

УДК 622.83:624.131.5

ВЛИЯНИЕ УГЛА СКЛОНА НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ СМЕЩЕНИЙ ПРИБОРОВОГО МАССИВА В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ

Асилова Зульфия Атамырзаевна,
к.т.н., доцент, Жалал-Абадский международный университет,
E-mail: asilova.zulfiya@mail.ru

АР КАНДАЙ ЗОНАЛАРДАГЫ ПРИБОР МАССИВИНИН ЖЫЛЫШУУЛАРЫНЫН СЫЗЫКТУУ ӨЛЧӨМДӨРҮНӨ ЖАНТАЙЫШ БУРЧУНУН ТААСИРИ

Асилова Зульфия Атамырзаевна,
т.и.к., доцент, Жалал-Абад эл аралык университети

INFLUENCE OF SLOPE ANGLE ON LINEAR DIMENSIONS OF INSTRUMENT ARRAY DISPLACEMENTS IN VARIOUS ZONES

Asilova Zulfiia Atamyrzaevna,
Ph.D. Associate Professor, Senior Researcher at Jalal-Abad International University

Аннотация. В работе рассмотрено влияние угла наклона склона на распределение линейных смещений в приборовом массиве. Для анализа использован метод конечных элементов, позволивший выполнить численные расчёты и определить характер изменения горизонтальных и вертикальных смещений массива горных пород при варьировании крутизны склона. Построены распределения смещений в различных зонах приборового массива, включая зону запредельного состояния, остаточной прочности, допредельного и естественного состояния. Установлено, что увеличение угла наклона склона приводит к перераспределению напряжений и смещений вглубь массива, что оказывает значительное влияние на его устойчивость. Полученные результаты позволяют более обоснованно оценивать устойчивость бортов карьера, прогнозировать развитие деформаций, а также разрабатывать превентивные мероприятия по предупреждению аварийных геомеханических процессов в условиях эксплуатации нагорных месторождений открытым способом.

Ключевые слова: приборовый массив, линейные смещения, угол наклона склона, численное моделирование.

Аннотация. Макалада ор массивинде сызыктуу жылышуулардын бөлүштүрүлүшүнө жантайыш бурчунун таасирин карады. Талдоо үчүн сандык эсептөөлөрдү жүргүзүүгө жана эңкейиштин тиктигин өзгөртүү учурунда тоо тектеринин массивинин горизонталдык жана вертикалдык жылышууларынын мүнөзүн аныктоого мүмкүндүк берген чектүү элементтердин ыкмасы колдонулган. Прибор массивинин ар кандай зоналарында жылышуулардын бөлүштүрүлүшү, анын ичинде чектик абал, калдык бекемдик, чектикке чейинки жана табигый абал зонасы курулган. Эңкейиштин бурчунун көбөйүшү массивдин ичине стресстин жана жылышуунун кайра бөлүштүрүлүшүнө алып келет, бул анын туруктуулугуна олуттуу таасир этет. Алынган натыйжалар карьердин бортунун туруктуулугун кыйла негиздүү баалоого, деформациялардын өнүгүшүн болжолдоого, ошондой эле тоолуу кендерди ачык ыкма менен эксплуатациялоо шарттарында авариялык геомеханикалык процесстердин алдын алуу боюнча алдын алуу иш-чараларын иштеп чыгууга мүмкүндүк берет.

Негизги сөздөр: инструмент массиви, сызыктуу жылышуулар, эңкейиш бурчу, сандык моделдөө.

Annotation. The paper considers the influence of the slope angle on the distribution of linear displacements in the instrument array. The finite element method was used for the analysis, which made it possible to perform numerical calculations and determine the nature of changes in the horizontal and vertical displacements of the rock mass with varying slope steepness. Displacement distributions are plotted in various zones of the instrument array, including the zone of the outermost state, residual strength, pre-limit and natural state. It has been established that an increase in the slope angle leads to a redistribution of stresses and displacements deep into the massif, which has a significant impact on its stability. The results obtained make it possible to more reasonably assess the stability of the sides of the quarry, predict the development of deformations, and develop preventive measures to prevent emergency geomechanical processes in the conditions of open-pit mining.

Key words: instrument array, linear displacements, slope angle, numerical modeling.

Введение. Освоение нагорных месторождений открытым способом сопровождается необходимостью формирования устойчивых откосов карьеров в сложных геомеханических условиях. Одним из основных параметров, определяющих напряжённо-деформированное состояние (НДС) прибортового массива, является угол наклона склона. Изменение крутизны склона непосредственно влияет на распределение напряжений и деформаций, а также на характер развития смещений в массиве горных пород.

Современные методы численного моделирования позволяют провести комплексный анализ влияния геометрических параметров склона на формирование зон деформаций и предельных смещений.

В работах [1,2,3] авторы с помощью компьютерных программ исследовали влияние геометрических параметров на коэффициент устойчивости, а также проводили численное моделирование склонов с определением влияния параметров склона на напряженно-деформированное состояние, но изучению поведения горизонтальных и вертикальных смещений с увеличением угла наклона склона не уделялось должного внимания.

Целью данной работы является исследование влияния угла склона на линейные размеры смещений в прибортовом массиве горных пород с учётом его зонального распределения. Задачами исследования являются: построение геомеханических моделей для различных углов наклона склона, анализ распределения смещений по глубине массива и выделение закономерностей распределения горизонтальных и вертикальных смещений.

Методика исследований. Для оценки влияния угла наклона откоса на линейные размеры смещений в прибортовом массиве была применена методика численного моделирования напряжённо-деформированного состояния горных пород с использованием программы Phase2 (Rocscience Inc.) на основе метода конечных элементов. Моделирование проводилось в плоской постановке с допущением плоской деформации.

Геометрические параметры модели. Модель включала склон он же прибортовый массив, и основание. Высота склона принималась постоянной и составила $H=500$ м, при этом угол наклона склона α варьировался от 20° до 35° с шагом 5° . Длина модели в горизонтальном направлении составила $L=1100$ метров. Расчетная модели склона приведена на рис 1.

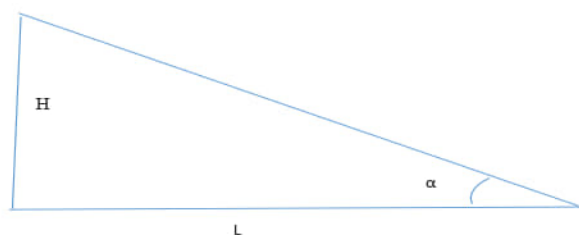


Рисунок 1. Расчетная модель для численного моделирования смещений склона

Физико-механические свойства. Для моделирования использовались усреднённые значения физических и механических характеристик мраморизированных известняков.

ные значения физических и механических характеристик мраморизированных известняков.

Таблица 1. Расчетные свойства горных пород

Горная порода	Удельный вес склона, $\gamma(\text{МН/м}^3)$	Угол внутреннего трения, (град)	Прочность на растяжение, МПа	Сцепление, Мпа	Модуль Юнга, МПа
Мраморизованный известняк	0,026	31	3	3,57	500

Граничные условия. Нагрузки задавались в виде собственного веса массива. Нижняя граница модели фиксировалась по

вертикали и горизонтали что обеспечивало распределение напряжений и свободное развитие деформаций в вертикальном направлении.

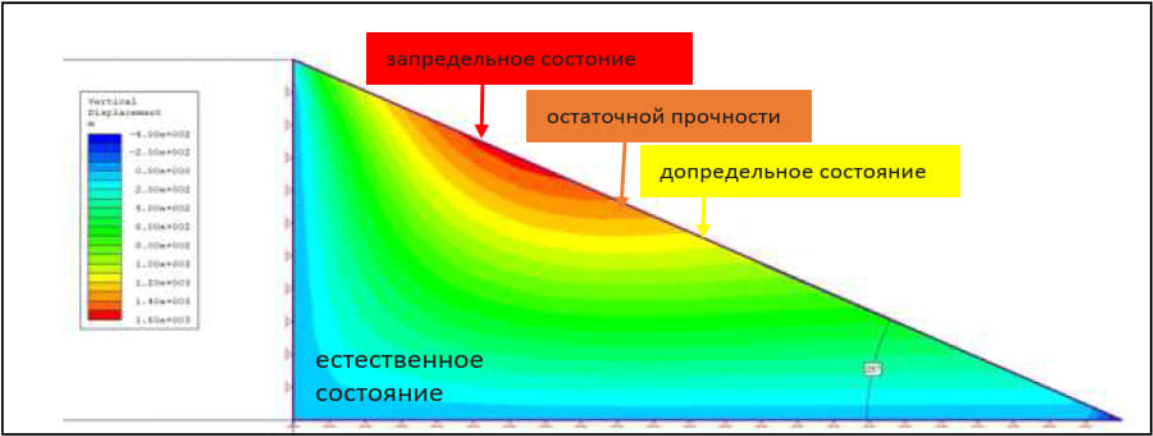


Рисунок 2. Распределение зон смещений прибортового массива горных пород

Результаты исследований. Проведен численный анализ распределения горизонтальных и вертикальных смещений склона,

с целью определения оценки влияния угла наклона склона на распределение смещений по зонам. Результаты моделирования приведены на рисунках 3, 4, 5.

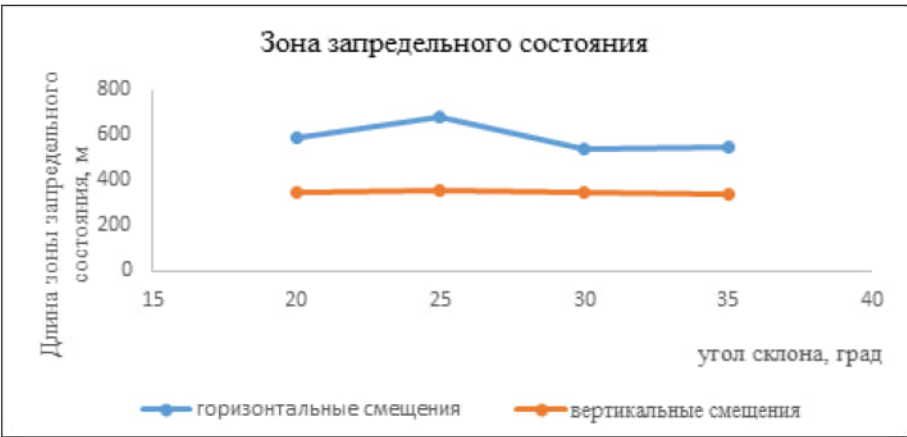


Рисунок 3. Зависимость зоны запредельного состояния от угла склона

В результате моделирования горизонтальных и вертикальных смещений (рис.3.) выявлено, что при увеличении угла откоса с 20° до 25° наблюдается увеличение зоны **горизонтальных смещений** 580 м. до 670 м., что указывает на увеличение значений горизонтальных смещений. При дальнейшем увеличении угла до 30° и 35° происходит снижение значений до 550–560 м., что может быть

связано с перераспределением напряжений и частичной разгрузкой массива.

Вертикальные смещения характеризуют более стабильный характер, изменяясь в пределах 340–370 метров. Это говорит о том, что вертикальные деформации менее чувствительны к увеличению крутизны откоса в условиях запредельного состояния массива.

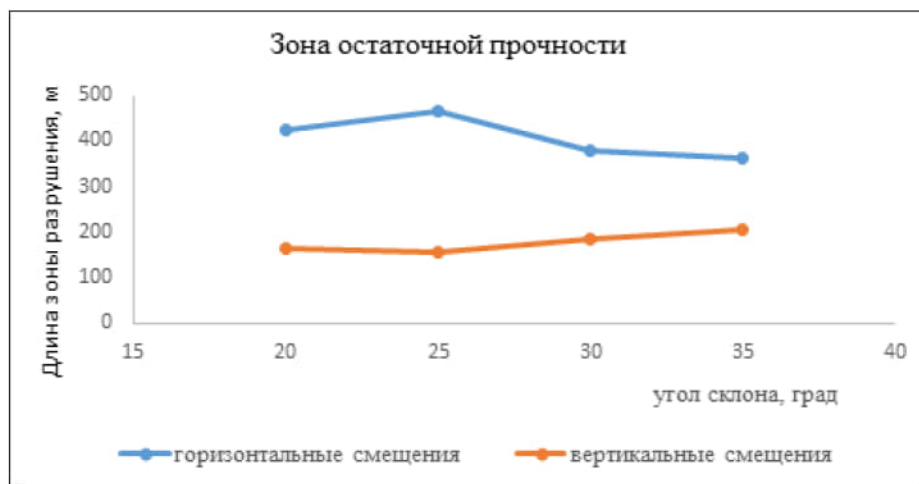


Рисунок. 4. Зависимость зоны остаточной прочности от угла склона

В результате моделирования горизонтальных и вертикальных смещений (рис.4.) выявлено, что в зоне остаточной прочности линейные размеры горизонтальных смещений достигают максимума при угле 25° (470 м.), после чего снижаются до 350 м. при угле 35° , что указывает на возможное перерас-

пределение остаточных напряжений и частичную стабилизацию массива.

Вертикальные смещения характеризуют тенденцию к увеличению при росте угла наклона, достигая максимума при 35° , что может быть следствием ослабления несущей способности массива.

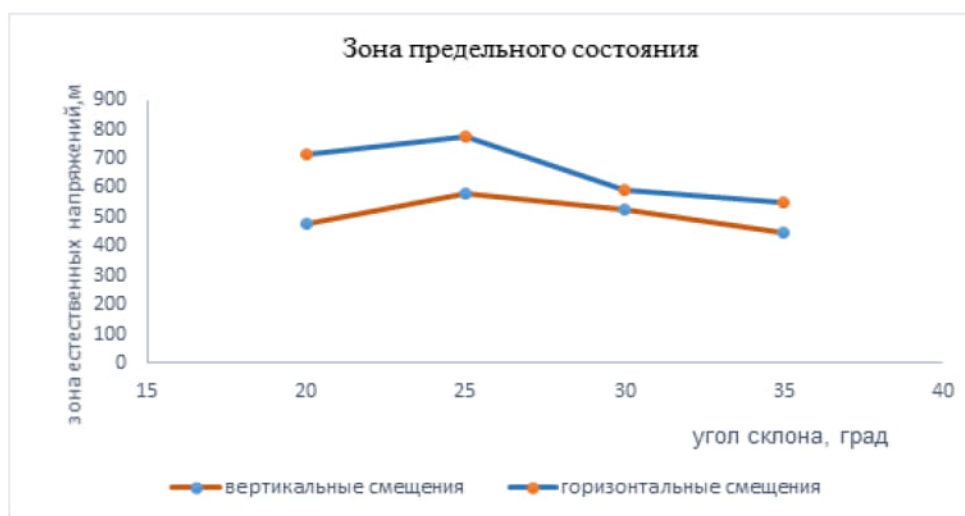


Рисунок 5. Зависимость зоны естественных напряжений от угла откоса

В результате моделирования горизонтальных и вертикальных смещений (рис.5.) выявлено, что в зоне предельного состояния вертикальные и горизонтальные смещения имеют сходную траекторию изменения, с максимумом при угле 25° (вертикальные 580 м., горизонтальные 790 усл. ед.). После 25° наблюдается плавное снижение обоих компонентов, что может быть связано с нарушением равновесия массива.

На графике видно, что вертикальные перемещения на начальных стадиях (20° – 25°) ниже горизонтальных, однако их прирост пропорционально выше.

Выводы

1. Выявлено, что в распределении горизонтальных и вертикальных смещений в зоне запредельного состояния, основную

роль в формировании смещений играют горизонтальные компоненты, связанные с развитием пластических течений вблизи предела прочности. Угол 25° является критическим по величине смещений.

2. Установлено, что в зоне остаточной прочности горизонтальные смещения имеют более выраженную зависимость от геометрии откоса, тогда как вертикальные смещения нарастают с увеличением угла, отражая прогрессирующее разрушение структуры массива.

3. Оценено, что в предельной зоне наиболее выражено взаимное влияние вертикальных и горизонтальных деформаций. Угол 25° соответствует пику напряжённого состояния, после чего вероятен сдвиг к остаточной прочности и перераспределение напряжений.

Список литературы

1. Griffiths D.V., Lane P.A. Slope stability analysis by finite elements / *Geotechnique*. 1999. Vol. 49, No. 3. P. 387–403.
2. Cheng Y.M., Lau C.K. Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight. CRC Press, 2008. — 340 p.
3. Zhong S., Zhang H., et al. Stability evaluation of slope in open-pit mine under rainfall and seismic coupling / *Int. J. of Mining Science and Technology*. 2023.
4. Shiferaw D., Measho Y. Numerical slope stability analysis using FEM in PLAXIS // Beni-Suef Univ. Journal of Basic and Applied Sciences. 2021.
5. Бабелло В.А. Бейдин А.В., Освейчук В.А., Смолич С.В. Оценка состояния горного массива на основе анализа горно-геологической обстановки и моделирования его напряжённости / Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining Informational and Analytical Bulletin, - 2019. (12), 41-54.
6. Джакупбеков Б.Т., Асилова З.А., Никольская О.В. Численное моделирование устойчивости отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений / Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. - 2023. -Т. 10. -№ 1. -С. 30-36.
7. Джакупбеков Б.Т., Асилова З.А. Трёхмерное моделирование отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений / Известия ВУЗов Кыргызстана. 2023. № 3. С. 16-20.