

Исследование напряженно-деформированного состояния пород вокруг камер больших размеров численными методами теории упругости

В.И. Бузило, Т.С. Савельева, В.А. Савельев, Т.И. Морозова
Национальный горный университет, Украина

Аннотация: Приведены результаты расчетов по обоснованию размеров камер большого размера для возможного размещения в них горного оборудования. Исследования напряженного состояния пород произведены методами конечных элементов и потенциала.

Ключевые слова: Камеры специального назначения, обогатительные фабрики, напряженно-деформированное состояние пород, метод конечных элементов, метод потенциала.

Население планеты в настоящее время составляет около 7 млрд. человек. При современной технологии производства такое количество людей вызывает в окружающей природе изменения необратимого характера и таких масштабов, которые могут вызвать в ближайшем столетии обратное действие на благосостояние человека, и будет вредно влиять на рост цивилизации. Возникающие экологические, энергетические, сырьевые, демографические и продовольственные проблемы тесно связаны с наличием и эффективным использованием земельных ресурсов. Земля это и производительная сила в сельском хозяйстве, и основа для строительства и всей жизнедеятельности человека.

В тоже время, развитие промышленности основано на использовании минерального сырья, что ведет к увеличению добычи полезных ископаемых, а, значит, росту числа полостей в земной коре. Использование этих полостей позволит решить некоторые экологические проблемы и эффективно использовать земельные ресурсы. Подземное пространство может быть использовано для расположения многих сооружений горного производства, например, обогатительных фабрик, а также сооружений, которые обязательно существуют в больших городах: гаражей, фабрик, заводов, коммунальных предприятий, складов, холодильников, хранилищ и т.д.

Сведения о размерах очистных камер дают определенное представление о том, какого размера могут быть камеры для их вторичного использования при размещении различного оборудования, в том числе и оборудования подземных фабрик.

На Запорожском железорудном комбинате (Украина) высота камер достигает 140 м, ширина (пролет) 15 м и длина 50 м. Коэффициент крепости руды составляет 6-8. Работы ведут на глубине 800 -900 м от поверхности.

Такого же размера создают камеры и при разработке железных руд в Кривбассе (Украина). Но, обычно, высота камер ограничивается высотой этажа, которую принимают равной 60-80 м.

Интересно, что при разработке соляных месторождений образуют очистные камеры значительных размеров, хотя коэффициент крепости соли всего 2 - 2,5. Так на Артемовских соляных рудниках (Украина) принят пролет камер 17 м, высота 20 - 40 м, а длина измеряется километрами.

Разработку Стебниковского месторождения калийных солей (Украина) в начале прошлого века вели выщелачиванием. Образовались камеры в плане круглой формы диаметром 80 - 100 м. Эти камеры находятся в устойчивом состоянии и в настоящее время.

Можно констатировать, что при разработке рудных месторождений камерными системами создаются камеры, размеры которых вполне достаточны для размещения под землей различных производственных объектов и крупного оборудования. Конечно, в этом случае камеры потребуются крепить хотя бы простейшими видами крепи в виде набрызгбетона и штанг.

Примерами использования камер специального назначения являются подземные холодильники в Среднем Поволжье (Россия), санатории в Закарпатье (Украина) и аллергологическая больница в Ереване (Армения), винные заводы в Криково (Молдова) и в Артемовске (Украина), теплицы в гипсовых выработках в Арзамасе Горьковской области (Россия). В подземных камерах размещаются обогатительные фабрики в Перу, Колумбии, Чили, где объем выработок составляет 300

тыс.м³. В Норвегии, Швеции, Финляндии все современные нефтехранилища размещены в горных выработках при объеме 15 тыс.м³. В Норвегии 120 электростанций под землей.

Много примеров вторичного использования подземных камер также в США. Наибольшее количество камер специального назначения на месторождениях, расположенных в центральных районах страны, где густая сеть автомобильных дорог обеспечивает удобную связь подземных объектов практически со всеми районами страны. Так в штате Канзас помимо многочисленных складов, холодильников, различных хранилищ, торгового центра в горных выработках размещен также завод точного приборостроения.

Но решение вопросов по созданию камер специального назначения необходимо осуществлять исходя из конкретных условий, основываясь на выборе оптимальных вариантов природопользования. Одним из решений, которое позволит сохранить природную среду, является комплексное, заранее планируемое использование подземного пространства. И при этом, прежде всего, необходимо частично или полностью переходить на подземную разработку полезных ископаемых, а также использовать отработанные объемы. Примером перехода на подземную разработку с последующей переработкой полезных ископаемых в подземных камерах, является создание подземных обогатительных фабрик.

В данной работе приведены результаты исследования напряженного состояния пород вокруг камер больших размеров, для того чтобы использовать их как камеры специального назначения. Рассмотрены варианты использования таких камер для размещения в них подземных обогатительных фабрик на руднике им. Дзержинского (Кривбасс, Украина) и для условий Кременчугского железорудного месторождения.

На рис. 1 и 2 показаны два варианта расположения камер подземной фабрики в условиях Кременчугского месторождения.

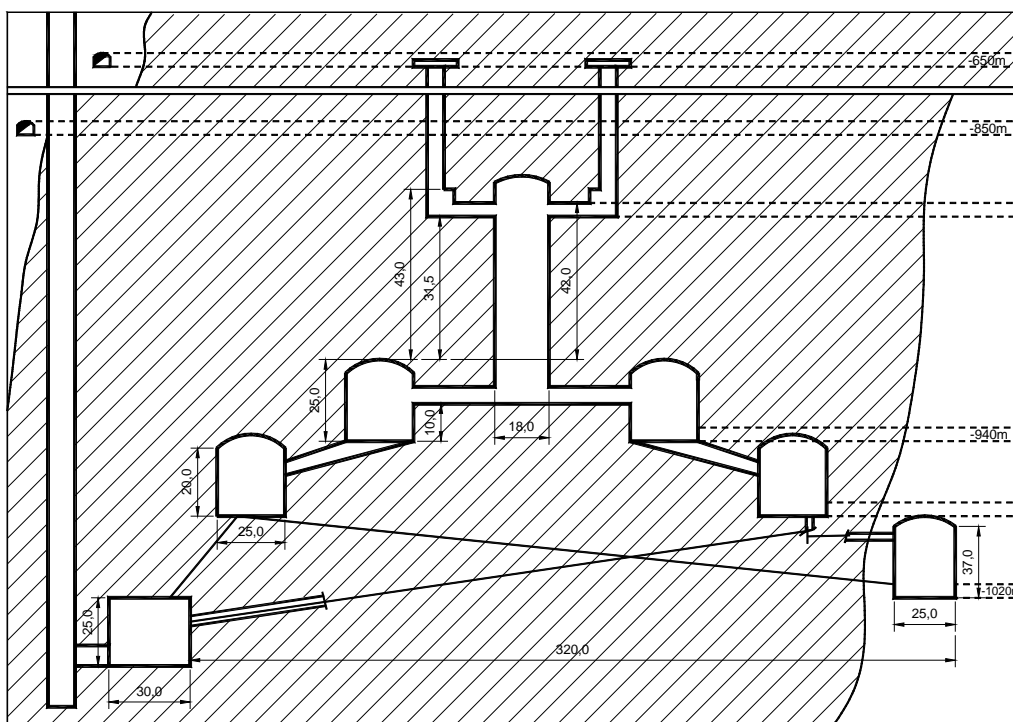


Рис. 1. Подземная обогатительная фабрика в условиях Кременчугского месторождения магнетитовых кварцитов. Вариант 1

Кременчугское железорудное месторождение особенно благоприятно для создания крупного горно-обогатительного предприятия. Месторождение расположено между Кременчугом и Полтавой и имеет длину по простиранию около 50 км. Мощность залежи 300-600 м. Падение почти вертикальное. Геологические запасы руды 48 млрд.т. Месторождение покрыто толщей обводненных наносов мощностью 300-400 м. Коэффициент крепости руды и пород 10-15.

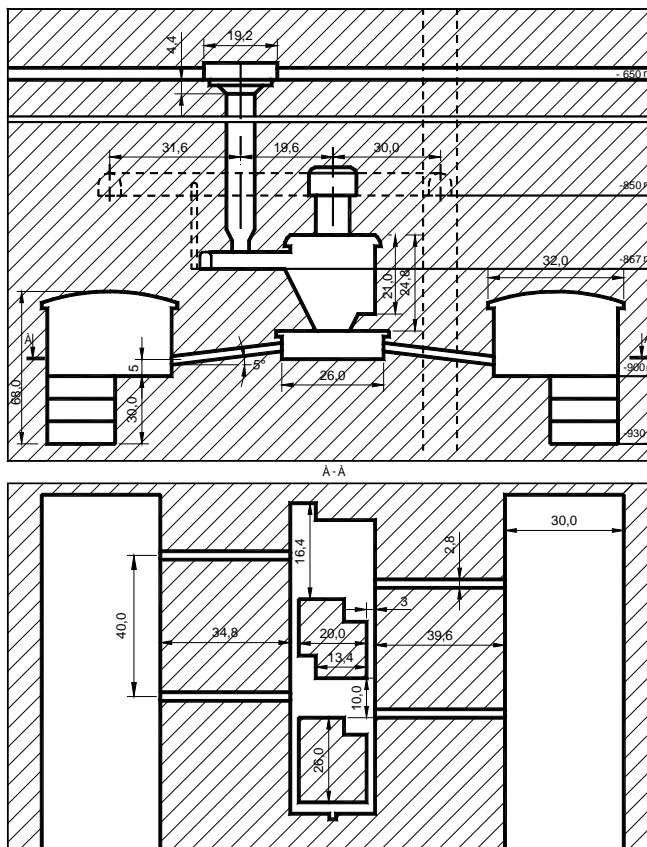


Рис. 2. Подземная обогатительная фабрика в условиях Кременчугского месторождения магнетитовых кварцитов. Вариант 2

Небольшой участок в южной части месторождения разрабатывается Полтавским горно-обогатительным комбинатом. На остальной части месторождения возможны только подземные работы, но они еще не начаты.

Основная идея заключается в том, что обогатительную фабрику располагают на глубине 800-1000 м. Добытую руду спускают по рудоспускам в бункера обогатительной фабрики. Разработку ведут камерной системой. Отходы обогащения (хвосты) складывают в отработанных камерах. К ним добавляют вяжущим материал (цемент или измельченный гранулированный шлак) и используют как твердеющую закладку. Концентрат выдают на поверхность.

Расчет на прочность камер подземной обогатительной фабрики Кременчугского железорудного месторождения проведен методом конечных элементов [1].

Обогатительная фабрика расположена на глубине 950 м. Высота камеры 60 м, ширина 20 м, свод высотой 7 м. Разрушающее напряжение руды на сжатие 90 МПа, на растяжения 13,4 МПа. Объемный вес породы $3,5 \cdot 10^4$ Н/м³, модуль упругости – 10^5 МПа, коэффициент Пуассон равен 0,2.

При решении задачи методом конечных элементов [2] исследуемая область разбивалась на элементы конечных размеров, которые взаимодействуют друг с другом через соприкасающиеся

точки-узлы. При этом выделенный элемент имеет те же физические свойства, что и рассматриваемая среда в месте расположения элемента.

Исходной информацией являются данные о структуре системы, типы конечных элементов, места приложения и величина нагрузок, граничные условия. Граничные условия сводятся к тому, что по верхней горизонтальной границе расчетного участка прилагают узловые силы, эквивалентные весу горного массива. По вертикальным границам расчетного участка задают отсутствие горизонтальных смещений; в узлах нижней горизонтальной границы запрещают вертикальные смещения. Узлы внутреннего контура могут перемещаться свободно. В результате вычислений получают значения напряжений в центре тяжести каждого элемента.

Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Сжимающее напряжение в стенках камеры равно 44 МПа, следовательно, запас прочности составит 2,1. Напряжение в центре пролета на высоте 0,5 м от кровли равно 2,47 МПа, запас прочности в кровле составит 5,3. Полученные результаты удовлетворяют условиям длительной прочности конструкции. Это позволяет рекомендовать камеры таких размеров для размещения в них оборудования обогатительной фабрики.

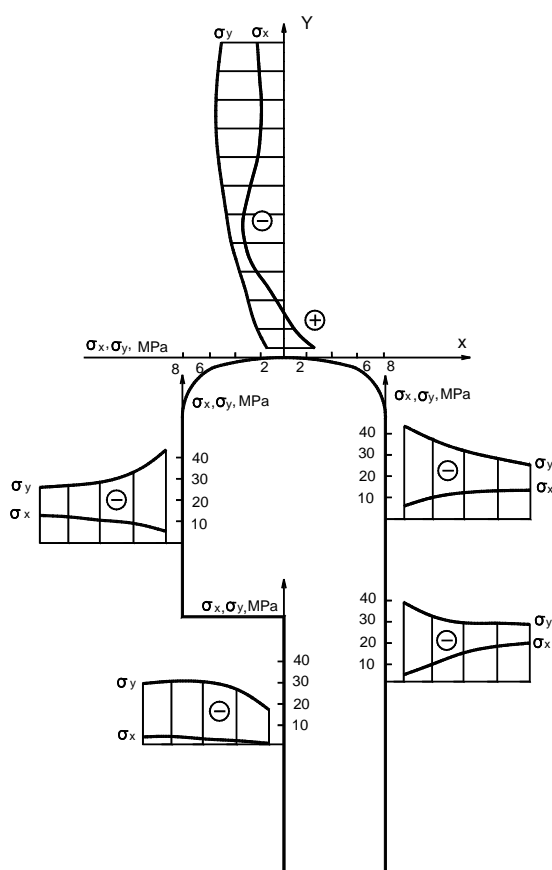


Рис.3. Расчетная схема и эпюры напряжений для камер подземной обогатительной фабрики в условиях Кременчугского железорудного месторождения

Аналогичный вариант создания горно-обогатительного предприятия возможен и в условиях рудника им. Дзержинского (Кривбасс).

Расчет на прочность кровли и стенок камер подземной обогатительной фабрики для рудника им. Дзержинского выполнен численным методом потенциала [3].

Для расчета приняты следующие размеры камер: пролет – 15 м, высота – 30 м, свод высотой 5 м. Камеры будут расположены на глубине 630 м. Порода имеет следующие физико-механические свойства: разрушающее напряжение на сжатие 155 МПа, на растяжение 19 МПа,

объемный вес $3,3 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$, модуль упругости $7 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона 0,17, структурная неоднородность породы учтена коэффициентом, равным 0,5.

Входные данные основываются на геометрии внешней границы, количестве задаваемых участков на фрагментах границы, физико-механических характеристиках материала, нагрузках и координатах внутренних точек. Граничные условия следующие: по левой и правой границам рассматриваемой области отсутствуют горизонтальные перемещения, поэтому эти границы шарнирно закреплены, распределенные нагрузки приложены по внешней горизонтальной границе

Результаты расчета методом потенциала представлены на рис. 4.

Растягивающее напряжение в центре кровли на границе равно 2,39 МПа. Следовательно, запас прочности в кровле составит 3,9. Максимальное сжимающее напряжение в стенках камеры равно 26,7 МПа, запас прочности составит 2,9.

Полученные результаты удовлетворяют условиям длительной прочности конструкции. Это позволяет рекомендовать создание подземных камер для размещения горного оборудования на руднике им. Дзержинского с размерами: высота – 30 м, пролет – 15 м, свод высотой 5 м.

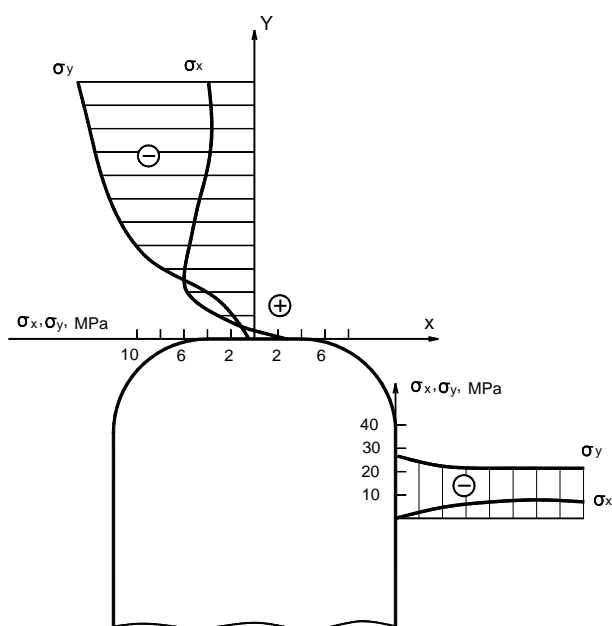


Рис. 4. Расчетная схема и эпюры напряжений для камер подземной обогатительной фабрики на руднике им. Дзержинского

Рассчитанное напряженно-деформированное состояние позволяет оценить прочность горных пород вокруг камер. При этом разрушение пород может быть описано различными компонентами состояния.

Оценка прочности кровли и стенок камер проводилась с использованием первой теории прочности – теории наибольших нормальных напряжений, по которой разрушение пород наступает при достижении наибольшим нормальным напряжением допустимого значения. При этом влияние других компонентов тензора напряжений не учитывается. Поэтому, для более полного анализа прочности пород вокруг камер, была применена теория прочности Мора [4]. По условию прочности Мора разрушение пород определяется соотношением касательных и нормальных напряжений в каждой точке тела.

Использование методов конечных элементов и потенциала позволило получить компоненты напряженно-деформированного состояния σ_x , σ_y , τ_{xy} в каждой заданной точке вокруг камер. По полученным касательным и нормальным напряжениям в исследуемой области, и определенным главным напряжениям [5], с учетом условия прочности Мора, были рассчитаны запасы прочности в каждой заданной точке вокруг камер подземных обогатительных фабрик.

Результаты показали, что по мере удаления от контура кровли запасы прочности возрастают и минимальные их значения получены в углах, в центрах кровли и стенок камеры.

По теории Мора в центре кровли камеры для условий Кременчугского месторождения получен запас прочности 5,6, в стенках – 2,9. По первой теории прочности получен запас прочности в кровле камеры 5,3, в стенках – 2,1.

Аналогичные расчеты запасов прочности были проведены для камер рудника им. Дзержинского. При этом запасы прочности по теории Мора составили: в центре кровли – 3,9, в стенках – 3,6. По первой теории запасы прочности в кровле – 3,9, в стенках – 2,9.

Таким образом, полученные результаты позволили подтвердить сделанные выводы, что выбранные размеры камер удовлетворяют условиям длительной прочности конструкции.

При этом полученные запасы прочности по первой теории прочности и по теории прочности Мора в кровле отличаются незначительно. В стенках камер первая теория прочности дает запас прочности меньше. Поэтому, с достаточной для практики точностью, можно оценивать прочность центра кровли и стенок по первой теории прочности.

Для более полного анализа прочности камер необходимо, в соответствии со свойствами породы, использовать теории прочности, учитывающие касательные и нормальные напряжения в каждой точке вокруг исследуемой конструкции. Разработанная методика оценки прочности позволила, учитывая все компоненты тензора напряжений, получить запасы прочности в каждой точке вокруг камеры. Тем самым, это позволило оценить соответствие условиям прочности не только центра кровли и стенок, но и всего контура выработки.

Список литературы

1. Зенкевич О.К., Ченг И.К. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. – М.: Недра, 1974. – 230 с.
2. Городецкий Л.С. Инструкция к программе «Мираж». – Киев: Изд. Института Гипрохиммаш, 1971. – 105 с.
3. Верюжский Ю.В. Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики. – Киев: Вища школа, 1978. – 182 с.
4. Турчанинов И.С., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.
5. Степин П.А. Соппротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1968. – 423 с.

Исследование напряженно-деформированного состояния пород вокруг камер больших размеров численными методами теории упругости / В.И. Бузило, Т.С. Савельева, В.А. Савельев, Т.И. Морозова // *Materialy Szkoły Eksploatacji Podziemnej – Krakow : Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia PAN, 2010 . – С. 1147-1152.*