

УДК 622.831
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-12-167-172

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛОСКОЙ МОДЕЛИ ВОКРУГ ДОБЫЧНЫХ КАМЕР

Г.О. Казакбаева, К.Т. Тажибоев

Аннотация. Показано, что общее поле естественных напряжений в реальном массиве горных пород включает в себя три вида напряжений, порожденных природными силами: гравитационные, тектонические и остаточные. Установлен знакопеременный, неравномерный, зональный характер распределения остаточных напряжений вблизи отработываемых сближенных добычных камер, выявлены зоны повышенных остаточных растягивающих и сжимающих напряжений вблизи камер. Выявлено, что сравнительно высокие остаточные растягивающие напряжения имеют место вблизи потолочины верхней сближенной камеры, в междукammerном целике и в подошве нижней камеры, а в боковой части нижней камеры имеются высокие сжимающие напряжения. Получена общая картина распределения остаточных напряжений в модели вокруг камер, определены величины главных напряжений и установлен характер их распределения.

Ключевые слова: главные остаточные напряжения; эпюры остаточных напряжений; оптически активная модель; камера; растягивающие и сжимающие напряжения.

ТОО-КЕН КАЗЫП АЛУУ КАМЕРАЛАРЫНЫН АЙЛАНАСЫНДАГЫ ТЕГИЗ МОДЕЛДЕГИ КАЛДЫК ЧЫҢАЛУУ ТАЛААЛАРЫН ИЗИЛДӨӨ

Г.О. Казакбаева, К.Т. Тажибоев

Аннотация. Чыныгы тоо массасындагы табигый чыңалуулардын жалпы талаасы табигый күчтөр тарабынан пайда болгон чыңалуулардын үч түрүн камтый тургандыгы көрсөтүлгөн: гравитациялык; тектоникалык жана калдык. Казылып алынган жанаша өндүрүштүк камералардын жанындагы калдык чыңалуулардын бөлүштүрүлүшүнүн алмашып туруучу, бирдей эмес, зоналык мүнөзү белгиленген, камералардын жанындагы калдык чыңалуу жана кысуу чыңалууларынын жогорулаган зоналары аныкталган. Салыштырмалуу жогорку калдык чыңалуусу жогорку чектеш камеранын шыпына жакын, камералар аралык мамыда жана төмөнкү камеранын түбүндө пайда болуп, төмөнкү камеранын капталында жогорку кысуу чыңалуулары бар экени аныкталган. Макалада камералардын айланасындагы моделдеги калдык чыңалуулардын бөлүштүрүлүшүнүн жалпы көрүнүшү алынат, негизги чыңалуулардын маанилери аныкталат жана алардын бөлүштүрүлүшүнүн мүнөзү белгиленет.

Түйүндүү сөздөр: негизги калдык чыңалуулар; калдык чыңалуулардын диаграммалары; оптикалык активдүү модели; камера; калдыктуу кысылуу жана чоюлуу чыңалуулары.

INVESTIGATION OF RESIDUAL STRESS FIELDS IN A FLAT MODEL AROUND THE MINING CHAMBERS

G.O. Kazakbaeva, K.T. Tazhibayev

Abstract. It is shown that the general field of natural stresses in a real rock mass includes three types of stresses generated by natural forces: gravitational, tectonic and residual. A sign-changing, non-uniform, zonal character of the distribution of residual stresses near the mined adjacent production chambers has been established, zones of increased residual tensile and compressive stresses near the chambers have been identified. It was found that relatively high residual tensile stresses occur near the ceiling of the upper adjacent chamber, in the inter-chamber pillar and in the bottom of the lower chamber, and there are high compressive stresses in the side of the lower chamber. A general

picture of the distribution of residual stresses in the model around the chambers is obtained, the values of the main stresses are determined, and their distribution pattern is established.

Keywords: main residual stresses; residual stresses diagrams; optically active model; chamber; tensile and compressive stresses.

Введение. Непосредственная добыча полезного ископаемого осуществляется при помощи очистных работ. Принимаемый в каждом отдельном случае определенный порядок ведения подготовительных и очистных работ обычно называют системой разработки. Одним из путей повышения безопасности труда, роста объемов добычи и снижения потерь руды в недрах, особенно в сложных горно-геологических условиях залегания полезных ископаемых, является переход на камерную систему разработки. Поэтому определение устойчивых параметров камер является актуальной задачей, так как концентрация напряжений, созданных вокруг камер, будет сказываться в большей степени на их устойчивости. Для этого необходимы данные о напряженном состоянии массива вокруг камер.

Как известно, общее напряженное состояние массива горных пород, особенно скальных, состоит из суммы следующих полей напряжений: гравитационного, современного тектонического и остаточного [1]. Самоуравновешенные, как правило, неоднородные остаточные напряжения [2], при взаимодействии с напряжениями, созданными разными внешними силами в условиях нарушения их равновесного состояния, в зависимости от их величины и направления, могут внести нередко определяющий вклад в различные динамические проявления массива горных пород в виде стреляний, катастрофических горных ударов и [3, 4].

В этой связи, исследование полей остаточных напряжений в массиве вокруг различных выемок при разработке месторождений полезных ископаемых имеет большое практическое значение. Проводить исследование остаточных напряжений непосредственно в массиве горных пород довольно сложно, так как там измеряется суммарное напряжение. Поэтому в представленной работе исследуются поля остаточных напряжений вокруг близко расположенных очистных камер поляризационно-оптическим методом в плоской оптически активной модели. Поляризационно-оптический метод хорошо подходит для исследований остаточных напряжений в лабораторных условиях, а полученные результаты имеют наглядный и более информативный характер.

Методы исследования. Исследование остаточных напряжений проводили на плоской оптически-активной модели, изготовленной на основе эпоксидной смолы со следующими геометрическими параметрами: высота 21,5 см, ширина 20 см, толщина 0,6 см. В модели из отвержденной эпоксидной смолы ЭД-6 были вырезаны две камеры высотой 3 см, шириной 4 см и расстоянием между ними в 1 см. Поля остаточных напряжений в модели были созданы температурным режимом в специальном термостате. Схема модели приведена ниже на рисунке 1. В направлениях, указанных в схеме стрелками, определены величины остаточных напряжений по известной методике [5].

Результаты исследования. Картина полос распределения полей остаточных напряжений в модели вокруг близко расположенных камер показывает, что повышенная концентрация напряжений наблюдается вокруг нижней камеры № 2 (рисунок 2).

Распределение главных остаточных напряжений вблизи верхней камеры № 1. Кровля в камерах является наиболее важным элементом системы, и поэтому на величину напряжений, и на характер их распределения в кровле обращается особое внимание. Эпюры главных нормальных остаточных напряжений по вертикальному сечению над кровлей камеры № 1 показывают, что одно из нормальных напряжений σ_1 имеет знакопеременный характер распределения с растягивающими и сжимающими значениями. Высокие величины растягивающих остаточных напряжений наблюдается над кровлей камеры вблизи ее контура, достигая в отдельных точках до 4,2 МПа. В удаленных от контура точках данные напряжения переходят в более низкие сжимающие напряжения (рисунок 3, а). Второе главное нормальное остаточное напряжение σ_2 вблизи контура кровли камеры № 1, наоборот, имеет низкие сжимающие величины, а в удаленных точках достигают до 7,8 МПа. Характер распределения главных

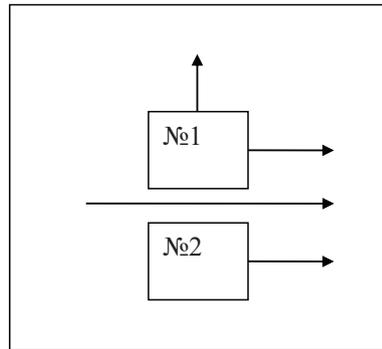


Рисунок 1 – Схема плоской модели с камерами

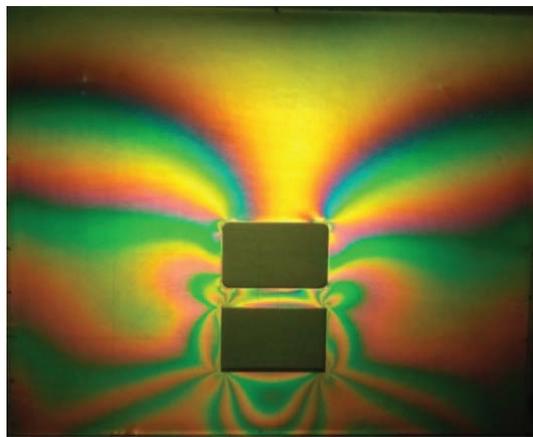


Рисунок 2 – Картина полос полей остаточных напряжений в модели вокруг добычных камер и потолочины (между камерного целика)

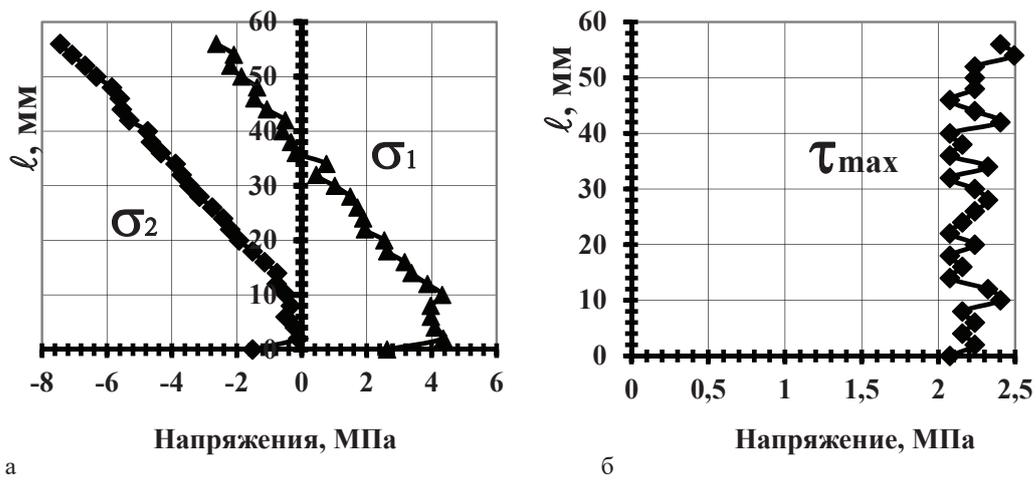


Рисунок 3 – Эпюры главных остаточных напряжений по вертикальному сечению над кровлей камеры № 1

нормальных остаточных напряжений по вертикальному сечению над кровлей камеры № 1 имеет знакопеременный вид (рисунок 3, а). Максимальные касательные остаточные напряжения по данному сечению имеют величину, достигающую 2,1–2,5 МПа (рисунок 3, б).

По горизонтальному сечению в боковой части вблизи стенки камеры № 1 преобладают высокие сжимающие остаточные напряжения, а в более удаленных точках имеют место растягивающие остаточные напряжения со сравнительно низкими величинами. Характер распределения остаточных главных нормальных напряжений по данному сечению имеет неравномерный, знакопеременный вид (рисунок 4, а).

Из эпюры остаточных максимальных касательных напряжений по горизонтальному сечению видно, что их сравнительно высокие величины, достигающие до 1,5–2,0 МПа также имеют место вблизи боковой стенки камеры № 1, а в удалении от нее наблюдается значительное их снижение (рисунок 4, б).

Распределение главных остаточных напряжений в потолочине камеры № 2 (в междукамерном целике). В междукамерном целике (или в потолочине камеры № 2) главные нормальные остаточные напряжения σ_1 и σ_2 имеют высокие растягивающие значения, достигающие максимальных величин по краям – 10–12 МПа. Следует отметить, что такие величины напряжений, с точки зрения устойчивости потолочины, представляют опасность разрушения, так как горные породы, в основном при одноосном растяжении, имеют прочность в 10 раз меньшую, чем прочность при одноосном сжатии, и при растягивающих напряжениях 12 МПа некоторые горные породы разрушаются. Удаляясь от краевых частей потолочины, растягивающие напряжения, снижаясь, переходят в сжимающие напряжения (рисунок 5, а).

Величины максимальных касательных остаточных напряжений в целике незначительные с неравномерным характером распределения (рисунок 5, б).

Распределение остаточных напряжений в боковой части камеры № 2. Эпюры, приведенные на рисунке 6, а показывают, что в боковой части камеры № 2 по горизонтальному сечению преобладают высокие сжимающие остаточные напряжения. Величины растягивающих напряжений в этом направлении незначительны. В боковой части камеры № 2 увеличена протяженность зоны действия высоких сжимающих напряжений до расстояния 52 мм. Их максимальные величины в отдельных точках достигают 4,0–5,4 МПа. Характер распределения главных нормальных остаточных напряжений в боковой части нижней камеры № 2 имеет неоднородный, знакопеременный вид с преобладанием высоких сжимающих величин (рисунок 6, а).

Рост величин максимальных касательных остаточных напряжений в боку камеры № 2 наблюдается в отдельных точках, достигая 1,8–2,2 МПа. Характер их распределения неравномерный (рисунок 6, б).

Распределение главных остаточных напряжений в подошве (в почве) камеры № 2. В подошве нижней камеры № 2 преобладают растягивающие напряжения со сравнительно высокими величинами, достигающими в локальных точках 3,0–4,5 МПа. Характер распределения остаточных главных нормальных напряжений в днище (в почве) камеры имеет неравномерный, скачкообразно периодический вид (рисунок 7, а).

Распределение максимальных касательных остаточных напряжений в этом направлении имеет также скачкообразный, неоднородный вид. Их величины в отдельных точках составляют от 1,6 до 2,6 МПа (рисунок 7, б).

Выводы. Таким образом, результаты экспериментальных исследований, проведенных поляризационно-оптическим методом, позволили сделать следующие выводы:

Установлен знакопеременный неравномерный зональный характер распределения остаточных напряжений вблизи обрабатываемых сближенных камер; выявлены зоны повышенных остаточных растягивающих и сжимающих напряжений вблизи камер; сравнительно высокие остаточные растягивающие напряжения имеют место вблизи кровли (междукамерного целика) камеры № 1, в междукамерном целике (потолочине) и в подошве камеры № 2, а высокие сжимающие напряжения – в боковой части

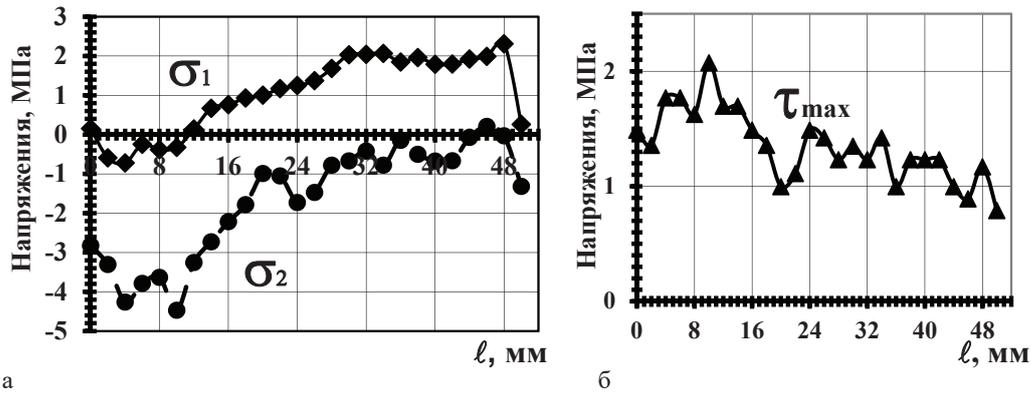


Рисунок 4 – Эпюры остаточных главных нормальных и максимальных касательных напряжений по горизонтальному сечению в боковой части верхней камеры № 1

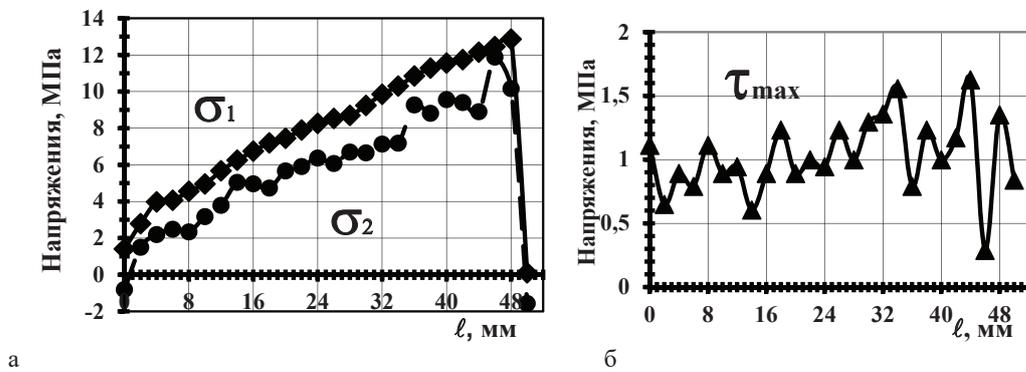


Рисунок 5 – Эпюры остаточных главных нормальных и максимальных касательных напряжений по горизонтальному сечению в междукамерном целике

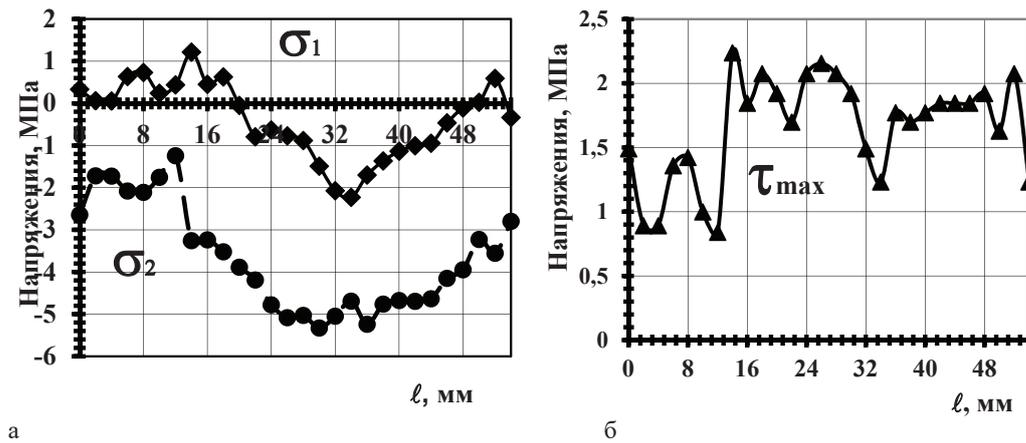


Рисунок 6 – Эпюры распределения остаточных главных нормальных и максимальных касательных напряжений по горизонтальному сечению в боковой части нижней камеры № 2

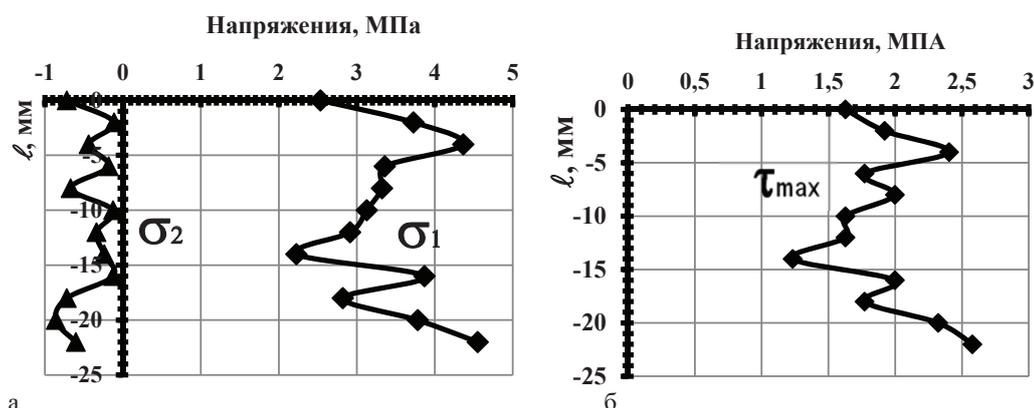


Рисунок 7 – Эпюры остаточных главных нормальных и максимальных касательных напряжений в днище (в почве) камеры № 2

нижней камеры № 2; установлено, что в междукammerном целике (потолочине) камеры № 2 главное нормальное остаточное напряжение σ_1 имеет высокие растягивающие значения, достигающие максимальной величины 10–12 МПа по краям целика. Такие величины напряжений, с точки зрения устойчивости потолочины, представляют опасность разрушения, так как горные породы, в основном при одноосном растяжении, имеют прочность в 10 раз меньшую, чем прочность при одноосном сжатии, и при растягивающих напряжениях 12 МПа, некоторые горные породы разрушаются.

Полученные результаты исследований остаточных напряжений на оптически активной плоской модели вокруг близко расположенных камер, могут служить для общего представления характера распределения напряжений в массиве горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых камерными системами разработки. Результаты определения величин остаточных напряжений вокруг добычных камер необходимы для расчета устойчивости параметров сближенных камер при совместном действии от напряжений внешних сил, то есть суммарных напряжений.

Поступила: 25.08.22; рецензирована: 07.09.22; принята: 09.09.22.

Литература

1. Влох Н.П. Исследование остаточных напряжений в крепких горных породах / Н.П. Влох, Я.М. Липин, А.Д. Сашурин // Современные проблемы механики горных пород: матер. Всесоюз. конф. Л., 1972. С. 186–189.
2. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии / И.Т. Айтматов. Фрунзе: Илим, 1987. 246 с.
3. Тажибаев К.Т. Научно-технические основы поляризационно-акустического метода определения действующих и остаточных напряжений в горных породах / К.Т. Тажибаев, М.С. Акматалиева, Д.К. Тажибаев // Современные проблемы механики. Бишкек, 2020. № 41 (3). С. 223–238.
4. Айтматов И.Т. Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах / И.Т. Айтматов, К.Т. Тажибаев // Диплом на научное открытие (№ 90, № А 109 от 29.04.1998 г.). Выдан Межд. ассоциацией авторов научных открытий и Российской академией естественных наук.
5. Экспериментальная механика. Кн. 1 / под ред. А. Кобаяси. М.: Мир, 1990. 616 с.