

УДК 622.838:622.273.3

**Креницын Роман Владимирович**

научный сотрудник  
лаборатории геодинамики и горного давления,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, Россия, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина Сибиряка, д. 58  
e-mail: [Roman\\_krincyn@mail.ru](mailto:Roman_krincyn@mail.ru)

**Худяков Сергей Владимирович**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории геодинамики и горного давления,  
Институт горного дела УрО РАН,

**Krinitcyn Roman V.**

researcher,  
the laboratory of geodynamics and rock pressure  
the Institute of mining, the Ural branch,  
Russian academy of sciences  
620075, Yekaterinburg, Mamin-Sibiriyak st., 58  
e-mail: [Roman\\_krincyn@mail.ru](mailto:Roman_krincyn@mail.ru)

**Hudyakov Sergey V.**

candidate of technical sciences,  
senior researcher,  
the laboratory of geodynamics and rock pressure  
the Institute of mining, the Ural branch,  
Russian academy of sciences

**ВЛИЯНИЕ РАНЕЕ ПРОЙДЕННЫХ  
ВЫРАБОТОК НА НАПРЯЖЕННОЕ  
СОСТОЯНИЕ ОФОРМЛЯЕМЫХ  
ЦЕЛИКОВ НА САТКИНСКОМ  
МЕСТОРОЖДЕНИИ  
ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ****THE INFLUENCE OF PREVIOUSLY  
DRIVEN WORKINGS ON THE  
IMPLEMENTED PILLARS' STRESSED  
STATE IN THE SATKINSKY DEPOSIT OF  
THE CHELYABINSK REGION***Аннотация:*

Исследуется влияние ранее пройденной выработки на напряженное состояние примыкающих к ней междукамерных целиков. Исследования проводились в условиях Саткинского месторождения магнезитов. Проведено математическое моделирование распределения напряженного состояния в местах примыкания существующей выработки к оформляемым целикам. Анализ результатов расчетов позволяет сделать вывод о том, что при подходе целиков к существующей выработке на расстоянии менее одного ее диаметра от стенки целика рассматриваемый участок отработки рудного тела будет находиться на грани критического состояния, так как напряжения на контурах выработка составят 85 – 90 % от критических.

*Ключевые слова:* кровля камер, целик, горное давление, устойчивость выработок, массив горных пород

*Abstract:*

The influence of a previously driven working on the stressed state of inter-chamber pillars adjoining it is studied. The investigations were carried out in the conditions of Satkinsky magnesites deposit. Mathematical modeling of stressed state distribution in the locations of adjoining the existing working to implemented pillars is performed. The analysis of calculation results allows to conclude that the under view area of ore body mining will be on the verge of critical state as the stresses on the contour of workings make up 85-90% of critical values; this occurs while the pillars approach the existing working at the distance that is less its one diameter from the pillar's wall.

*Key words:* chambers' roof, pillar, rock pressure, stability of the workings, rock mass.

Эффективность и безопасность разработки месторождения подземным способом во многом зависят от характера и величины горного давления. В естественном состоянии массив горных пород представляет собой сложную механическую среду, состоящую из слоев с различными физико-механическими свойствами, которые, в свою очередь, неоднородны и ослаблены естественной трещиноватостью. Одним из главных факторов, влияющих на характер и величину горного давления, является напряженное состояние горных пород, окружающих ту или иную выемку полезного ископаемого. Величина его зависит от коэффициентов концентрации напряжений и первоначального напряженного состояния массива. Для создания устойчивой конструкции любого сооружения и, в частности, подземных выработок необходимо знать напряженное состояние ее элементов и

закономерности его изменения в процессе разработки месторождения. Объектом изучения влияния существующей выработки на напряженное состояние примыкающих к ней междукамерных целиков стало Саткинское месторождение магнетитов, расположенное в г. Сатка Челябинской области. Месторождение представлено серией рудных тел пласто- и линзообразной формы длиной по простиранию от 1,3 до 3,6 км, по падению 100–150 м. Азимут простирания рудных тел 45–55°, падение на юго-восток под углом 35–45°. Средняя нормальная мощность рудных тел 30 м. Вмещающие породы залегают согласно рудным телам и представлены доломитом, сланцами и диабазами. Контакт вмещающих пород с рудой резко выражен, массив разбит трещинами различного направления.

Месторождение обрабатывается открытым и подземным способами. Отработка рудных тел подземным способом ведется камерно-столбовой системой в восходящем порядке горизонтальными слоями с сухой закладкой выработанного пространства и камерной системой с закладкой камер твердеющими смесями. Основной целью исследований на данном руднике являлось определение устойчивых параметров устойчивых целиков и обнажений горных выработок.

При отработке верхних слоев блока № 2 выявилось, что часть оформляемых поддерживающих целиков подсекут ранее пройденные выработки в нижней части опытно-добычного блока (ОДБ). Толщина целиков при этом уменьшается с принятых на шахте 6 до 4 м. В Институте горного дела УрО РАН в лаборатории геодинамики и горного давления было проведено моделирование создавшегося положения методом конечных элементов. Моделирование напряженного состояния было проведено с применением программного комплекса FEM, разработанного профессором О.В. Зотеевым. Программный комплекс FEM предназначен для решения плоских и объемных задач теорий упругости и пластичности методом конечных элементов и состоит из трех крупных модулей: FEM1 (для объемной задачи – FEMV1), FEM2-3 (FEMV2-3), и FEM4 (FEMV4), а также ряда вспомогательных программ: Bound (Boundv), Zero (Zerov), Usel (Uselv), Grid2d (Grid3d). По программному комплексу определяются зависимости изменения основных геомеханических показателей подрабатываемого массива и целиков, горных выработок. Анализ расчетов НДС на ПЭВМ позволяет установить основные закономерности горного давления в целиках, стенках выработок и камер в подрабатываемом массиве и, в конечном счете, оценить устойчивость и удароопасность конструктивных элементов систем разработки.

Исходные данные для расчетов принимались следующие: модуль упругости пород  $E = 6,4 \times 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,29$ , напряжения, действующие по простиранию и вкрест простирания рудного тела, соответственно, равны 20 и 15 МПа, вертикальное составило 16 МПа [1, 2]. Расчетная схема состояла из трех проходимых камер шириной 8 м с оставлением между ними двух целиков шириной 6 м, расположенных вблизи от ранее пройденной выработки, шириной и высотой равной 2 м. Было исследовано напряженное состояние четырех наиболее вероятных вариантов взаимного расположения целиков и этой выработки, в том числе рассмотрен случай, когда днище одиночной выработки располагалось на уровне кровли средней камеры на расстоянии 2 м (вариант № 1, рис. 1) и просчитан вариант № 2, при котором кровли близлежащих камер и одиночной выработки находились на одном уровне (рис. 2).

Математическое моделирование первого варианта показало, что при приближении одной из камер к уровню почвы существующей выработки (см. рис. 1) растягивающие напряжения на контурах выработок отсутствуют, сжимающие при этом достигают  $36 \div 40$  МПа и не достигают предела прочности массива ( $\approx 50$  МПа). В данной ситуации целик находится в устойчивом состоянии. Эпюры напряжений от воздействия вертикальной нагрузки представлены на рис. 1. Для большей наглядности изолинии на рисунках представлены различным цветом. Знак «–», стоящий перед каждым полученным значением напряжений, означает сжатие, «+» растяжение.

Во втором варианте, когда кровля пройденной ранее выработки сровняется с кровлей соседних камер, т. е. кровли будут расположены на одном уровне, анализ полученных напряжений показывает, что растягивающие напряжения отсутствуют, а сжимающие не превышают 48 МПа в верхней части рассматриваемого узла и близки к пределу прочности пород в массиве. Эпюры напряжений от воздействия вертикальной нагрузки представлены на рис. 2. При данной схеме моделирования целики и кровли выработок в их верхней части будут находиться на грани критического состояния в отношении устойчивости поддерживающих целиков.

Кроме перечисленных вариантов, были просчитаны случаи, когда ранее пройденная выработка непосредственно граничила со стенками средних камер. В одном случае кровля отрабатываемых камер находилась на одном уровне с почвой этой выработки (вариант № 3 рис. 3), в другом (вариант № 4) – кровли всех четырех выработок располагались на одном уровне (рис. 4).

Полученные результаты третьего варианта показывают, что под ранее пройденной выработкой появляются небольшие по величине растягивающие напряжения с близкими к нулевым значениями, а сжимающие напряжения могут превысить предел прочности пород массива в зоне примыкания средней камеры к одиночной выработке, то есть кровля средней камеры будет находиться в неустойчивом состоянии в месте ее соприкосновения с ранее пройденной выработкой.

В четвертом варианте сжимающие напряжения снижаются до 37 – 42 МПа и уже не превышают предел прочности пород в массиве, при отсутствии растягивающих напряжений (см. рис. 4). В данном случае необходим постоянный контроль за устойчивостью кровли проходимых камер.

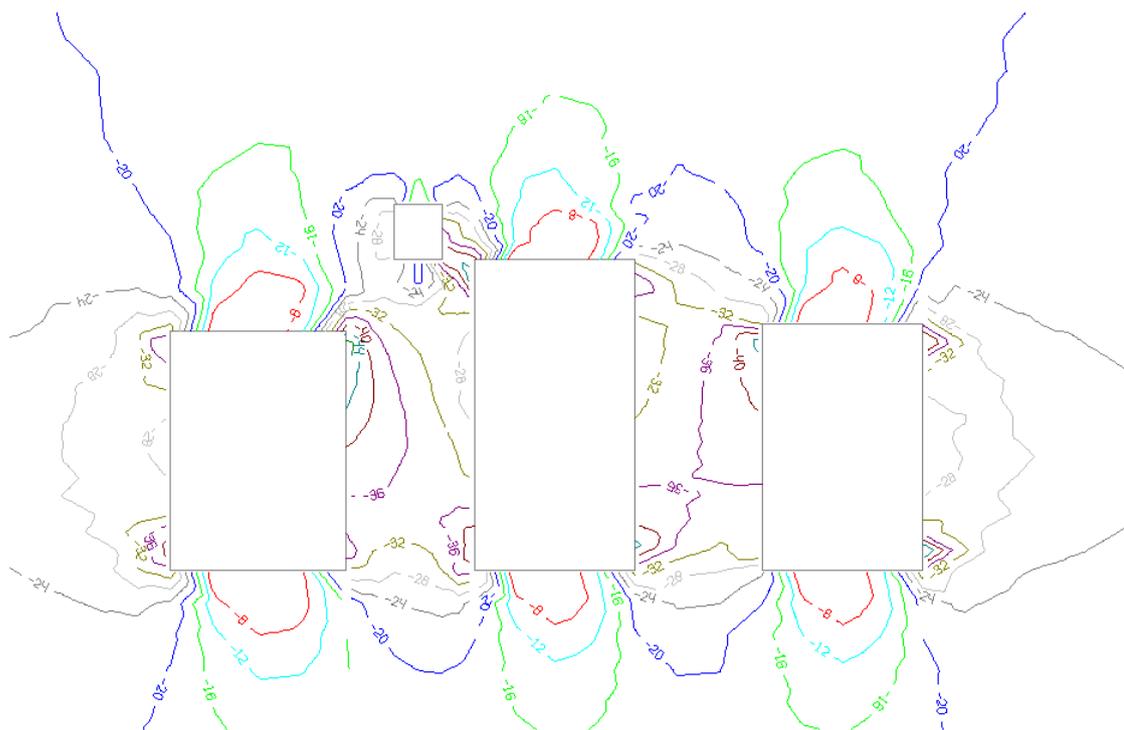


Рис. 1 – Эпюра вертикальных напряжений (вариант № 1)

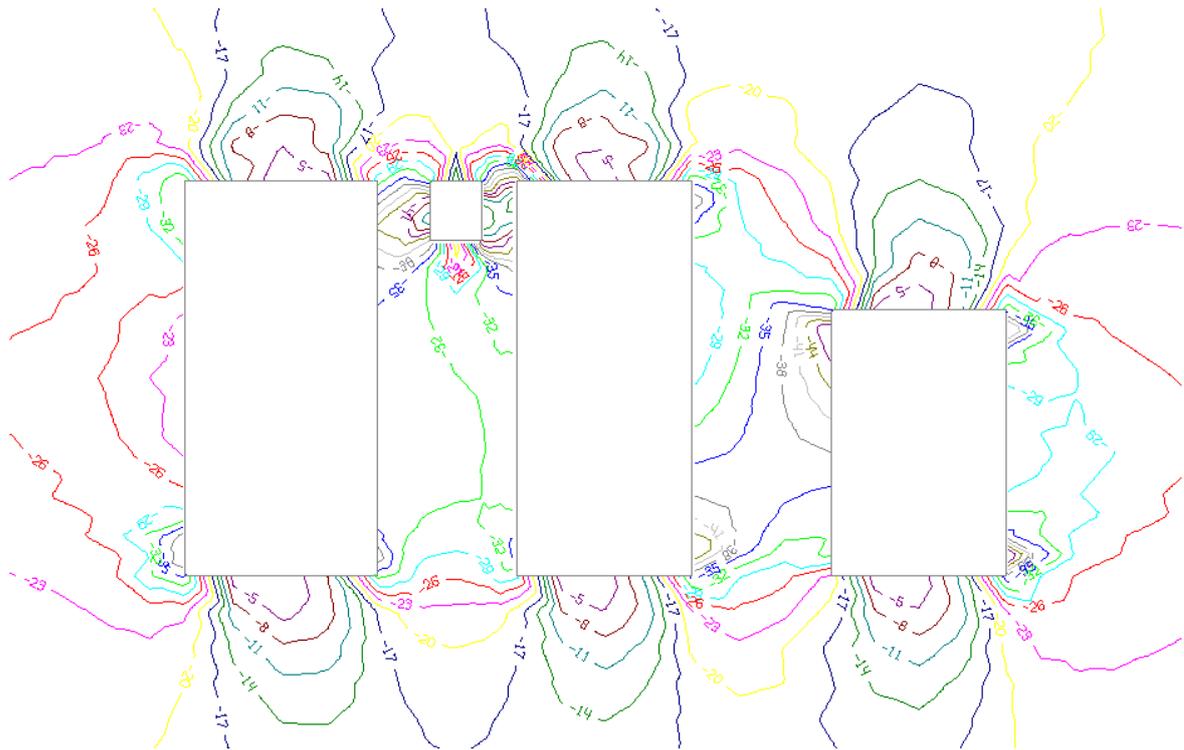


Рис. 2 – Эпюра вертикальных напряжений (вариант № 2)

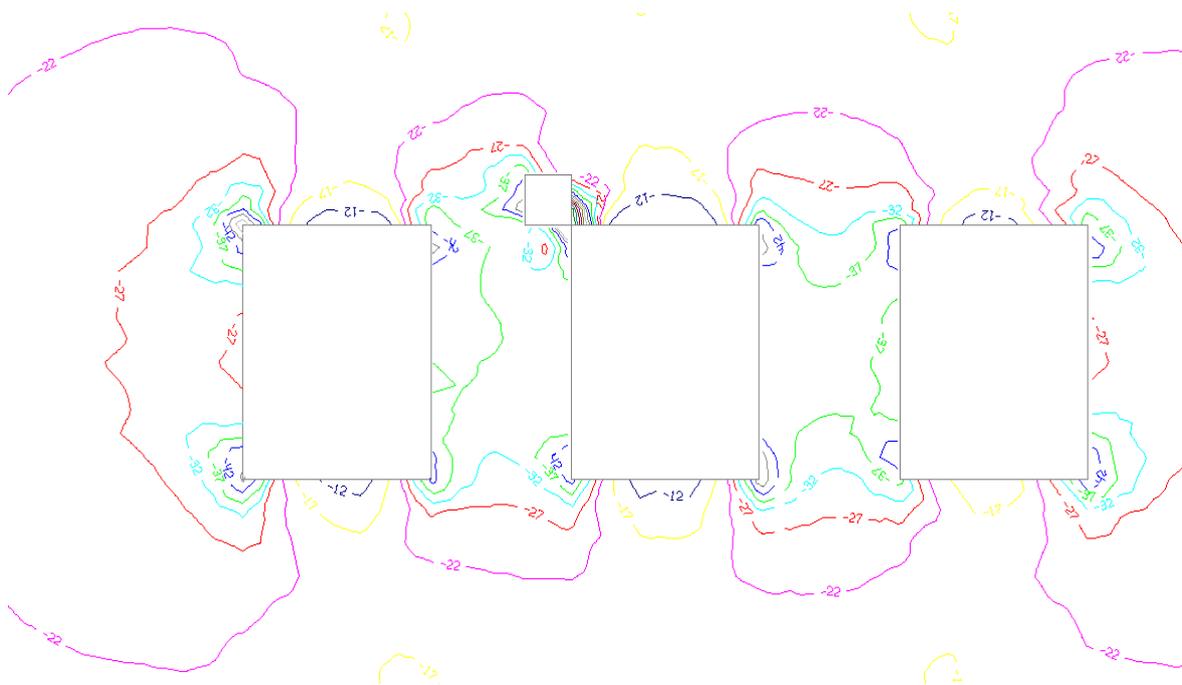


Рис. 3 – Эпюра вертикальных напряжений (вариант № 3)

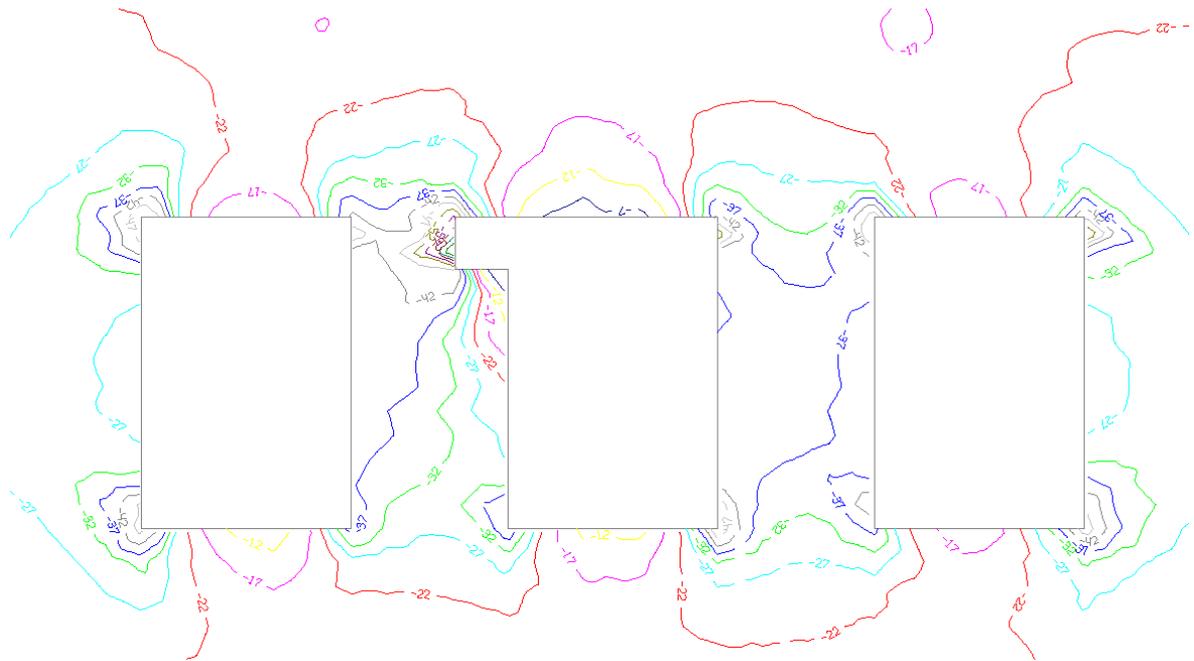


Рис. 4 – Эпюра вертикальных напряжений (вариант № 4)

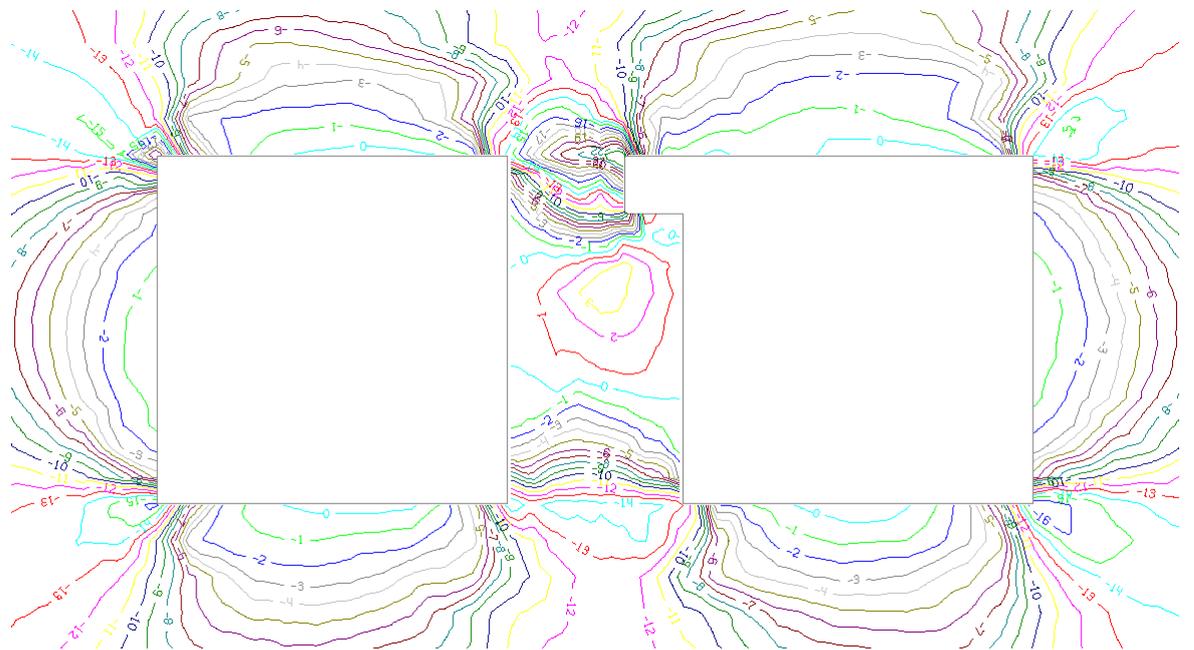


Рис. 5 – Эпюра вертикальных напряжений (вариант № 5)

Ширина камер в обрабатываемых блоках № 2 и № 3 составляет 8 м, а по выданным рекомендациям ИГД УрО РАН для дальнейшей отработки запасов магнезита ширина нескольких камер была увеличена до 10 – 12 м. Поэтому было проведено дополнительное моделирование, при котором ширина камер равнялась 12 м, ширина целика, оставляемого между ними, составляла 6 м, а ранее пройденная выработка непосредственно примыкала к одной из камер (рис. 5).

В данном варианте при выходе кровли всех трех выработок на единый уровень сжимающие напряжения над кровлями камер изменяются от 6 до 26 МПа, а в средней части целика растягивающие напряжения составят 0 – 2 МПа (см. рис. 5). Целик в его средней части находится в ослабленном состоянии, что требует применения спецтехнологии при очистной выемке.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1. При подсечении целиком ранее пройденной выработки на расстоянии менее одного ее диаметра от стенки камеры рассматриваемый участок отработки рудного тела будет находиться на грани критического состояния в отношении устойчивости поддерживающих целиков. Поэтому лучше не допускать ситуации, при которой ранее пройденная выработка будет выходить на стенку соседней камеры, либо располагаться ближе 2 м от нее.

2. Расположение кровли всех трех выработок на едином уровне при увеличении ширины камер с 8 до 12 м приводит к появлению растягивающих напряжений небольших величин в средней части междукамерного целика, то есть он будет находиться в ослабленном состоянии. Для исключения вероятности частичного самообрушения целика необходимо применение специальной технологии очистных работ.

### Литература

1. Шуплецов Ю.П. Прочность и деформируемость скальных массивов / Ю.П. Шуплецов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 195 с.
2. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 335 с.