

УДК 622.441.54

**М.А. Земляной**

**УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА В УСЛОВИЯХ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ МЕРГЕЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА ПРИ ПОМОЩИ ШТОЛЕН (на примере Новороссийского месторождения мергеля)**

*На примере Новороссийского месторождения мергелей разработана модель пространственного распределения напряжений в кровле горной выработки (штольни), позволяющая собственным математическим аппаратом, описывать зоны концентрации напряжений в кровле горной выработки.*

*Ключевые слова: месторождение мергелей, рабочий борт карьера, массив скальных горных пород.*

---

**Н**овороссийское месторождение мергелей представлено крутопадающими телами полезного ископаемого общей мощностью свыше 450 метров с изменяющимся содержанием основных породообразующих элементов ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ). Крепость пород слагающих массив варьируется от 3 до 8 по проф. М.М. Протодяконову.

Особенностью производства цемента является использование сырьевой смеси, обеспечивающей заданные параметры глиноземного и силикатного модулей, которые в свою очередь формируются посредством концентрации вышеуказанных породообразующих элементов. Неравномерный характер распределения породообразующих элементов в запасах месторождения, влияющий на качественные характеристики мергеля и необходимость концентрации горных работ на благоприятных для разработки запасах определяют требования к выбору направления и порядка переме-

шения фронта горных работ уступов в плане и углубке.

Зачастую принятое направление ведения горных работ усложняет подготовку полезного ископаемого к выемке. Нагорное месторождение мергеля имеет естественный наклон дневной поверхности от 13 до 50 – 60 °, сложный рельеф местности, рабочая зона карьера имеет несколько добычных уступов, чем затрудняет доступ к необходимым запасам.

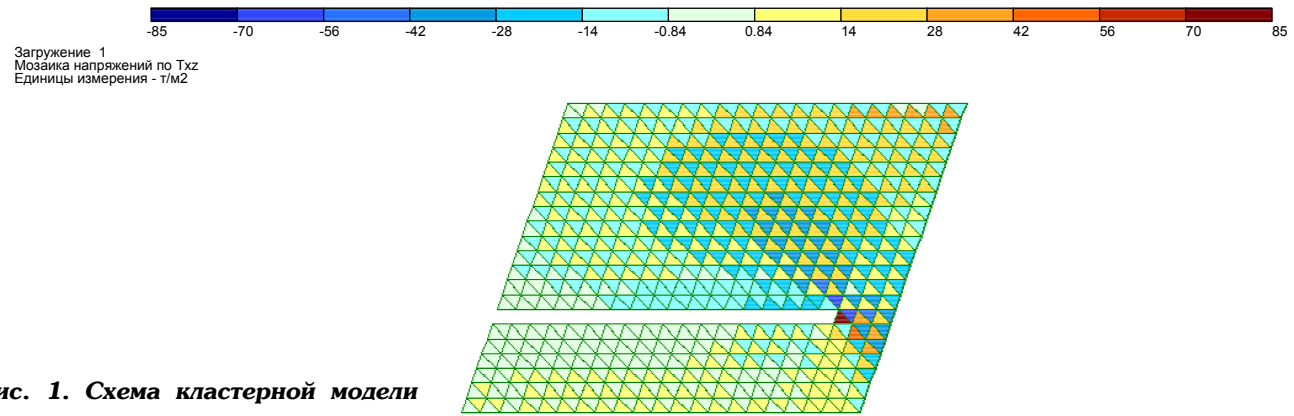
Подготовка запасов при помощи штолен с размещением шпуровых и скважинных зарядов, применяемых для сотрясательного взрывания, влечет за собой ослабление устойчивости рабочего откоса, перераспределение напряжений в массиве горных пород. Сложно становится обеспечивать устойчивость горных выработок, подготовленных к размещению зарядов ВВ. Кроме того, ведение горных работ на вышележащих уступах приводит к кратковременным динамическим нагрузкам от работы горно-добычной и транспортной техники, проведения

массового взрыва, отработка полезного ископаемого вышележащих уступов влечет за собой перераспределение нагрузки в кровле горных выработок. Разгрузка напряжений в выработку и потеря устойчивости одной штольни может привести к необратимым последствиям, связанных с потерей устойчивости значительной части рабочего борта карьера.

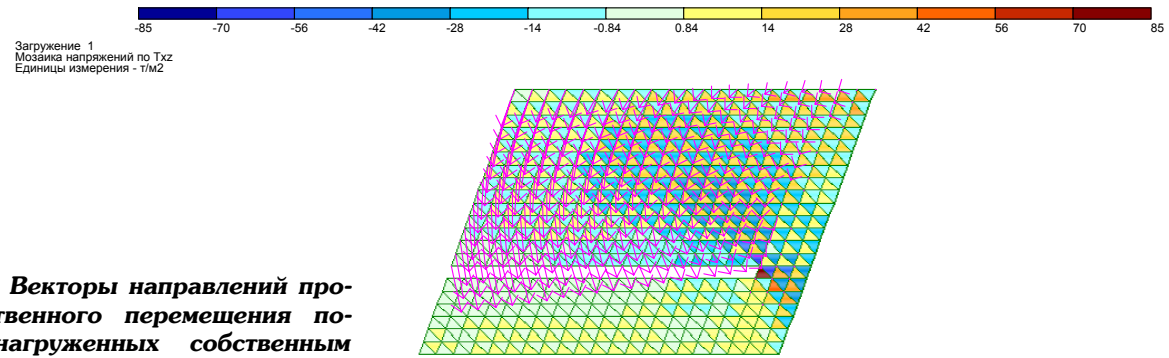
В таких условиях, при подготовке полезного ископаемого к отработке при помощи сотрясательного взрывания с проведением штолен первостепенное значение приобретает управление напряженно-деформированным состоянием горного массива, позволяющее как повышать устойчивость подземных выработок, так и при необходимости снижать ее, при проведении сотрясательного взрывания. Рациональность и надежность применяемых методов управления горным давлением во многом определяет безопасность эксплуатации подземных сооружений, устойчивость откосов рабочих бортов карьера и эффективность открытой и подземной геотехнологии в целом.

В работе [Казикаев Д.М. Комбинированная разработка рудных месторождений: Учебник для Вузов.-М.: Издательство МГГУ, Издательство «Горная книга», 2008. – 360 с.] проведенное изучение закономерностей деформации подработанных подземными камерами массивов бортов карьера показало, что произошло перераспределение напряжений в массиве борта. Наличие в борту пустот определило концентрацию максимальных напряжений не в районе поверхности скольжения (определение поверхности скольжения по методу Цимбаревича), а в районе междуканальных целиков и потолочин камер.

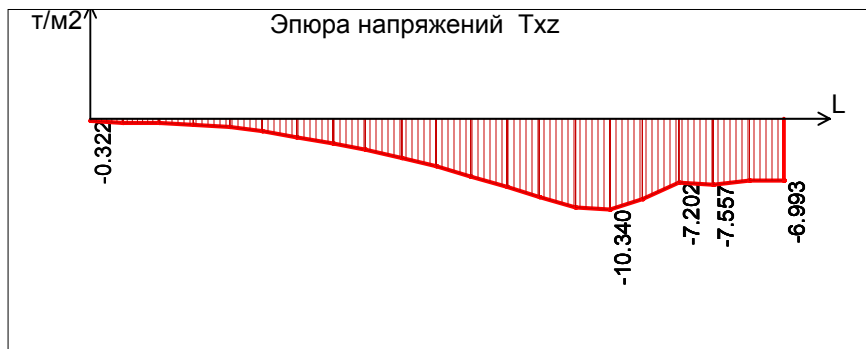
При проведении в массиве откоса штолен, также происходит перераспределение напряжений в массиве



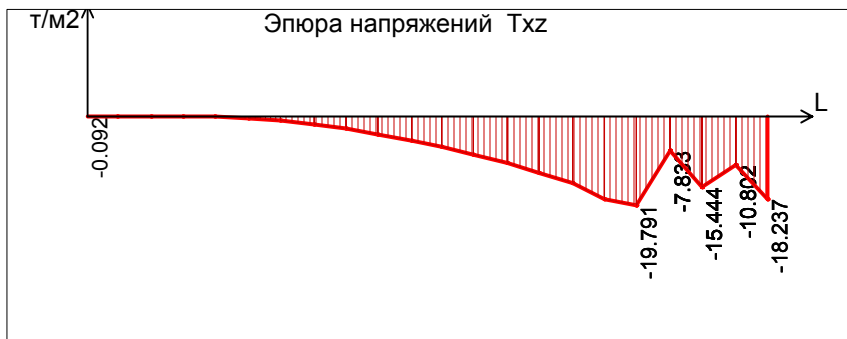
**Рис. 1. Схема кластерной модели пространственного распределения напряжений в кровле горной выработки (штольни)**



**Рис. 2. Векторы направлений пространственного перемещения пород, нагруженных собственным весом**



**Рис. 3. Эпюра напряжений в кровле выработки на высоте 3-х метров**



**Рис. 4. Эпюра напряжений в кровле выработки на контакте с выработанным пространством**

горных пород, причем характер и очередность потерь устойчивости отдельных его участков указывают на возможность управления этим процессом.

Таким образом, управление напряженно-деформированным состоянием массивов скальных горных пород, находящихся под действием изменяющихся во времени нагрузок, обусловленных перераспределением первоначальных напряжений породной толщи в окрестностях горных выработок и зон обрушения необходимо производить на основе кластерной модели пространственного распределения напряжений в кровле горной выработки.

Данная модель позволяет производить интегрированную оценку напряженно-деформированного состояния массива пород в кровле горной выработки, расположенной в борту карьера. Основным элементом модели является ячейка с поперечным сечением в виде треугольника.

Данные показаний приборов обрабатываются математическим аппаратом модели, описывающим зоны концентрации напряжений в кровле горной выработки. Для каждой ячейки рассчитывается напряженно-деформированное состояние, входящих в нее пород и обосновываются направления пространственного перемещения локальных зон массива

горных пород в условиях совместного ведения открытых и подземных горных работ.

В качестве примера использована модель со следующими входными данными:  $E - 3,8 \text{ тс/м}^2$  (модуль деформации);  $V - 0,38$  – (коэффициент Пуассона);

$H - 0,73315$  (глубина сжимаемой толщи пород), м;  $R_0 - 1.6 \text{ тс/м}^3$  (удельный вес породы).

Расчет выполнен программным комплексом "ЛИРА". В основу расчета положен метод конечных элементов в перемещениях.

На рис. 1 представлена схема кластерной модели пространственного распределения напряжений в кровле горной выработки.

Данные показаний приборов обрабатываются математическим аппаратом модели, описывающим зоны концентрации напряжений в кровле горной выработки. Для каждой ячейки рассчитывается напряженно-деформированное состояние, входящих в нее пород и обосновываются направления пространственного перемещения локальных зон массива горных пород в условиях совместного ведения открытых и подземных горных работ.

На рис. 2. представлено направление пространственного перемещения пород, входящих в ячейки кластерной модели, нагруженных собственным весом.

На высоте трех метров кровли наблюдается максимальная концентрация напряжений в размере  $10,34 \text{ т/м}^2$  (рис. 3.), тогда как на границе кровли и выработанного пространства величина напряжений составляет  $19,79 \text{ т/м}^2$  (рис. 4.).

Анализ результатов показал, что концентрация напряжений на контакте пород и выработанного пространства значительно возрастает, кроме того из рис. 1 и рис. 2 видны характер распределения напряжений и направление векторов сил перемещения локальных зон в кровле горной выработки. Учитывая вышесказанное можно констатировать, что технологическое управление напряженно-деформированным состоянием горного массива, определяющего параметры зоны концентрации напряжений при проведении одиночных выработок, можно достичь посредством расположения наиболее полной информации о протекании процессов усиления и релаксации напряжений в горном массиве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казикаев Д.М.* Комбинированная разработка месторождений: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, Издательство «Горная книга», 2008. – 360 с.

2. *Казикаев Д.М.* Геомеханика подземной разработки руд: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 542 с.: ил. **ГИАБ**

### Коротко об авторе

*Земляной М.А.* – кандидат технических наук, докторант кафедры Подземная разработка месторождений полезных ископаемых

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),  
ООО.NIS@mail.ru