

УДК 622.83

Сашурин Анатолий Дмитриевич

доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: sashour@igd.uran.ru

Бермухамбетов Валихан Айдарович

кандидат технических наук,
директор Департамента геомеханики,
ТОО «НИИЦ ERG»,
Республика Казахстан, г. Астана,
пр. Кабанбай батыра, 30 «А»
e-mail: Valikhan.Bermukhambetov@erg.kz

Панжин Андрей Алексеевич

кандидат технических наук,
ученый секретарь,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: panzhin@igduran.ru

Усанов Сергей Валерьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: usv@igduran.ru

Боликов Владимир Егорович

доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: bolik@igduran.ru

**ВОЗДЕЙСТВИЕ СОВРЕМЕННЫХ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ НА
УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ****Аннотация:*

Прогнозная оценка устойчивости бортов карьеров в классическом подходе производится исходя из условия формирования оползневых поверхностей скольжения под воздействием собственного веса пород, контурных ими. На практике, кроме оползневых процессов, наблюдаются различные варианты нарушений первичного состояния массива горных пород и потери устойчивости бортов карьеров, обусловленные неоднородностью напряженно-деформированного состояния и блочной структурой. Особую опасность представляют зоны концентрации сжимающих напряжений, возникающие под воздействием современных геодинамических движений. В работе рассмотрены методы натурных исследований параметров современных геодинамических движений с использованием технологий спутниковой геодезии и методы построения с их использованием полей напряженно-деформированного состояния, учитываемого при оценке устойчивости бортов карьеров.

Ключевые слова: устойчивость, борт карьера, закономерности, формирование, напряженно-деформированное состояние, современные геодинамические движения

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.038

Sashourin Anatoly D.

doctor of technical sciences,
chief researcher.
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: sashour@igd.uran.ru

Bermukhambetov Valikhan A.

candidate of technical sciences,
Director of the Department of geo-mechanics,
Eurasian Resources Group,
Astana, Kazakhstan,
30 «A» Kabanbaybatir av.
e-mail: Valikhan.Bermukhambetov@erg.kz

Panzhin Andrey A.

candidate of technical sciences,
academic secretary,
The Institute of Mining UB RAS,
e-mail: panzhin@igduran.ru

Usanov Sergey V.

candidate of technical sciences,
laboratory chief,
The Institute of Mining UB RAS,
e-mail: usv@igduran.ru

Bolikov Vladimir E.

doctor of technical sciences,
chief researcher,
The Institute of Mining UB RAS,
e-mail: bolik@igduran.ru

**THE IMPACT OF UP-TO-DATE
GEO-DYNAMIC MOVEMENTS
ON THE STABILITY OF PIT'S EDGES***Abstract:*

The forecasting stability estimate of pits' edges in classical approach is carried out in terms of landslide sliding surfaces formation under the influence of its own rocks weight that are mapped by them.. In practice, except landslide processes different variants of primary rock mass state failure are observed.. State violations of rocks and pits' edges arising from the heterogeneity of the stress-deformed state and block structure are watched. Particular dangers are presented by compressive stress concentration zones, occurring under the influence of modern geodynamic movements. The paper considers the methods of field research parameters of up-to-date geo-dynamic movements using satellite geodesy technology and methods to plot fields of stressed-deformed state when estimating pit' edges stability.

Key words: stability, open pit edge, regularities, formation, stressed-deformed state, up-to-date geo-dynamic movements

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-1700. Тема № 0405-2015-0012. Тема 3

Прогнозные оценки устойчивости бортов карьеров при их проектировании, строительстве и эксплуатации основываются на общепринятых представлениях о механизме, процессах и явлениях, сопровождающих нарушения устойчивости, заложенных в середине прошлого века Г.Л. Фисенко в теоретические методы расчета [1]. Определяющими факторами, учитываемыми при проведении прогнозных расчетов и оценок устойчивости бортов карьеров, являлись вес массива горных пород, вовлекаемого в предполагаемую призму сдвижения, и физико-механические свойства пород по предполагаемой плоскости сползания, сводящиеся в конечном итоге к углу внутреннего трения и сцеплению. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород, ни исходное, существовавшее до образования карьера, ни вторичное, формирующееся в области влияния карьера, в расчетах и прогнозных оценках не находило отражения. Это объясняется, главным образом, теми представлениями о природном напряженном состоянии массива горных пород, существовавшими на тот период, в соответствии с которыми напряженное состояние массива горных пород однородно, изотропно и определяется глубиной залегания и весом налегающих пород.

Относительно прогнозных расчетов отвалов такой подход не вызывает противоречий. В отвальной массе, по крайней мере, в масштабах рассчитываемых откосов и уступов отвалов напряженное состояние действительно соответствует принятой версии, и расчеты на ее основе могут отражать реальную ситуацию.

За более чем полувековой период, прошедший с момента создания действующих методов оценки устойчивости бортов карьеров, в исследовании напряженно-деформированного состояния массивов горных пород пройдена огромная дистанция, изменившая представление о его формировании в природных условиях и в областях влияния техногенной деятельности [2, 3]. Результаты исследований показали, что параметры и структура напряженно-деформированного состояния являются одними из основных факторов, определяющих разрушения массива горных пород во всех сферах горного производства, в том числе и в обеспечении устойчивости бортов карьеров [4 – 6].

Исследованиями установлено, во-первых, что массив горных пород представляет собой иерархически блочную среду, во-вторых, что эта среда находится в постоянном движении под воздействием современных геодинамических движений земной коры и, в-третьих, что, вследствие этих двух фундаментальных свойств массива горных пород, в нем происходит вторичное структурирование с образованием временно консолидированных блоков [7]. В итоге, в массиве горных пород формируется дискретное, неоднородное, мозаичное напряженно-деформированное состояние, в котором имеет место и анизотропия с большой разницей величин главных напряжений, и разная направленность действия напряжений на различных участках, и многие другие отличия от принятых в расчетных оценках положений, определяющие состояние и поведение массива горных пород [2, 7].

К сожалению, результаты исследований формирования напряженно-деформированного состояния до настоящего времени не нашли отражения в расчетных методах оценки устойчивости бортов карьеров.

При образовании в изначально напряженном массиве горных пород карьерной выемки, в соответствии с основными положениями теории упругости, происходит перераспределение напряжений, сопровождающееся деформациями и формированием вторичного напряженно-деформированного состояния. Данные деформации имеют ограниченное распространение и затрагивают, в основном, только прибортовой массив, при этом зона распространения деформаций в глубь массива составляет первые сотни метров.

Определение параметров исходного и вторичного напряженно-деформированного состояния осуществляется построением геомеханической модели разрабатываемого месторождения на основе данных повторных натурных инструментальных опреде-

лений пространственных координат пунктов маркшейдерско-геодезической сети, расположенных в непосредственной близости от карьера. Сопоставление современных пространственных координат сети с координатами, определенными на предыдущем этапе работы, позволяет определить полные 3D векторы, представляющие собой трендовые геодинамические движения геодезических пунктов за этот период. Площадное распределение пунктов геодезической сети позволяет по величинам полных векторов геодинамических движений определить фактические деформации массива горных пород в области влияния карьера и их ориентации в пространстве и вычислить компоненты тензоров напряжений, связанных с этими деформациями, и их пространственную ориентировку.

Построение геомеханической модели вторичного напряженно-деформированного состояния прибортового массива производится путем разбивки исследуемого участка на сеть единичных треугольных элементов, пространственные координаты вершин которых определены с высокой точностью для каждой серии измерений. Для каждого треугольного элемента определяются суммарные сдвиги каждого треугольного элемента как среднее значение смещения реперов, являющихся его вершинами; компоненты тензоров горизонтальных деформаций; первый инвариант тензора горизонтальных деформаций как сумма максимальных деформаций.

В графическом виде результаты, описывающие деформационные процессы, происходящие в прибортовом массиве горных пород, в виде первого инварианта главных деформаций $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$, представлены на рис. 1. В данном случае поле приращения деформаций имеет мозаичное строение с чередованием областей сжатия (концентрации) и областей растяжения (депрессии) с концентрацией повышенных градиентов деформаций на локальных участках. Таким образом, вторичное напряженно-деформированное состояние прибортового массива горных пород имеет весьма неоднородное строение, с параметрами которого и с их распределением по карьере связана как повышенная обводненность породного массива в зоне растягивающих деформаций, так и устойчивость бортов карьера.

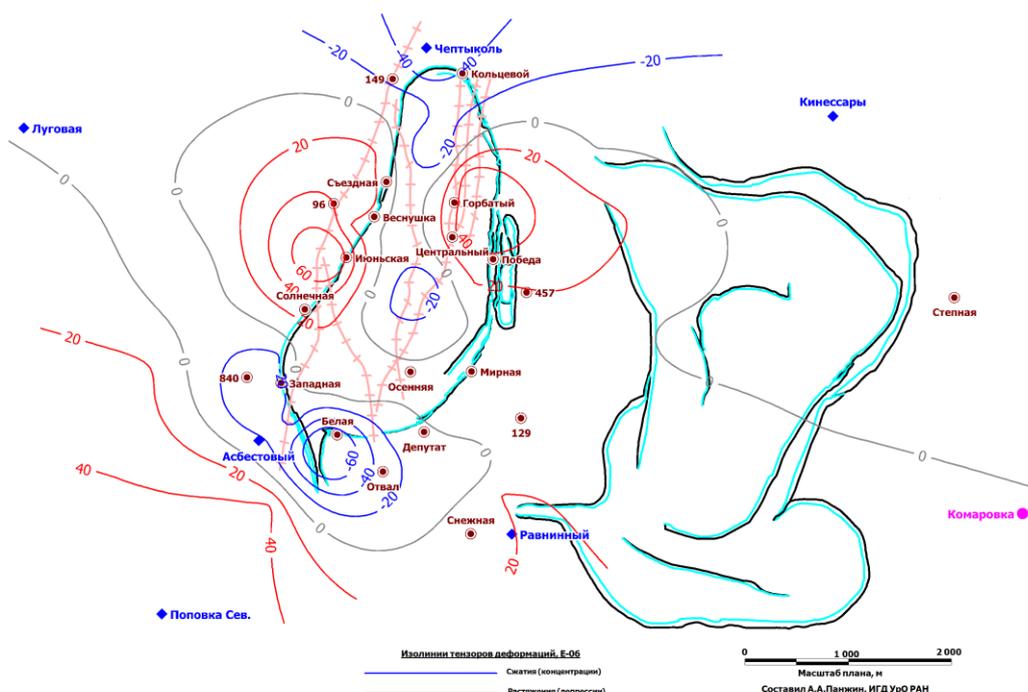


Рис. 1 – Изолинии первого инварианта горизонтальных деформаций $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$

Оценка исходного напряженно-деформированного состояния массива осуществляется на основе анализа приращений тектонических напряжений, а также геомеханического моделирования смещений и деформаций, зафиксированных инструментальными методами в прибортовом массиве горных пород карьера.

Параметры исходного поля тектонических напряжений определяются с использованием принципа модифицированной «щелевой разгрузки», при котором в качестве разгрузочной области используется выработанное пространство карьера с известными геометрическими формой и размерами. Граничные условия в первом приближении представляют собой модуль упругости массива на больших базах, сопоставимых с конструктивными элементами карьера, и интегральные значения первоначальных тектонических напряжений с азимутом действия, типичным для условий района месторождения. Для принятых граничных условий и геометрических параметров карьера методом конечных элементов (МКЭ) отстраивается геомеханическая модель, приведенная на рис. 2.

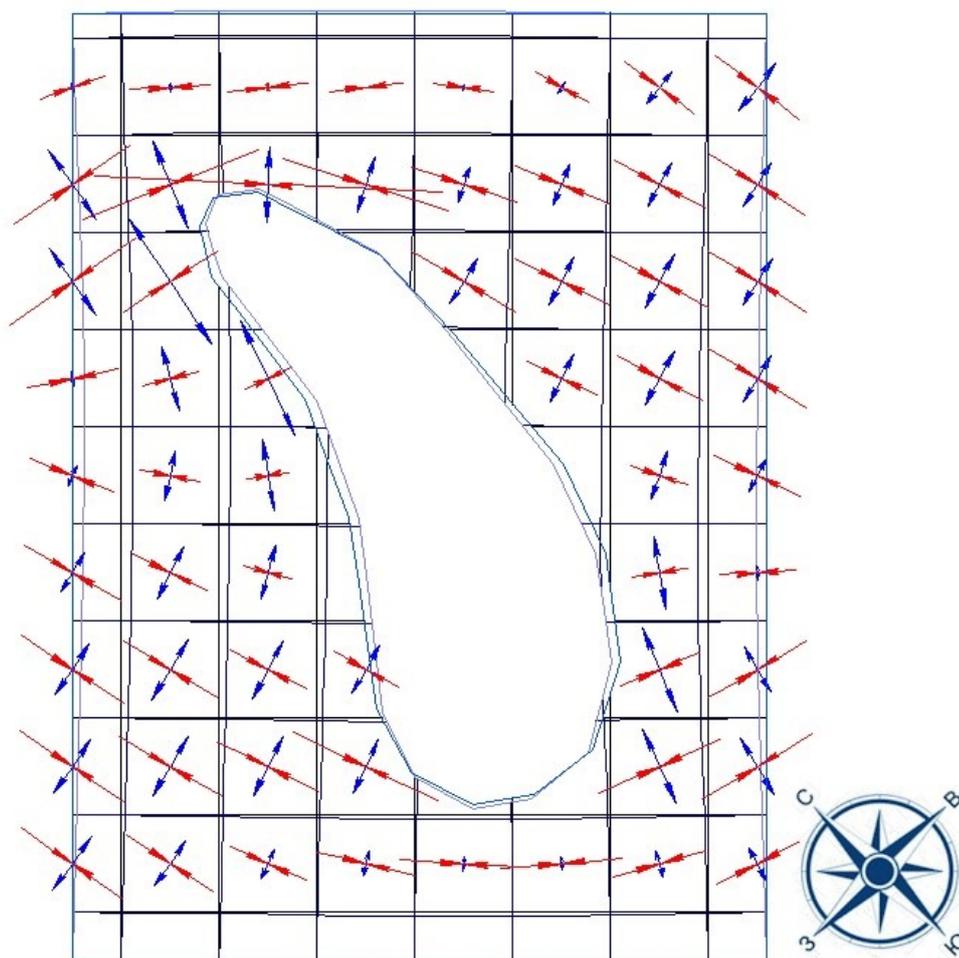


Рис. 2 – Смоделированные тензоры деформаций прибортового массива для начальных граничных условий

На первом этапе моделирования устанавливается качественное соответствие картин распределения сдвижений и деформаций геомеханической модели фактическим данным. Для более полного соответствия модельных величин исходных тектонических напряжений фактическим корректируются принятые в первом приближении граничные условия. В итоге, методом последовательных приближений, при достижении условия минимума квадрата отклонений фактических и модельных данных, определяются наиболее вероятные значения исходных тектонических напряжений, действующих в прибортовом массиве.

Характер нарушения бортов карьера в зонах концентрации сжимающих горизонтальных напряжений и деформаций показан на рис. 3. Трещина сдвигового происхождения распространилась по берме на 120 м с раскрытием до 6 м. В отколовшейся части борта инструментально не зафиксированы оседания.



Рис. 3 – Характер нарушения борта карьера на участке концентрации сжимающих деформаций

Таким образом, вышеприведенные данные об исходном и вторичном напряженно-деформированном состоянии прибортового массива используются для качественного и количественного геомеханического моделирования устойчивости уступов и бортов карьера – коэффициента запаса устойчивости. Практика применения рассмотренной методики свидетельствует о приверженности проблемных по устойчивости участков бортов карьеров к зонам аномальных значений параметров напряженно-деформированного состояния.

Литература

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г.Л. Фисенко. – М: Недра, 1965. – 378 с.
2. Сашурин А.Д. Современные геодинамические движения и их роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Геомеханика в горном деле. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. - С. 3 - 12.
3. Мельник В.В. Основы создания базы экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений / В.В. Мельник, А.С. Ведерников // Проблемы недропользования. - 2016. - № 1 (8). - С. 35 – 40.
4. Сашурин А.Д. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в целях безопасной эксплуатации транспортных берм / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, В.В. Мельник / Безопасность труда в промышленности. - 2016. - № 7. - С. 28 - 33.
5. Сашурин А.Д. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм / Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, В.В. Мельник. - 2016. - Т. 14. - № 3. – С. 5 – 12.
6. Сашурин А.Д. Обеспечение устойчивости бортов карьеров / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, В.В. Мельник // Горный журнал Казахстана. - 2016. - № 5. - С. 19 - 23.
7. Мельник В.В. Исследование процессов вторичного структурирования массива горных пород и их роли в формировании аварийных ситуаций природно-техногенного характера / В.В. Мельник, А.Л. Пустуев // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 6 – 1 (37). - С. 105 – 108.