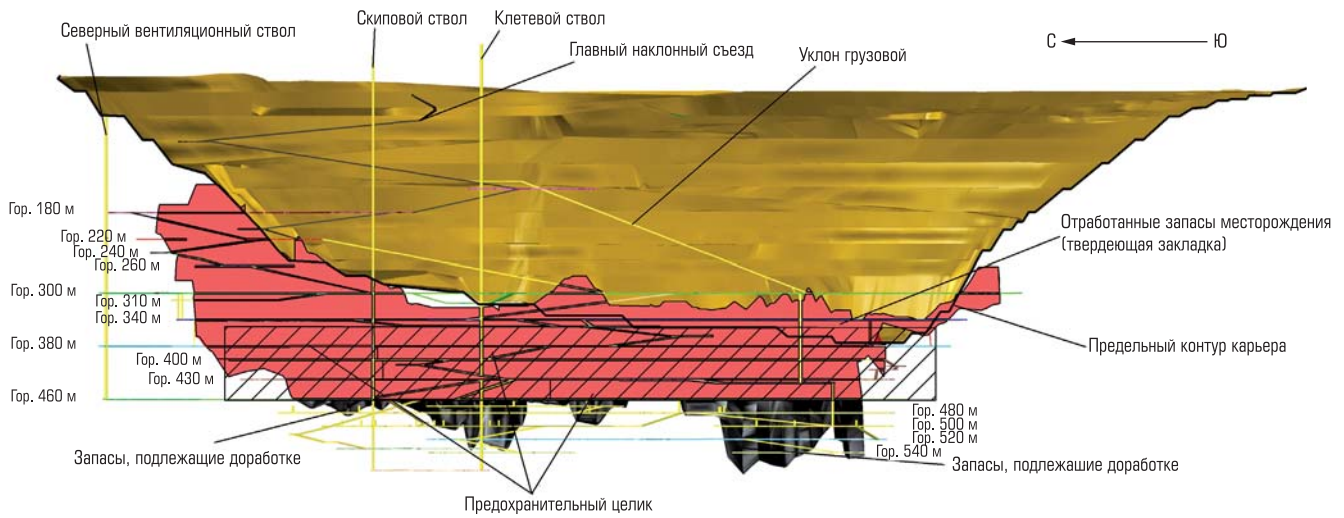


Рис. 2. Контурь предохранительного целика на продольном разрезе проекта доработки Учалинского месторождения

толщины «чехла» из пульпы с добавкой вяжущих материалов на южном фланге месторождения — 29 м (рис. 2).

Расчет критических деформаций $E_{кр}$ поверхности искусственного целика выполнен по методикам, изложенным в работах [5, 6], который показал, что они составят $5,6 \cdot 10^{-3}$ и находятся в интервале допустимых значений при подработке водных объектов $5 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-3}$.

В процессе формирования техногенного массива в карьере регулируемый перепуск в подземные выработки избыточной воды, поступающей в чашу карьера (сгущенные хвосты обогащения и атмосферные осадки), может быть обеспечен созданием дренажной системы, включающей отвал фракционных пород и сеть дренажных скважин. Поступающая вода по выработкам существующей системы водоотлива направляется на главную водоот-

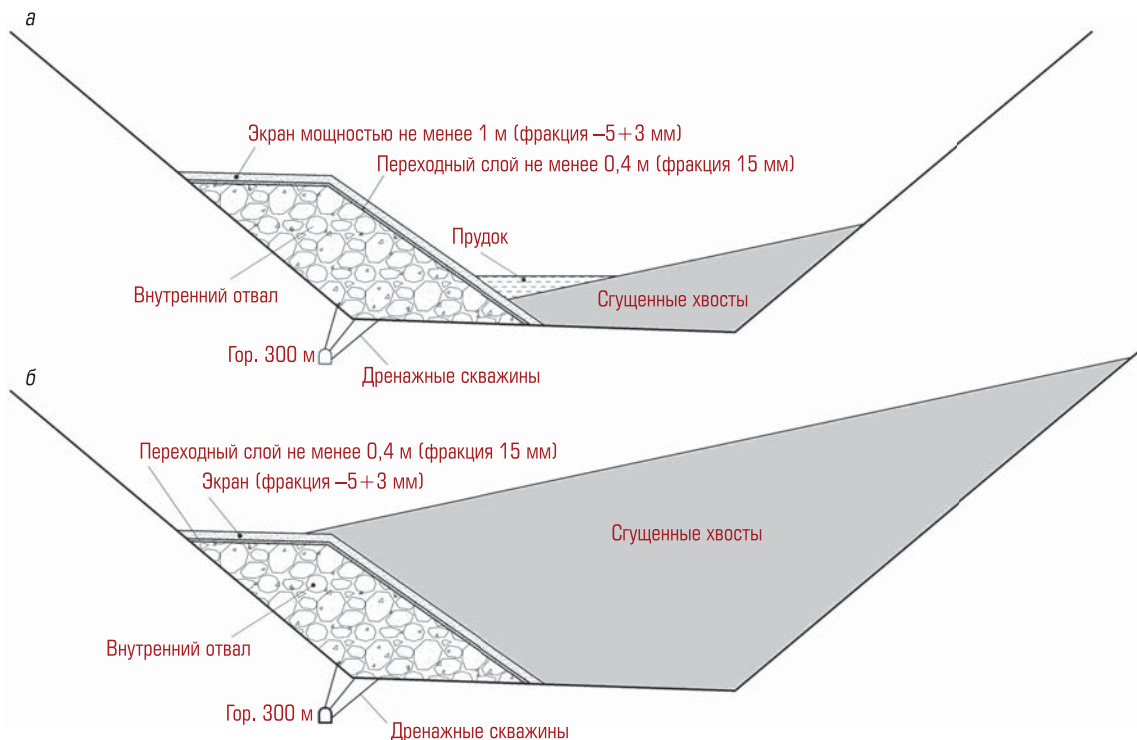


Рис. 3. Устройство дренажной системы с защитным экраном на начало заполнения карьера отходами обогащения (а) и к завершению подземных работ (б)

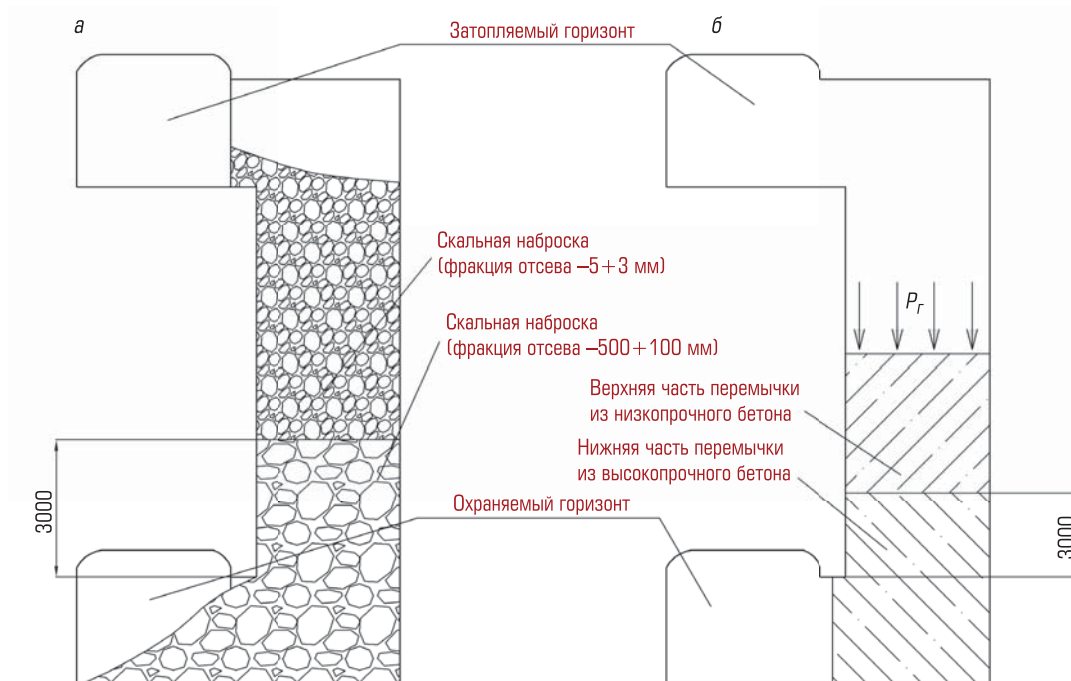


Рис. 4. Устройство пульпоизолирующих перемычек в вертикальных выработках из скальных пород (а) и бетонных (б)

ливную установку, расположенную на гор. 460 м, откуда выдается на поверхность. Для предотвращения проникновения пульпы в тело отвала на его поверхности сооружается экран из мелкого материала (-5+3 мм), пропускающий воду, но удерживающий твердую фазу пульпы (рис. 3). Лабораторные опыты показали, что этот фракционированный материал обладает высокими фильтрационными свойствами, но надежно колыматируется при контакте с пульпой. Кроме того, для проникновения отсевов в тело отвала рекомендована отсыпка защитного слоя из более крупной фракции.

Картирование рабочих горизонтов Учалинского карьера показало, что в борта карьера выходят 52 подземные горные выработки различного сечения, заложенные камеры, разведочные и закладочные скважины, имеющие связь с выработками подземного рудника. Предотвратить проникновение сгущенных хвостов обогащения в горные выработки возможно посредством возведения фильтрующих изолирующих перемычек и погашения части выработок, не используемых на руднике [7].

Для изоляции горизонтальных и наклонных выработок рассмотрены различные конструкции бетонных водонепроницаемых перемычек (ВНП). Промышленный опыт и экономические расчеты показали, что применение бетонных одноступенчатых клинчатых ВНП более рационально, чем безврубовых прямоугольных перемычек. В вертикальных выработках целесообразно возведение перемычек из скальной породы или, если доступ на вышележащий горизонт отсутствует, — бетонных (рис. 4).

Для формирования перемычек из скальных пород рекомендуется размещение крупнооблочного материала в основании восстающего и класса -5+3 мм — в верхней части как защитного слоя, предупреждающего проникновение пульпы на

охраняемый горизонт. Согласно расчету, толщина защитного противодиффузионного слоя при давлении столба пульпы высотой 430 м составит 1,5 м. Для исключения проникновения мелкой фракции защитного слоя в тело перемычки из скальных пород рекомендована толщина слоя 2 м. Для определения толщины (высоты) перемычек из сыпучих скальных пород в вертикальных выработках предложена специальная зависимость.

Глухие бетонные перемычки возводят для охраны основных вскрывающих и воздухоподающих выработок (стволы, главный спиральный съезд, разведочная выработка к Ново-Учалинскому месторождению, заложенная в борту карьера, вентиляционный восстающий, соединяющий гор. 120 и 460 м) от проникновения подаваемой в выработанное пространство карьера пульпы.

Производственно-технологический процесс заполнения Учалинского карьера хвостами обогащения условно разделяется на три этапа (рис. 5).

1. Заполнение выработанного пространства карьера сгущенными хвостами с юго-восточного, а затем южного и юго-западного бортов карьера, с обеспечением планового перепуска вод через дно карьера и внутренний отвал в выработки подземного рудника. Продолжительность первого этапа определена сроком завершения подземных горных работ с учетом 20%-ного запаса по времени. Расчетная продолжительность первого этапа с учетом пространственной конфигурации чаши карьера, расположения точек сброса, параметров внутреннего отвала, а также выходов горных выработок в карьер составит 15–15,5 лет (см. рис. 5, а).

2. Заполнение выработанного пространства карьера сгущенными хвостами с западного и северо-западного бортов карьера без перепуска воды в подземные выработки. С целью макси-

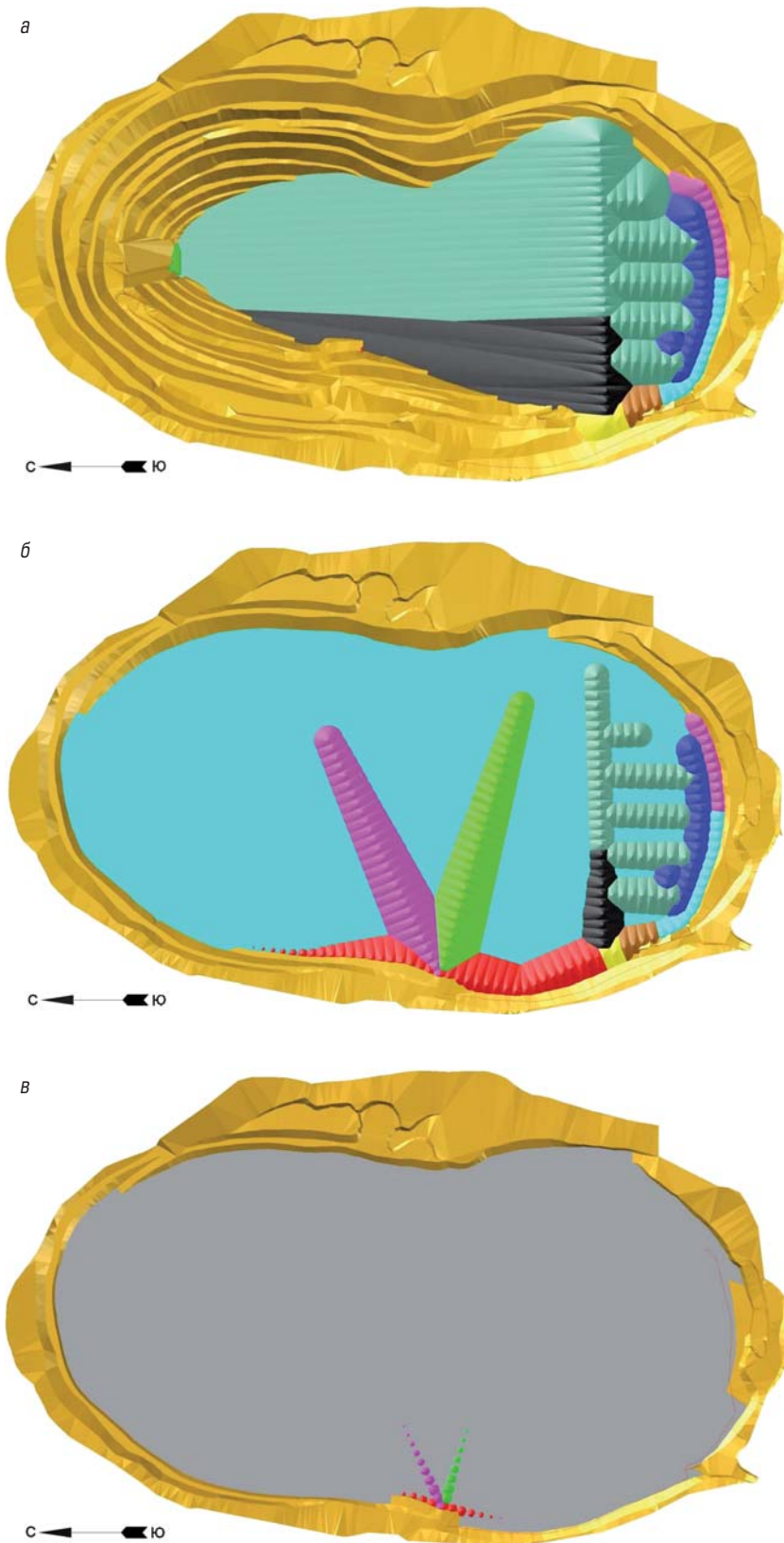


Рис. 5. Первый (а), второй (б) и третий (в) этапы заполнения-рекультивации выработанного пространства карьера «Учалинский»

мального использования выработанного пространства карьера проектом предусматривается сброс сгущенных хвостов как непосредственно с западного борта карьера, так и с намывого на первом этапе массива. Организация точек сброса по ранее уложенным хвостам обеспечит формирование осветлительного прудка в северо-восточной части карьера, где будет установлена плавучая насосная станция. Расчетная продолжительность второго этапа с учетом интенсивности размещения сгущенных хвостов, их водоотдачи, а также карьерного водопритока составит 13,5 лет (см. рис. 5, б).

3. Заполнение выработанного пространства карьера хвостами (сгущенными или обычной пульпой) с западного борта карьера при действующей плавучей насосной станции до полного исчерпания вместимости карьера. Продолжительность этапа: до абс. отм. 506 м — около 2,2 года, до отметки 520 м — около 4,5 лет (см. рис. 5, в).

Технико-экономическое сопоставление предложенного проекта использования выработанного пространства Учалинского карьера для складирования сгущенных хвостов обогащения с традиционным строительством нового хвостохранилища для размещения отходов переработки руд показало, что, несмотря на значительные капитальные вложения на сооружение узла сгущения пульпы и строительство закладочного комплекса, в целом разработанный технико-экономический комплекс складирования отходов обогащения в карьере является экономически выгодным и весьма привлекательным природоохранным проектом. Срок окупаемости инвестиций составит 10 лет при норме дисконта 8 %, экономия на платежах за размещение отходов — 272 млн руб/год.

Библиографический список

1. Калмыков В. Н., Зотеев О. В., Зубков Ан. А., Гоготин А. А., Зубков А. А. Исследование физико-механических свойств отходов обогащения для разработки технологии формирования закладочного массива в выработанном пространстве карьера «Учалинский» // Вестник МагГТУ, 2013. № 1. С. 11–19.
2. Григорьев В. В. Обоснование систем разработки прибортовых запасов медноколчеданных месторождений при проектировании комбинированного использования выработанного пространства карьера // Вестник МагГТУ, 2013. № 1. С. 11–19.

- рованной геотехнологии : дис. ... канд. техн. наук. — Магнитогорск : МагГТУ. 2010. — 164 с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ вблизи затопленных выработок. Утв. протоколом Госгортехнадзора России 30.05.95 г. № 10.
 4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ при разработке меднорудных месторождений Урала. — М. : МЦМ СССР, 1978.
 5. Шадрин А. Г. Теория и расчет сдвижений горных пород и земной поверхности. — Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 1990. — 200 с.
 6. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на месторождениях руд черных металлов Урала и Казахстана. — Свердловск : ИГД МЧМ СССР, 1990.
 7. Калмыков Е. П. Борьба с внезапными прорывами воды в горные выработки. — М. : Недра, 1973. — 240 с. **ГЖ**

Ахмедьянов Ильяс Харисович,
e-mail: upr_akhmedijanov_ih@ugok.ru
Григорьев Владимир Вениаминович,
e-mail: gregorvv@ugok.ru
Красавин Виктор Павлович,
e-mail: gr_krasavin_vp@ugok.ru
Данилов Олег Николаевич,
e-mail: tgs_danilov_on@ugok.ru
Калмыков Вячеслав Николаевич,
e-mail: grmpi@magtu.ru

MINING-TECHNICAL RECLUTIVATION OF UCHALY OPEN PIT, USING DEHYDRATED CONCENTRATION TAILINGS

Akhmedijanov I. Kh.¹, Technical Director, Candidate of Engineering Sciences, e-mail: upr_akhmedijanov_ih@ugok.ru

Grigorev V. V.², Executive Officer, Candidate of Engineering Sciences

Krasavin V. P.¹, Deputy Technical Director for Mining

Danilov O. N.¹, Head of Department for Environmental Protection and Waterworks

Kalmykov V. N.³, Professor, Doctor of Engineering Sciences

¹ Uchalinsky Mining and Processing Integrated Works JSC (Uchaly, Russia)

² LLC «Shakhtostroitelnoe upravlenie» (Mezhozerniy, Russia)

³ Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russia)

Since the capacity of the existing tailing pond of the Uchalinsky Mining and Processing Integrated Works has been depleted, the problem of finding new sites for tailings storage in the industrially developed region is solved by way of using the stripped area of the Uchalinsky open-pit mine scheduled for completion in 2015. The huge stripped area (150 million m³) offers a room for tailings storage for a long term (40 years) and simultaneously allows addressing issues of land reclamation.

Analysis of the prevailing mine-technical situation and the lack of experience gained in tailings stockpiling in combination with underground mining operations showed impossibility of tailings storage in the stripped area of the open-pit mine without pre-thickening in view of the numerous hydraulic connections between the open-pit and underground mines and due to high permeability of the tailings.

Aimed at finding optimum parameters of the artificial mass made of tailings placed in the bowl of the open-pit, physico-mechanical properties of slurry were studied, namely, porosity modulus of deformation, internal friction angle, viscosity, spreading and their relationship with the basic influencing factors that allow estimation of such properties of the tailings mass as its moisture content, density, deformation and water loss. On this basis, the following design solutions have been developed:

- construction of a protective pillar 109 m thick to prevent the thickened product from entering underground roadways;
- generation of a drainage system including underground water drainage, water discharge holes and filtering screen;
- construction of watertight partitions to seal off underground roadways.

The use of the stripped area of the open-pit mine allows pruning payment for waste emplacement by 44 RUB/t and saves 274 MRUB/yr.

Key words: tailings, tailings storage, open-pit mine, stripped area, underground mining, slurry thickening, artificial mass formation, water drainage, slurry- and hydro-protection structures, economical and ecological efficiency.

REFERENCES

1. Kalmykov V. N., Zoteev O. V., Zubkov An. A., Gogotin A. A., Zubkov A. A. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova* — *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov*, 2013, No. 1, pp. 11–19.
2. Grigorev V. V. *Obosnovanie sistem razrabotki pribortovykh zasov mednokolchedannykh mestorozhdeniy pri proektirovanii kombinirovannoy geotekhnologii : dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk* (Substantiation of systems of development of near-edge reserves of copper-sulphide deposits in the time of designing of combined geotechnology : dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences). Magnitogorsk : Magnitogorsk State Technical University, 2010, 164 p
2. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=398923>
3. *Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh obektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh rabot pri razrabotke mednorudnykh mestorozhdeniy Urala* (Regulations of protection of buildings and natural objects from harmful influence of underground mining in the time of development of Ural underground deposits). Moscow : Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of USSR, 1978.
4. Shadrin A. G. *Teoriya i raschet svdizheniy gornykh porod i zemnoy poverkhnosti* (Theory and calculation of movements of rocks and Earth surface). Krasnoyarsk : Publishing House of Krasnoyarsk University, 1990, 200 p.
5. *Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh obektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh razrabotok na mestorozhdeniyakh rud chernykh metallov Urala i Kazakhstana* (Regulations of protection of buildings and natural objects from harmful influence of underground mining on Ural and Kazakhstan ferrous metal ore deposits). Sverdlovsk : Institute of Mining of Ministry of Ferrous Metallurgy of USSR, 1990.
6. Kalmykov E. P. *Borba s vnezapnymi proryvami vody v gornyye vyrabotki* (Struggle with sudden water breakthroughs into excavations). Moscow : Nedra, 1973, 240 p.