

В.С.ЛИТВИНЕНКО, *д-р техн наук, профессор, rectorat@spmi.ru*
Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ, *д-р техн наук, профессор, bogusl@spmi.ru*
П.В.КОРЖАВЫХ, *аспирант, korzhavykh@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

V.S.LITVINENKO, *Dr. in eng. sc., professor*
E.I.BOGUSLAVSKIY, *Dr. in eng. sc., professor, bogusl@spmi.ru*
P.V. KORZHAVYKH, *post-graduate student, korzhavykh@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НИЖНЕГО ГОРИЗОНТА РУДНИКА ИМ. ГУБКИНА

Предложены технологические решения по снижению потерь руды в междуканальных целиках при проектировании нижних горизонтов рудника им.Губкина. Исследования проведены при помощи физического (на эквивалентных материалах) и математического (методом конечных элементов) моделирования. Обоснована необходимость опытно-промышленных работ, которые следует провести перед внедрением технологических решений в производство.

Ключевые слова: снижение потерь руды, крепление целиков, тросовые штанги, частичная отработка целиков, физическое, математическое моделирование.

PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF LEVEL- CHAMBER METHOD OPERATIONAL PARAMETERS AT THE BOTTOM LEVEL OF GUBKIN MINE

Technological solutions of ore loss reduction in interchamber pillars at bottom levels design of Gubkin mine are developed. Research based on physical (with the use of equivalent materials) and mathematical (finite element method) modelling has been carried out. The requirement for pilot work before industrial scale use is established.

Key words: ore loss reduction, pillar lining, rope rock bolts, partial pillar recovery, physical and mathematical modelling.

Борьба с потерями руды при подземной разработке месторождений полезных ископаемых стимулируется как дефицитом запасов, в том числе и железных руд, так и экономическими (повышение капиталоемкости продукции, снижение доходности) и социальными (занятость населения, стабильность инфраструктуры и др.) факторами. В настоящее

время потери руды в недрах при технологии, используемой на руднике им.Губкина, достигают 60 %, что приводит к значительному ресурсному и экономическому ущербу. При проектировании нового рудника для отработки нижних горизонтов Коробковского месторождения следует учитывать недопустимость роста потерь руды.

На руднике применяется этажно-камерная система разработки (рис.1). При существенных достоинствах этой технологии потери руды в целиках остаются значительными. Поэтому основным направлением снижения потерь руды является уменьшение ее запасов в междуканальных целиках. В настоящее время добычные работы ведутся на 125-м горизонте. Он находится в стадии доработки, поэтому предлагаемые способы снижения потерь руды в большей мере актуальны для нового горизонта (250 м).

Первый, предлагаемый к рассмотрению вариант снижения потерь руды, заключается в уменьшении ширины междуканальных целиков по короткой стороне камеры за счет внедрения в технологию способа крепления целика веерами тросовых штанг по границе его обнажения на всю длину (рис.2).

Второй вариант предполагает частичную выемку междуканального целика горизонтальными слоями с твердеющей закладкой и упрочнением его стенок горизонтальными тросовыми штангами (рис.3). Оба варианта были исследованы на физических моделях из эквивалентных материалов, а также с применением метода математического моделирования.

Физические модели отработки массива этажно-камерной системой (рис.4, 5)

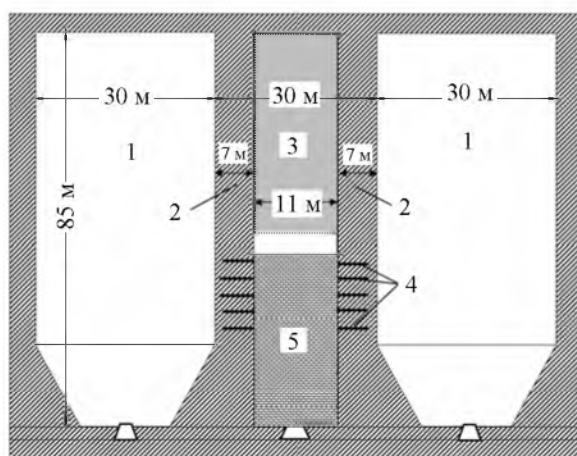


Рис.3. Принципиальная схема этажно-камерной системы разработки с частичной выемкой целиков

1 – очистная камера; 2 – стенки целика; 3 – частичная отработка междуканального целика; 4 – тросовые или прутковые железобетонные штанги; 5 – горизонтальные слои упрочненной закладки

базируются на теории подобия и теории размерностей.* Исследования на модели (рис.4) с упрочнением целиков веерами тросовых штанг показали возможность повышения коэффициента запаса прочности до 20 %. Этот результат обеспечивает возможность уменьшения ширины междуканального целика (МКЦ) до 20 м, т.е. снизить потери в каждом МКЦ на 60-90 тыс.т руды.

Результаты исследования частичной отработки целика в три этапа и дальнейшей отработки целика 5 при оставленных эталонных целиках 1, 2 и 4 (рис.5) позволяют считать безопасной эту технологию снижения потерь руды. При доработке целика 5 на всю его высоту коэффициент запаса прочности в целиках оставался не ниже нормативного (рис.6).

Для определения напряженно-деформационного состояния комбинированного целика, а также несущей способности оставленных стенок использован метод конечных элементов с применением программного комплекса Simulia Abaqus. Он позволил установить напряжения, возникающие в системе целик – закладка – целик. При ширине остаточных целиков 5, 6, 7 и 7,5 м относительные напряжения $\sigma/R_{сж}$ при $R_{сж} = 80$ МПа составили соответственно 0,71, 0,59, 0,52 и 0,48.

По данным компьютерного моделирования, коэффициент запаса прочности остаточных целиков шириной 5, 6, 7 и 7,5 м был рассчитан, согласно методическим указаниям по установлению размеров камер и целиков и составил соответственно 1,26, 1,51, 1,74 и 1,85.

Проектирование целика допустимо при выполнении условия $k_3 \geq k'_3$, где k'_3 – расчетно-нормативный коэффициент запаса прочности,

* Глушихин Ф.П. Моделирование в геомеханике / Ф.П.Глушихин, Г.Н.Кузнецов, М.Ф.Шклярский. М., 1991. 240 с.

Glushikhin F.P., Kuznetsov G.N., Shklyarskiy M.F. Simulation in geomechanics. Moscow, 1991. 240 p.

Кузнецов Г.Н. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н.Кузнецов, М.Н.Будько, Ю.И.Васильев. Л., 1968. 280 с.

Kuznetsov G.N., Budko M.N., Vasiljev Yu.I. Simulation of mining pressure occurrences. Leningrad, 1968. 280 p.

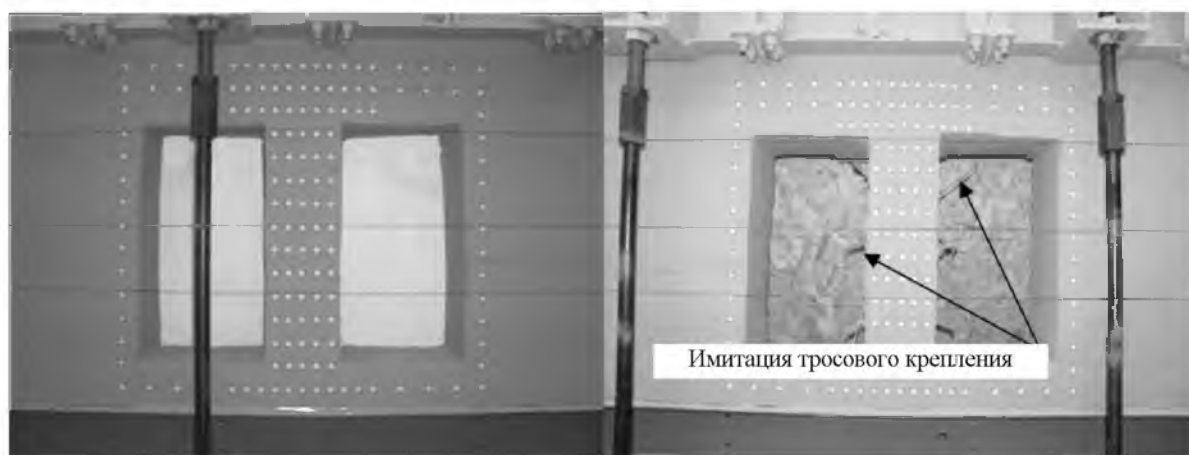


Рис.4. Отработка модели, упрочненной тросовыми штангами

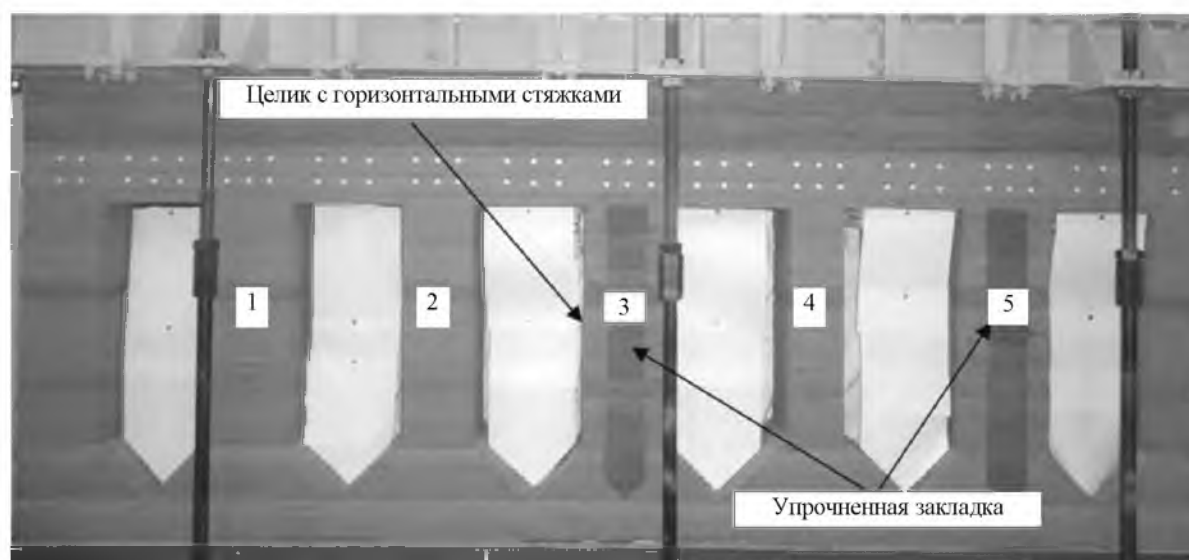


Рис. 5. Модель частичной отработки междуканальных целиков

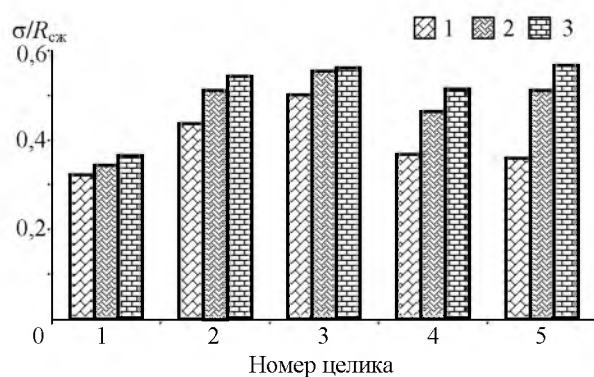
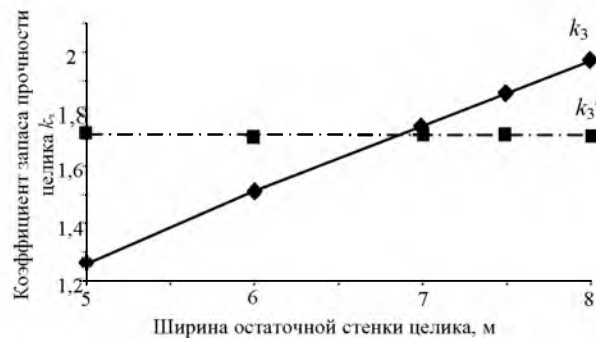


Рис. 6. Изменение отношения напряжений σ в целиках к их прочности на одноосное сжатие $R_{сж}$ на последней стадии частичной отработки целиков 3 и 5

1, 2 и 3 – стадии обработки целиков при закладке 33, 66 и 97 % соответственно



с. зникфцнта запаса прочности в зависимости от ширины остаточного целика

$$k'_3 = k_{31}k_{32}k_{33} = 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,2 = 1,73,$$

$k_{31} = 1,25$ – коэффициент, учитывающий вероятность изменения прочности пород целика; $k_{32} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий возможное уменьшение площади поперечного сечения целика в натуре по сравнению с проектной; $k_{33} = 1,2$ – коэффициент, учитывающий сейсмическое воздействие взрывов на целики.

При сопоставлении расчетных величин фактического коэффициента запаса прочности и нормативного была определена мини-

мально допустимая ширина стенки остаточного целика, равная 7 м (рис. 7).

Анализ данных физического и математического моделирования позволил сделать вывод о работоспособности предложенных технологий. Достаточно хорошую сходимость результатов моделирования, следует подтвердить натурными исследованиями. В связи с этим необходимо создание опытно-промышленного участка. Натурные исследования позволят судить о конечных параметрах ширины целиков и сетки их штангования.