УДК 622.831

Ю.А.КАШНИКОВ, *д-р техн. наук, профессор, geotech@pstu.ac.ru*
С.Г.АШИХМИН, *д-р техн. наук, доцент*
Д.В.ШУСТОВ, *ассистент*
Пермский государственный технический университет
А.И.АНАНИН, *канд. техн. наук, зам. директора*
ДГП «ВНИИцветмет», Усть-Каменогорск
А.Е.ФАНДЕЕВ, *менеджер*
СМК РГОК АО «Казцинк», Усть-Каменогорск

Yu.A.KASHNIKOV, *Dr. in eng. sc., professor, geotech@pstu.ac.ru*
S.G.ASHIKHMIN, *Dr. in eng. sc., associate professor*
D.V.SHUSTOV, *assistant*
The Permian State Technical University
A.I.ANANIN, *PhD in eng. sc., deputy director*
VNIItsvetmet, Ust-Kamenogorsk
A.E.FANDEEV, *manager*
Kazzinc Co., Ust-Kamenogorsk

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ РЕШЕНИИ ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ТИШИНСКОГО РУДНИКА

На Тишинском свинцово-цинковом месторождении ПермГТУ и ДГП «ВНИИЦВЕТМЕТ» были выполнены шахтные эксперименты по определению природного поля напряжений, в которых для увеличения базы измерений использовался метод наблюдений и последующей интерпретации деформаций массива при проходке горных выработок. Результаты исследований позволяют повысить эффективность и безопасность отработки глубоких горизонтов Тишинского рудника.

***Ключевые слова*:** тектонические поля напряжений, устойчивость горных выработок, инструментальные наблюдения, метод конечных элементов, повышение эффективности и безопасности горных работ.

THE USE OF DATA ON STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS IN SOLUTIONS OF MINING-AND-TECHNICAL TASKS ON THE EXAMPLE OF THE TISHIN ORE MINE

The Permion State Technical University and ASE «VNIItsvetmet» have carried out in situ measurements of stress-strain state at the Tishinsky lead-zinc ore deposit. Measurements and interpretation of deformations and stresses caused by excavation were used. Complex of researches made it possible to solve some important problems for safeguarding effective and secure ore production ore on deep level.

***Key words*:** tectonic stress fields, stability of mine workings, instrumental observations, finite elements method, higher efficiency and safety of mining operations.

При разработке Тишинского свинцово-цинкового месторождения (Республика Казахстан) возникает множество различных геомеханических проблем, которые в значительной степени связаны с наличием высоких тектонических полей напряжений в горном массиве. Это неустойчивость капитальных и подготовительных выработок, интен-

сивное развитие процессов сдвижения, динамические подвижки горного массива по тектоническим нарушениям.

Для решения данных проблем в ПермГТУ и ДГП «ВНИИЦВЕТМЕТ» организованы систематические инструментальные наблюдения за процессами сдвижения горного массива и земной поверхности, выполнены шахтные эксперименты по определению природного поля напряжений, разработана численная модель для расчета напряженно-деформированного состояния горного массива. Для изучения исходного поля напряжений использовался метод наблюдений за деформациями горных выработок в процессе их проходки, что позволяет получить интегральную характеристику поля деформаций на значительном участке горного массива и повысить надежность экспериментальных данных. В ходе экспериментов было установлено, что напряженное состояние массива близко к гидростатическому, т.е. горизонтальные напряжения приблизительно равны вертикальным. Полученные данные о параметрах поля напряжений позволили объяснить нарушения бетонной крепи ствола шахты «Тишинская» и были использованы в расчетах крепи подготовительных выработок на глубоких горизонтах. Учет тектонических напряжений в конечно-элементной модели месторождения позволил добиться хорошего соответствия расчетных смещений земной поверхности и горного массива с результатами замеров по профильным линиям реперов. Это дало возможность выполнить надежный прогноз дальнейшего развития процесса сдвижения для выбора мер охраны ответственных объектов.

В целом полученные данные о естественном поле напряжений в комплексе с другими видами исследований позволяют повысить эффективность и безопасность отработки руды на глубоких горизонтах Тишинского рудника.

Тишинское свинцово-цинковое месторождение представлено богатыми крутопадающими (угол падения 75-85°) рудными телами. Мощность рудной зоны на месторождении достигает 200 м при размерах по простиранию до 2 км. В толще вмещающих пород преобладают алевролиты и различные сланцы (карбонато-серицито-кварцевые, карбонато-серицитовые и др.), залегающие согласно с рудным телом. Также во вмещающих породах интенсивно развита трещиноватость, охватывающая весь диапазон углов и азимутов падения. Месторождение находится в гористой местности, абсолютные отметки поверхности колеблются от 640 до 750 м. Верхняя часть рудных тел до отметки 430 м (5-й горизонт) отработана карьером (рис.1), нижние горизонты отрабатываются подземным способом с закладкой выработанного пространства. В настоящее время добыча руды ведется на уровне 15-го горизонта (абс. отметка –170 м).

Тектоническое строение региона и многочисленные косвенные признаки указывают на наличие тектонических полей напряжений в горном массиве. В выработках по простиранию рудного тела в кровле имеются вывалы клиновидной формы; при наличии набрызгбетонной крепи имеет место разрушение ее сплошности и надвиг нарушенных частей друг на друга. Наличие слабых рассланцованных пород и высоких тектонических напряжений приводит к интенсивному развитию процессов сдвижения горных пород и земной поверхности, неустойчивости капитальных и подготовительных горных выработок.

Для контроля за развитием процессов сдвижения создана наблюдательная станция, которая состоит из поверхностной линии реперов и пяти подземных профильных линий (рис.1). Все линии расположены приблизительно в одной вертикальной плоскости, что позволяет проследить развитие деформационных процессов от 11-го горизонта до земной поверхности [2]. Многолетние инструментальные наблюдения на данной станции показывают заметное преобладание горизонтальных сдвижений и деформаций над вертикальными, концентрации горизонтальных деформаций на значительном удалении от выработанного пространства, динамические подвижки горного массива. Указанные признаки характерны для месторождений, на которых присутствуют тектонические поля напряжений.

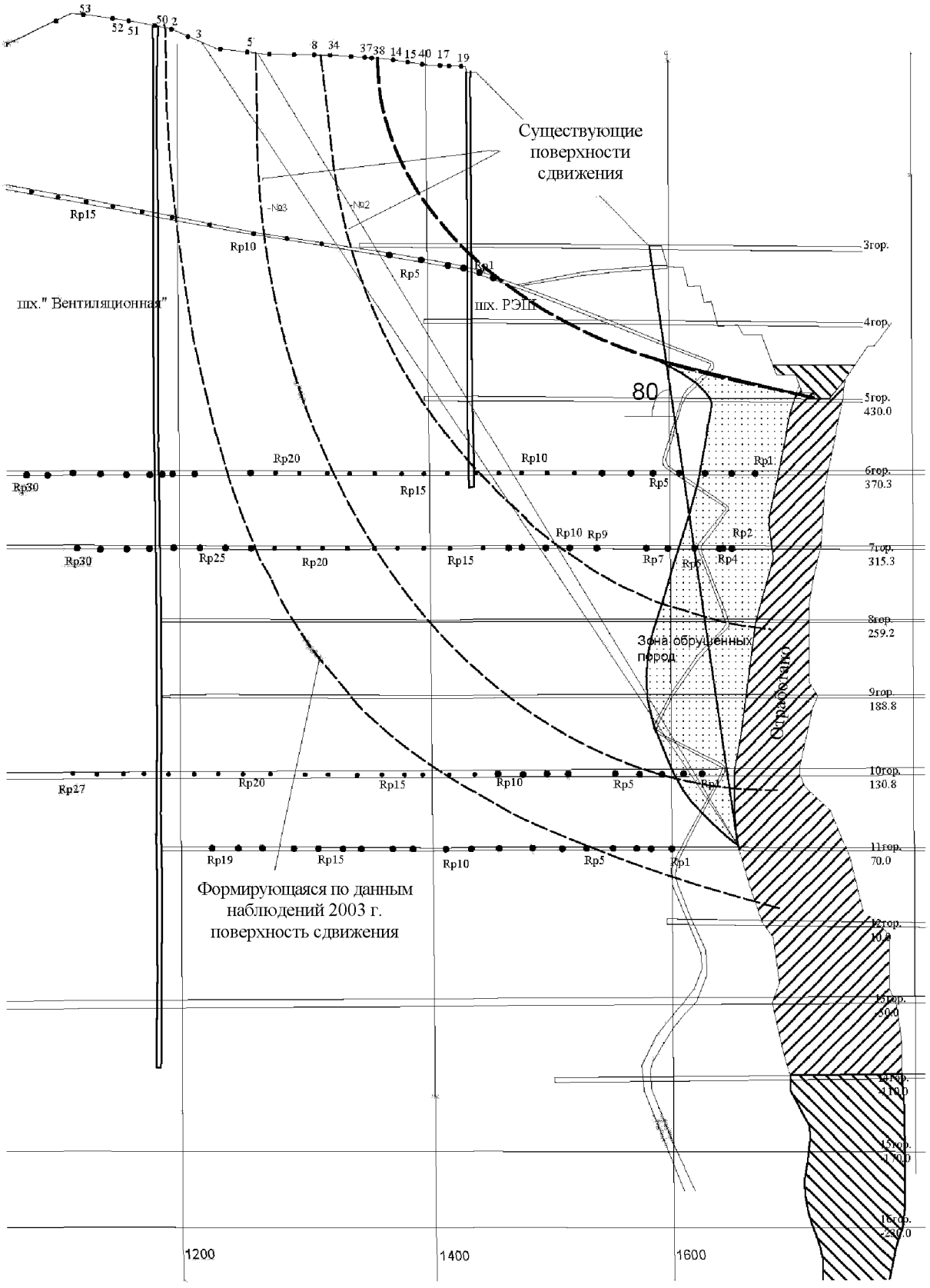


Рис.1. Наблюдательная станция за сдвижением горных пород на южном фланге Тишинского месторождения

Для получения надежных данных о параметрах исходного поля напряжений ПермГТУ и ДГП «ВНИИЦВЕТМЕТ» были выполнены шахтные эксперименты на горизонтах 11 и 14 Тишинского рудника. Использовался метод наблюдений за деформациями горных выработок в процессе их проходки [3], который дает интегральную характеристику поля деформаций на значительном участке горного массива и повышает надежность экспериментальных данных. В ходе экспериментов было установлено, что на уровне горизонтов 11-14 напряженное состояние близко к гидростатическому, т.е. горизонтальные напряжения в массиве приблизительно равны вертикальным [1].

Полученные данные позволили объяснить нарушения бетонной крепи ствола шахты «Тишинская» и деформации расстрелов, зафиксированные в районе 16-го горизонта. На этом участке в крепи ствола образовалась трещина с раскрытием до 10 мм и расстояние между противоположными проводниками уменьшилось по сравнению с проектным на 1-5 см. Было установлено, что причиной разрушения крепи не могли стать низкое качество бетона или тектоническая нарушенность массива. Как показали численные расчеты НДС горного массива и крепи, в геостатическом поле напряжений крепь ствола находится в устойчивом состоянии. Однако в случае гидростатического тензора исходных напряжений запас прочности становится недостаточным и в бетонной крепи возникают зоны предельного состояния (рис.2).

Расчеты показывают наибольшую концентрацию напряжений в той части крепи, где было зафиксировано ее разрушение. Кроме того, расчетные деформации армировки ствола оказались близки к фактическим. Результаты данных расчетов были использованы для прогноза дальнейшего состояния ствола, разработки мероприятий по обеспечению его устойчивости и в целом для обоснования параметров крепи подготовительных выработок. Параметры естественного поля напряжений и результаты инструментальных наблюдений по профильным линиям также были использованы для

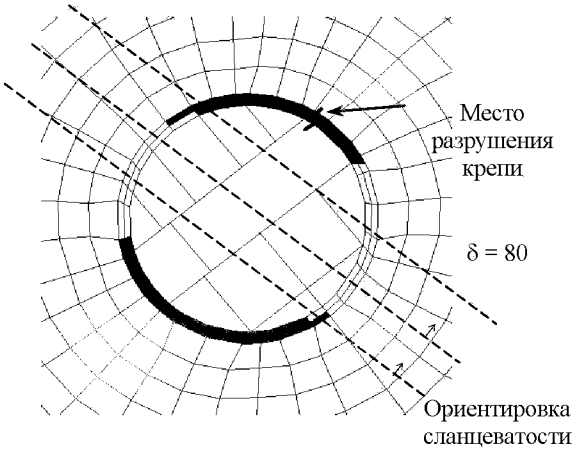


Рис.2. Зоны предельного состояния бетонной крепи ствола шахты «Тишинская» в гидростатическом тензоре исходных напряжений

прогноза напряженно-деформированного состояния горного массива при отработке руды до 21-го горизонта. Применялась однородная упруговязкопластическая модель трещиноватого скального массива В.Виттке [2, 3], основанная на решении уравнения

$$\{\dot{\delta}_т\} = \frac{1}{\eta} F_s \left\{ \frac{\partial Q_s}{\partial \sigma_т} \right\}, \qquad (1)$$

где $\{\sigma_т\} = \begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_r \end{Bmatrix}$ – нормальные и касательные напряжения в плоскости трещины; $\{\dot{\delta}_т\} = \begin{Bmatrix} \dot{\delta}_n \\ \dot{\delta}_s \end{Bmatrix}$ – вектор скорости вязкопластических нормальных и касательных смещений по трещине; F_s – критерий разрушения в плоскости трещины; η – вязкость материала, заполняющего поверхность раздела; Q_s – пластический потенциал.

Расчеты показали, что тектонические напряжения оказывают значительное влияние на величины горизонтальных сдвижений массива. Особенно четко это проявляется вблизи рудного тела. Характерно, что в данном случае учет тектонических напряжений позволяет добиться хорошего соответствия расчетных смещений с замеренными по профильным линиям реперов. Это дает возможность выполнить надежный прогноз развития процесса сдвижения при дальней-

шей отработке месторождения на глубоких горизонтах. Основной вывод заключается в том, что при отработке руды до 21-го горизонта зона плавных сдвижений и, возможно, зона опасных деформаций захватят наиболее ответственный из подрабатываемых объектов – ствол «Вентиляционный». Однако величины деформаций, хотя и могут превысить допустимые значения, при своевременном контроле их развития и применении конструктивных мер охраны не должны привести к выводу ствола шахты и сооружений подъемного комплекса из эксплуатации.

Выполненный комплекс аналитических и экспериментальных работ обеспечивает надежное геомеханическое сопровождение горных работ на Тишинском руднике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Напряженно-деформированное состояние горного массива Тишинского свинцово-цинкового месторождения / Ю.А.Кашников, С.Г.Ашихмин, А.Е.Фандеев, А.И.Ананин // Труды XIII Международного конгресса по маркшейдерскому делу. Будапешт, 2007.

2. Сдвижение горных пород и охрана объектов на Тишинском руднике / Ю.А.Кашников, С.Г.Ашихмин, С.Н.Кутовой, С.С.Царев, А.Е.Фандеев // Маркшейдерский вестник. 1996. № 1.

3. Wittke, W. 1990. Rock Mechanics, Theory and Applications with Case Histories, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, Hongkong, Barcelona.

REFERENCES

1. Stress-strain state of rock mass of the Tishin lead-zinc deposit / Yu.A.Kashnikov, S.G.Ashikhmin, A.E.Fandeev, A.I.Ananin // Proc.XIII Int.Congress on Mine Surveying. Budapest, 2007.

2. Rock movements and protection of objects at the Tishin ore mine / Yu.A.Kashnikov, S.G.Ashikhmin, S.N.Kutovoy, S.S.Tsarev and A.E.Fandeev // Surveying Vestnik. 1996. № 1.

3. Wittke, W. 1990. Rock Mechanics, Theory and Applications with Case Histories, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, Hongkong, Barcelona.