

УДК 622.83:622.271.45/.48

## ГЕОМЕХАНИКА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ КАРЬЕР – ВНУТРЕННИЙ ОТВАЛ – ПРИРОДНАЯ СРЕДА

<sup>1</sup>Четверик М.С., <sup>1</sup>Бабий Е.В., <sup>1</sup>Бубнова Е.А., <sup>2</sup>Гребенник В.Н.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,

<sup>2</sup>ООО «Южгипроруда»

## ГЕОМЕХАНИКА СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ КАР'ЄР - ВНУТРІШНІЙ ВІДВАЛ – ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

<sup>1</sup>Четверик М.С., <sup>1</sup>Бабій К.В., <sup>1</sup>Бубнова О.А., <sup>2</sup>Гребенник В.М.

<sup>1</sup>Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,

<sup>2</sup>ТОВ «Южгіпроруда»

## GEOMECHANICS OF THE “QUARRY - INTERNAL DUMP - NATURAL ENVIRONMENT” SYSTEM STABILITY

<sup>1</sup>Chetveryk M.S., <sup>1</sup>Babiy K.V., <sup>1</sup>Bubnova O.A., <sup>2</sup>Grebennik V.N.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, <sup>2</sup>LTD «Yuzhgiproruda»

**Аннотация.** Выбор той или иной технологии развития горных работ в глубоких карьерах сопряжен с необходимостью обеспечения устойчивости формируемой системы, представленной тремя типами сред – нарушенной, техногенной и природной, взаимодействие которых между собой приводит к развитию негативных природно-техногенных процессов и явлений. Особенно актуальным является обоснование устойчивости системы, включающий внутренний отвал.

Целью исследования является исследование устойчивости системы карьер – внутренний отвал – природная среда и обоснование рациональных параметров внутренних отвалов скальных вскрышных пород в пространстве глубоких карьеров и технологии их формирования с обеспечением устойчивости.

Установлены закономерности совместного функционирования техногенных, нарушенных и природных геологических сред при добыче полезных ископаемых. Показано, что наименьшей устойчивостью обладает система, включающая одновременно три вида разных сред. Для сложной системы карьер-внутренний отвал – природная среда характерным является оползнеобразование как на контакте элементов системы друг с другом, так и внутри них. Показано, что при обосновании параметров внутренних отвалов, размещаемых в глубоких карьерах, обрабатывающих крутонаклонные залежи, необходимо устанавливать влияния природных, антропогенных и технологических условий на коэффициент запаса устойчивости. На примере Первомайского карьера ЧАО «СЕВГОК» установлены все влияющие факторы и на основании их анализа выполнено компьютерное моделирование техногенного и природного массива горных пород с определением коэффициента запаса устойчивости внутреннего отвала и борта карьера, а также обоснованы рациональные параметры формирования внутреннего отвала.

Формирование внутреннего отвала в карьере позволяет снизить себестоимость сырой руды за счет сокращения затрат на транспортирование вскрышных пород во внешний отвал.

Размещение временного внутреннего отвала на временно нерабочем борту позволит рационально использовать пространство и в дальнейшем перемещать отвал, избегая, таким образом, консервации запасов, что является рациональным в условиях ограниченности запасов руды в рабочей зоне.

**Ключевые слова:** глубокий карьер, внутренний отвал, параметры, устойчивость, коэффициент запаса устойчивости.

**Введение.** При достижении карьерами, обрабатывающих крутопадающие залежи, значительных глубин и расстояний транспортирования горной массы, острой является необходимость снижения затрат на добычу руды. Главным образом, снижение затрат на добычу руды в рассматриваемых условиях достигается за счет следующего [1]:

а) применяется технология обработки глубокого карьера участками – волнами с сокращением нормативных параметров рабочих площадок по всей длине фронта горных работ и минимальными объемами вскрыши. Суть технологии заключается в том, что каждый участок обрабатывается крутыми слоями от верха до полезного ископаемого, с формированием временно нерабочего борта под достаточно крутым углом. После выемки руды переходят к обработке следующего участка, таким образом образуется волна:

б) увеличиваются углы откоса бортов карьера, как путем уменьшения размеров площадок, так и путем постановки уступов в вертикальное положение, поскольку величина заложения существенно снижает угол откоса борта карьера:

в) применяется технология внутреннего отвалообразования с формированием временного или постоянного внутреннего отвала вскрышных пород с консервацией части борта карьера. При этом существенно сокращаются расстояния транспортирования вскрышных пород автомобильным транспортом, что значительно удешевляет себестоимость добычи руды даже при переэкскавации горных пород отвала.

В то же время выбор той или иной технологии развития горных работ в глубоких карьерах сопряжен с необходимостью обеспечения устойчивости формируемой системы, представленной тремя типами сред – нарушенной, техногенной и природной, взаимодействие которых между собой приводит к развитию негативных природно-техногенных процессов и явлений.

Особенно актуальным является обоснование устойчивости системы, включающий внутренний отвал.

**Анализ исследований и публикаций.** В области совершенствования технологии открытых горных работ с применением внутреннего отвалообразования выполнен огромный комплекс научно-исследовательских, проектных и практических работ. Первоначально внутреннее отвалообразование применялось при обработке пологих месторождений с постоянным складированием вскрышных пород. Позднее были предложены технологические схемы с временным расположением пород вскрыши на временно нерабочих бортах глубоких карьеров, в том числе с последующей их переэкскавацией.

Внутреннее отвалообразование в карьерах широко применяют при разработке пологих и наклонных месторождений, реже - крутонаклонных. В железорудных карьерах практическое применение внутреннего отвалообразования осуществили в карьерах Полтавского ГОКа, Центрального ГОКа и Северного ГОКа. Специалисты ГИ «ГПИ «Кривбасспроект» выполнили проектирование постоянного внутреннего отвала для Ингулецкого карьера, а специалисты ООО «Южгипроруда» запроектировали временный внутренний отвал для Первомайского карьера.

В связи с тем, что выбранный при проектировании под размещение внутреннего отвала участок временно нерабочего юго-западного борта Первомайского карьера ЧАО «СЕВГОК» характеризуется сложными горно-

геологическими, техническими и технологическими условиями, именно он выбран в качестве примера по исследованию устойчивости системы внутренний отвал – карьер – природная среда.

**Целью исследования** является исследование устойчивости системы карьер – внутренний отвал – природная среда и обоснование рациональных параметров внутренних отвалов скальных вскрышных пород в пространстве глубоких карьеров и технологии их формирования с обеспечением устойчивости.

**Результаты исследований.** Как было показано ранее [2] при воздействии технологических и геомеханических процессов извлекаемые вскрышные породы преобразуются и меняют свои природные свойства. При размещении вскрышных пород в пределах природной или нарушенной (карьер) среды формируется техногенная среда со свойствами, отличными от природной.

Контактирование природной и техногенной геологических сред приводит к нарушению ряда свойств и процессов в естественной среде. При этом для теоретического определения изменения параметров естественной среды необходимо учитывать местонахождение техногенной среды в природной, так как формы и интенсивность проявления их взаимодействия деформаций зависят от геологического и гидрогеологического строения массива, а также параметров и свойств техногенной среды и уровня контактирования.

Важное значение имеет расположение техногенной геологической среды по отношению к естественной (природной): примыкание в горизонтальной или вертикальной плоскости (над или под природной), поскольку в результате воздействия экзогенных процессов естественная и техногенная геологическая среда приобретают новые свойства, особенно по отношению к водообменной системе.

Для условий размещения внутреннего отвала формируется сразу несколько зон контакта: природная – нарушенная, нарушенная – техногенная, природная-техногенная среды. Каждая из перечисленных зон контакта является потенциально оползнеопасной. Таким образом, главной задачей является определение таких параметров нарушенной и техногенной сред, при которых вся система карьер - внутренний отвал - природная среда будет находиться в устойчивом состоянии.

Из механики известно, что при соприкосновении различных тел возникают силы трения, препятствующие их перемещению. В соответствии с законом Кулона сила трения равна

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения, зависящий от природы и свойств трущихся поверхностей;  $N$  – сила нормального давления.

Для условий обеспечения устойчивости системы важное значение имеет угол внешнего трения разрушенных скальных пород. В работе [3] авторы предложили аналитическую зависимость для определения угла внешнего трения пород в зависимости от их крупности

$$\varphi' = 67.7 \cdot d^{-0.145}, \text{град} \quad (2)$$

где  $d$  – крупность кусков разрушенной породы, мм.

На рисунке 1 приведен график, построенный по (2) с учетом грансостава взорванной массы карьеров Кривбасса. Из приведенного очевидно, что трение тем больше, чем меньше кусок разрушенной породы. Таким образом, при формировании внутренних отвалов с обеспечением их устойчивости необходимо обосновывать размер кусковатости складированной в отвал массы.

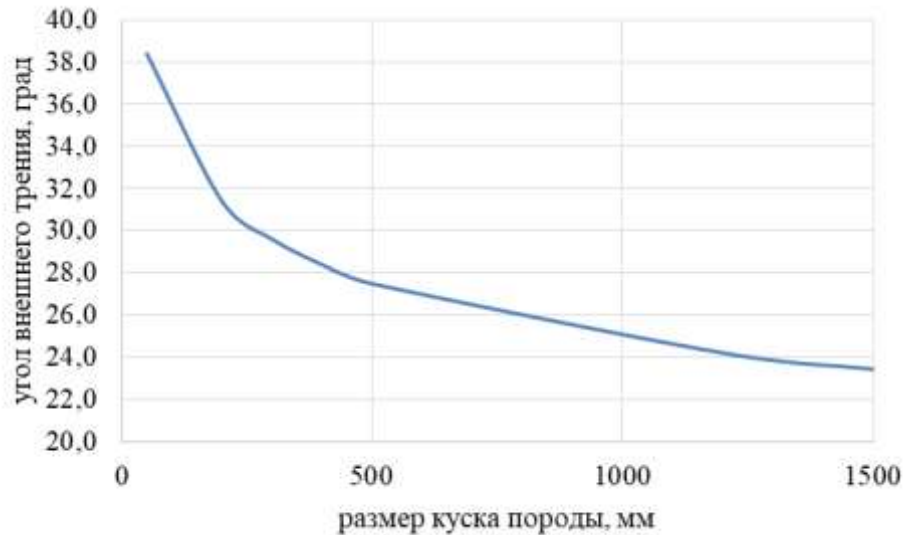


Рисунок 1 – Зависимость угла внешнего трения разрушенной скальной породы от размера ее куска

Кроме риска возникновения оползня на контакте карьер-внутренний отвал, оползнеопасным является сам откос внутреннего отвала. В работе [4] авторами доказано, что ускоренное развитие оползней в отвалах характерно для условий складирования пород малой прочности или однородного грансостава. Таким образом, чем более прочная и неоднородная по грансоставу порода укладывается в отвал, тем больше устойчивость отвала.

На рисунке 2 представлен грансостав взорванной скальной вскрышной породы для карьеров СевГОКа.

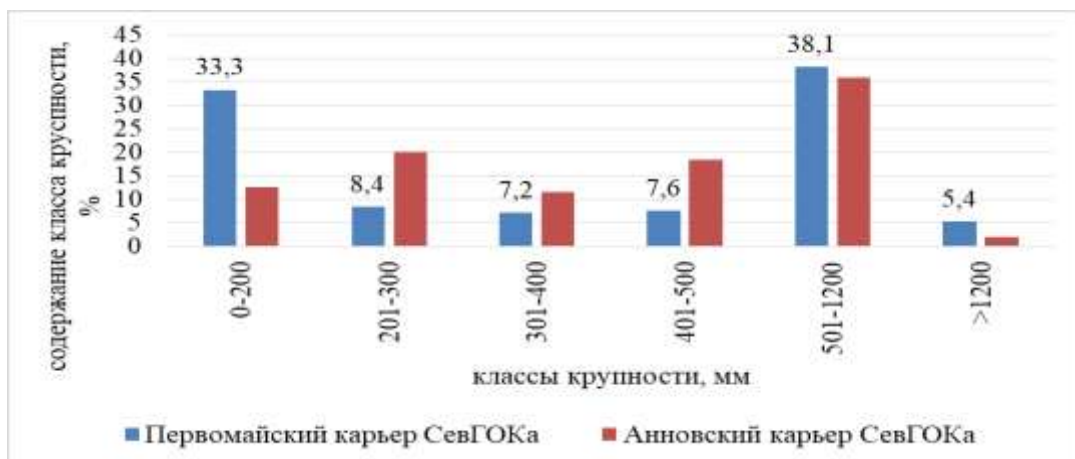


Рисунок 2 – Грансостав взорванных скальных вскрышных пород на карьерах СевГОКа

В соответствии с показателем неоднородности по ГОСТ 25100-95  $K_n = d_{60}/d_{10}$  взорванная масса Первомайского карьера СевГОКа весьма неоднородна ( $K_n \approx 10$ ), в отличие от Анновского карьера ( $K_n \approx 2$ ). То есть исходя из положений работы [4], отвал, сложенный вскрышными породами Первомайского карьера при их высокой прочности должен быть устойчивым в виду высокой неоднородности складированной массы.

Приведенные положения геомеханики взаимодействия разных типов сред исследованы на примере системы Первомайский карьер ЧАО «СЕВГОК» - внутренний отвал – природная среда. Карьер отрабатывает крутонаклонную залежь. В 2016 году в Первомайском карьере вскрыт горизонт минус 355 м, что соответствует глубине карьера 470 м. Абсолютная отметка дна карьера в отработанном виде – минус 565 м, предельная глубина карьера составляет 650 м.

Основная часть руды автосамосвалами из забоев подается к приемным устройствам ЦПТ горизонта минус 205 м. С перегрузочных пунктов железнодорожным транспортом руда вывозится на дробильно-обогадательную фабрику, а вскрышные породы во внешние отвалы, расположенные на западном борту карьера. Верхние горизонты от +102 до +29 м отрабатываются на железнодорожный и автомобильный транспорт. Все нижележащие горизонты отрабатываются на автомобильный транспорт с транспортировкой вскрыши и частично руды на экскаваторные перегрузочные пункты.

Развитие горных работ в карьере осуществляется в северном, северо-западном, восточном, юго-восточном направлениях. Планируемое развитие горных работ требует реконструкции горнотранспортной схемы карьера, что подразумевает существенные капитальные затраты. С учетом длительных сроков осуществления реконструкции и капитальных вложений предусмотрено создание внутреннего временного отвала вскрышных пород в пространстве карьера на юго-западном борту. Данный участок выбран из расчета минимальных затрат на его освоение. Формирование внутреннего отвала предусматривается осуществить на первом этапе реконструкции горнотранспортной схемы, что позволит перенести на три года сроки капитальных вложений на часть объектов реконструкции и значительно сократить дальность транспортировки скальной вскрыши. Расконсервацию западного борта и ликвидацию внутреннего отвала предусматривается осуществить в 2043 г.

Скальные породы охватывают несколько стратиграфических горизонтов, различающихся по составу, текстурно-структурными особенностями и физико-механическим свойствам. Среди них доминируют сланцы и безрудные кварциты третьего-пятого сланцевого горизонта, магнетитовые кварциты пятого-шестого железистого горизонта, магнетит-силикатные кварциты седьмого сланцевого и железистого горизонтов, сланцы, безрудные кварциты и кварц-карбонатные породы гданцевской свиты. Породы характеризуются слоистым строением, которое обусловлено переслаиванием рудных, безрудных и смешанного состава слоев. Указанные типы пород обладают различными

физико-механическими свойствами: прочность изменяется от 3 до 16, угол внутреннего трения – от 9,5 до 41,5°; сцепление – от 84 до 263 кг/см<sup>2</sup>.

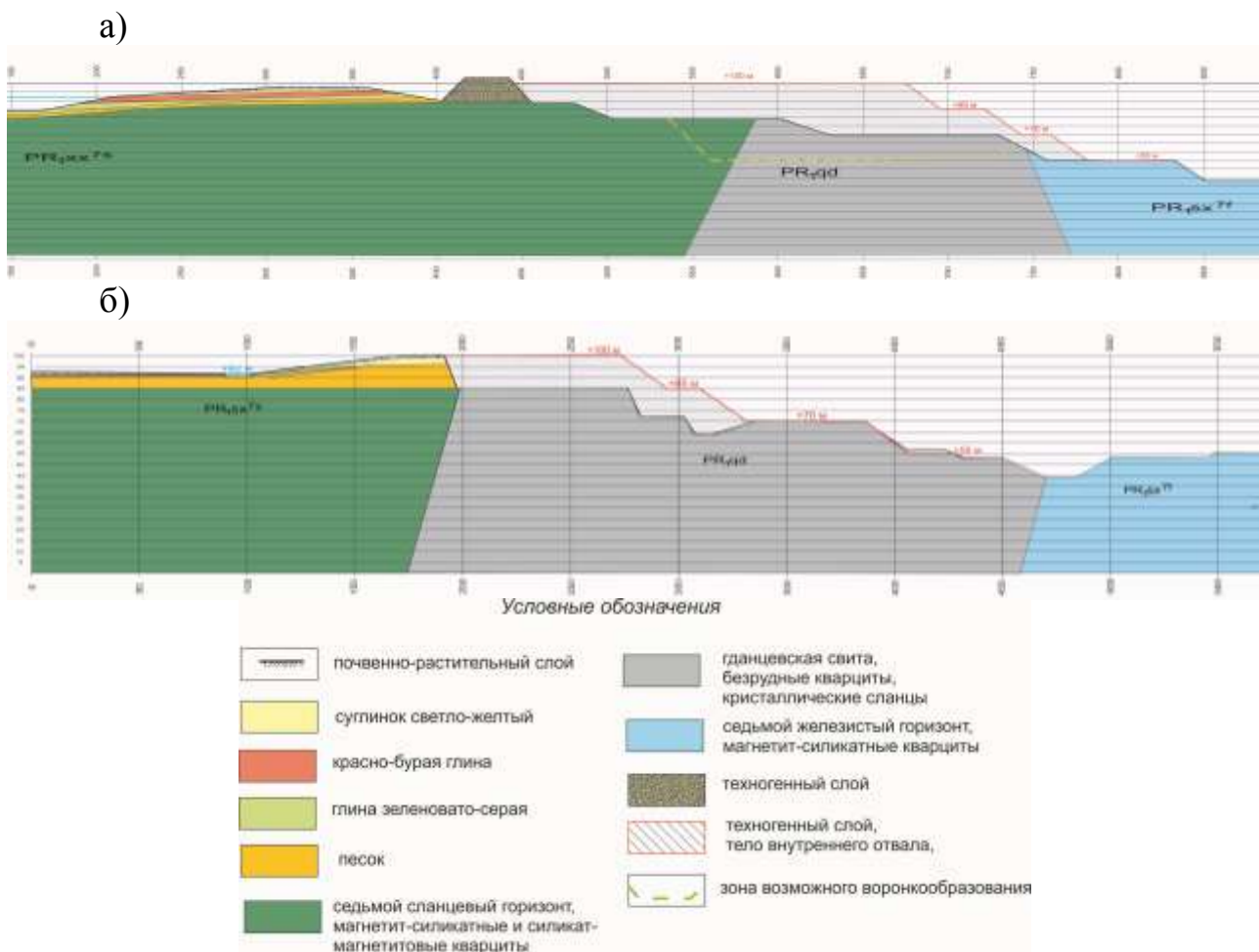
Формирование отвала планируется осуществлять из скальной вскрыши различного типа без выделения разновидностей. Основание, на котором предусматривается произвести отсыпку отвала, сложено крепкими скальными породами. Породы, слагающие борт карьера, к которому будет осуществлено примыкание отвала, в интервале отметок +100,0÷+55,0 м представлены скальными, полускальными (переходная зона) и мягкими породами.

Условия размещения внутреннего отвала на юго-западном борту карьера представлены на рисунке 3 и 4.



1- проектируемый отвал; 2 - пруд-аккумулятор поверхностного стока; 3 - зоны возможного воронкообразования; I-I, II-II-, III-III, IV-IV, V-V – направления разрезов

Рисунок 3 - Выкопировка из плана горных работ с обозначением расположения внутреннего отвала и указанием линий продольного и поперечных разрезов



В ходе анализа по разработанной методике ИГТМ [2] особенностей геологического строения Первомайского месторождения и гидрогеологических условий на территории проектируемого внутреннего отвала установлено следующее.

Подошвой отвала является горизонт  $+53,0 \div +57,0$  м, сложенный плотными крепкими скальными породами (рис. 4) с хорошей несущей способностью, поэтому подготовительные работы согласно ТЭО по подготовке основания не предусматриваются.

Западная, юго-западная граница проходит по существующему уступу с отметкой  $+98$  м сформированного борта карьера. Породы, слагающие борт карьера, к которому будет осуществлено примыкание отвала, в интервале отметок  $+100,0 \div +55,0$  м представлены скальными, полускальными (переходная зона) и мягкими породами (рис.3-4).

На борту карьера с западной стороны находится пруд-аккумулятор поверхностного стока (рис.3) с максимальной глубиной  $8$  м с отметкой НПУ  $+92,0$  м, который может рассматриваться в качестве потенциального источника обводнения мягких пород, к которым осуществляется примыкание отвала, поскольку уровень изолированности емкости пруда неизвестен и при пригрузке пород борта карьера размещаемой вскрышей возможно изменение их

устойчивого состояния.

Согласно данных геологической службы в юго-западной части карьера горными выработками вскрыта мощная тектоническая зона, что в результате влияет на водопритоки в карьер на гипсометрических горизонтах +53, +41, +29 м. Специалистами геологической службы Первомайского карьера подтверждено, что в весенне-осенний период в зоне запроектированного внутреннего отвала на указанных горизонтах проявляются водопритоки, что является осложняющим фактором для формирования устойчивости отвала.

Еще одним осложняющим фактором является возможное воронкообразование от ранее (более 50 лет назад) проведенных подземных горных работ шахты «Красный партизан». Состояние пустот в поле шахты «Красный партизан» характеризуется как устойчивое, но вертикальный ствол шахты «Красный партизан» и горизонтальные выработки могут быть причиной процесса воронкообразования на борту карьера. Возможно образование воронок обрушения диаметром до 10 м и глубиной до 5-7 м. Угол откоса предполагаемых воронок составляет 85 градусов.

По данным маркшейдерской службы Первомайского карьера на планах горных работ на северо-западном борту ограничена зона возможного воронкообразования (см. рис. 3).

В результате анализа перечисленных факторов выбраны потенциально опасные участки для устойчивости внутреннего отвала, по которым построены геологические разрезы с нанесением существующего положения контура карьера, конечного контура запроектированного отвала и антропогенных объектов на поверхности.

Установлено, что причиной снижения устойчивости борта карьера и внутреннего отвала могут выступать: нагруженный борт карьера от внешнего отвала, водоем на юго-западном борту карьера, пустоты от подземных горных работ и подземные водоносные горизонты, которые имеют контакт с основанием отвала вдоль борта карьера, а также динамические нагрузки от технологического комплекса по строительству отвала.

Параметры отвала обосновываются с учетом размещения в нем 6320,0 тыс. м<sup>3</sup> скальных вскрышных пород в разрыхленном состоянии с обеспечением коэффициенту запаса устойчивости (КЗУ) не менее 1,5.

Для оценки устойчивости ярусов внутреннего отвала и борта карьера в качестве инструмента моделирования использована программа конечно-элементного анализа *Phase2*. Математическая обработка выполнена к.т.н., проф. А.С. Ковровым. Программа позволяет выполнять анализ устойчивости целостного объекта (ярусов отвала и откосов уступов борта) методом конечных элементов, анализируя процесс снижения предела прочности на сдвиг в техногенном и ненарушенном породном массиве. Функция снижения прочности на сдвиг в *Phase2* позволяет автоматически выполнять конечно-элементный анализ и вычислять критический коэффициент снижения прочности для заданной модели, который по своему смыслу является эквивалентным коэффициенту запаса устойчивости откоса [5].



При аналитических исследованиях параметров упругопластического состояния чаще всего используется критерий прочности Мора с прямолинейной огибающей предельных кругов главных напряжений [6].

Критерий предполагает, что обрушение происходит вдоль плоскости без всякого расширения. Критерий Кулона-Мора может быть выражен в основных напряжениях как

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{2C \cos \varphi}{\sigma_3 (1 - \sin \varphi)} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  - наибольшее и наименьшее напряжения;  $C$  – сцепление;  $\varphi$  - угол внутреннего трения.

Максимальные сдвиговые деформации в прибортовом массиве вычисляются в программе Phase2 по следующему выражению

$$\varepsilon_{max} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2}$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_3$  – наибольшие и наименьшие главные деформации, которые для плоской задачи соответствуют значениям наибольшего и наименьшего напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ .

В расчетах учитывалось влияние следующих факторов:

- природных: глубина залегания и направление потока подземных вод, строение и физико-механические свойства массива горных пород;
- антропогенных: расположение и параметры внешнего отвала, пруда-аккумулятора поверхностного стока; геометрия юго-западного борта карьера; уровень сейсмического воздействия массовых взрывов в карьере; положение горных работ, наличие пустот в массиве;
- технологических: параметры запроектированного внутреннего отвала; технология отсыпки; динамические и статические нагрузки от оборудования.

Моделирование осуществлялось для следующих вариантов параметров внутреннего отвала:

- форма внутреннего отвала (двух, трех и четырех- ярусный отвал);
- высота яруса (10, 15, 20 и 25 м);
- угол откоса яруса (27-40 град.);
- берма безопасности между ярусами (10, 15 и 30 м);
- наличие и отсутствие сейсмического воздействия взрывов.

В результате для каждого из рассматриваемых вариантов параметров внутреннего отвала получены значения КЗУ, которые представлены в виде диаграммы на рисунке 5.

В результате моделирования установлено, что самые низкие значения КЗУ получены для двухъярусного внутреннего отвала, лучшие - для четырехъярусного и самые высокие - для трехъярусного.

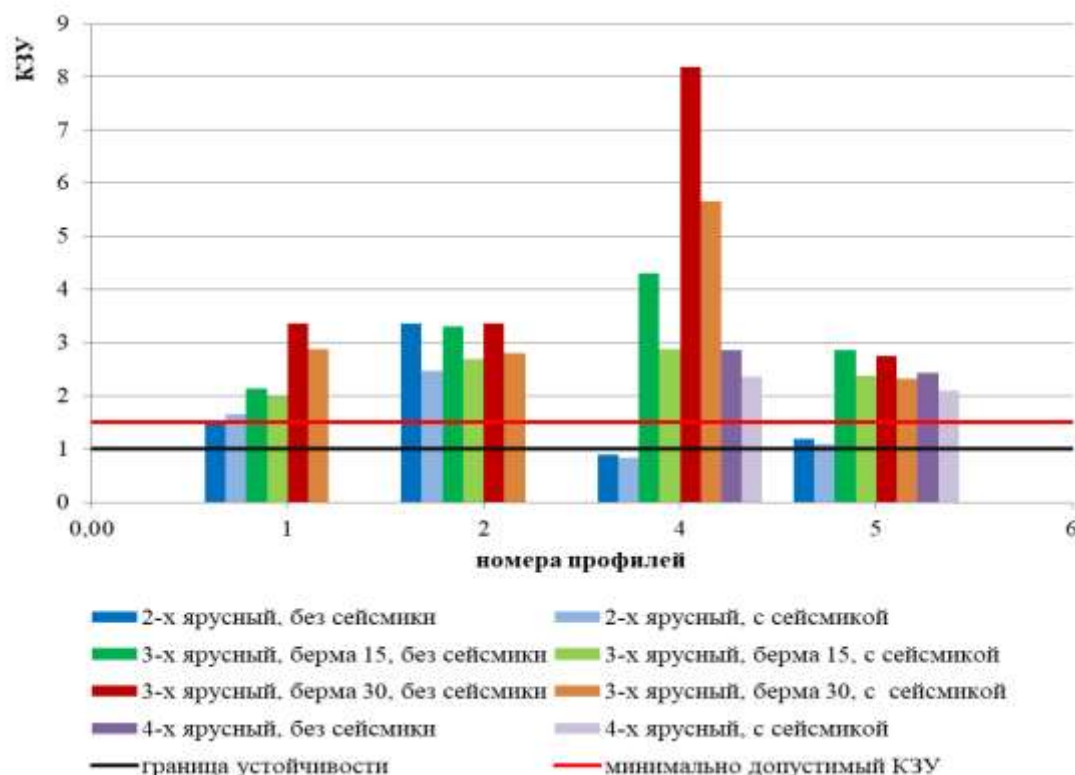


Рисунок 5 - Значения КЗУ по рассмотренным вариантам параметров отвала

Также установлено возможное горизонтальное смещение тела насыпи в виде осыпи и сползания пород при сейсмическом воздействии массовых взрывов в карьере. Максимальное значение приходится на разрез V-V, где максимальные горизонтальные смещения могут достигать 5,3-7,3 м. При этом наибольшие смещения и сдвиговые деформации массива насыпных скальных пород возникают, как правило, в массиве среднего яруса отвала.

Установлено, что устойчивость отвала в значительной степени зависит от геометрической формы насыпи, в большей степени от количества ярусов конструкции, ширины бермы безопасности, угла откоса ярусов.

На основании перечисленного предложено формировать трехъярусный отвал со следующими параметрами:

- конфигурация – трехъярусный отвал;
- угол откоса яруса не более 35 град.;
- берма безопасности между ярусами 15 м, в южном торце (профиль V-V) берма безопасности должна быть не менее 30 м;
- высота яруса 15 м.

**Выводы.** Формирование внутреннего отвала в карьере позволяет снизить себестоимость сырой руды за счет сокращения затрат на транспортирование вскрышных пород во внешний отвал.

Размещение временного внутреннего отвала на временно нерабочем борту позволит рационально использовать пространство и в дальнейшем перемещать отвал, избегая, таким образом, консервации запасов, что является рациональным в условиях ограниченности запасов руды в рабочей зоне.

В тоже время расположение отвала внутри работающего карьера должно выполняться таким образом, чтобы обеспечивать безопасность работ.

При этом при обосновании параметров внутреннего отвала необходимо выполнять детальный анализ всех условий. Обоснование рациональных параметров внутреннего отвала с обеспечением КЗУ не ниже нормативного во всех профилях возможно при моделировании, что позволит установить необходимые для обеспечения устойчивости параметры отвала в различных его точках.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четверик М.С., Перегудов В.В., Романенко А.В., Левицкий А.П., Удод Е.Г., Федин К.А. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития. - Кривой Рог: Дионис, 2012.
2. Четверик М.С., Бубнова Е.А. Формирование техногенной геологической среды и ее взаимосвязь с природной // Збірник наукових праць. Вісник Криворізького технічного університету. - 2010, вип. 25. - С. 83-87.
3. Перегудов Ю.В., Перегудов В.В. Обоснование технологии ведения открытых горных работ при вовлечении в отработку подработанных бортов карьера // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – 2016, вып. 129. – С. 92-97.
4. Цирель С.В., Гапонов Ю.С., Павлович А.А. Гранулометрический состав, сдвиговая прочность разрушенных горных пород и их влияние на устойчивость отвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельная статья (специальный выпуск). – 2013, № 12. – 12 с.
5. Shashenko O.M., Kovrov O.S. Comparative analysis of two failure criteria for rocks and massifs / *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2016. no. 6(156). Pp. 54-59.
6. Шашенко О.М., Сдвижкова О.О., Гапеев С.М. *Деформованість та міцність масивів гірських порід*. -Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008.

#### REFERENCES

1. Chetverik, M.S., Peregudov, V.V., Romanenko, A.V., Levitskiy, A.P., Udod, E.H. and Fedin, K.A. (2012), *Tsiklischno-potochnaya tekhnologiya na glubokikh karerakh. Perspektivy razvitiya* [Cyclical-flow technology in deep quarries. Development prospects], Dionis, Krivoy Rog, Ukraine.
2. Chetverik, M.S. and Bubnova, Ye.A. (2010), "The formation of technogenic geological environment and its relationship with the natural", *Visnyk Kryvorizkogo technichnogo universytetu*, no. 25, pp. 83-87.
3. Peregudov, Yu.V. and Peregudov, V.V. (2016), "Validation of the quarrying technology with involved undermined pit walls", *Geo-Technical Mechanics*, no. 129, pp. 92-97.
4. Tsirel, S. V., Haponov, Yu.S. and Pavlovich, A.A. (2013), "Granulometric composition, shear strength of the destroyed rocks and their influence on the stability of the dumps", *Mining information and analytical newsletter. Separate article (special issue)*, no. 12.
5. Shashenko, O.M. and Kovrov, O.S. (2016), "Comparative analysis of two failure criteria for rocks and massifs", *Scientific Bulletin of National Mining University*, no. 6(156), pp. 54-59.
6. Shashenko, O.M., Sdvizhkova, O.O. and Hapeev, S.M. (2008), *Deformovanist ta mitsnist masyviv girskykh porid* [Deformability and durability of rock massifs], National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

#### Об авторах

**Четверик Михаил Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [m.s.chetverik@gmail.com](mailto:m.s.chetverik@gmail.com)

**Бабий Екатерина Васильевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [katebabiy@i.ua](mailto:katebabiy@i.ua)

**Бубнова Елена Анатольевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua)

**Гребенник Владимир Николаевич**, магистр, главный инженер проекта, ООО «Южгипроруда», Харьков, Украина, [katebabiy@i.ua](mailto:katebabiy@i.ua)

#### About the authors

**Chetverik Mikhailo Sergiyovych**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics name by N. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [m.s.chetverik@gmail.com](mailto:m.s.chetverik@gmail.com)

**Babiy Katerina Vasilevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology Institute of Geotechnical Mechanics name by N. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [katebabiy@i.ua](mailto:katebabiy@i.ua)

**Bubnova Olena Anatoliivna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Open-pit Mining Technology Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua)

**Hrebennik Volodymyr Mykolayovych**, Master of Sciences (M.Sc.), Chief Project Engineer, LLC "Yuzhgiproruda", Kharkov, Ukraine, [katebabi@i.ua](mailto:katebabi@i.ua)

**Анотація.** Вибір тієї або іншої технології розвитку гірничих робіт у глибоких кар'єрах зв'язаний з необхідністю забезпечення стійкості системи, що формується, представленої трьома типами середовищ – порушеної, техногенної і природної, взаємодія яких між собою приводить до розвитку негативних природно-техногенних процесів і явищ. Особливо актуальним є обґрунтування стійкості системи, що включає внутрішній відвал.

Метою дослідження є дослідження стійкості системи кар'єр - внутрішній відвал - природне середовище та обґрунтування раціональних параметрів внутрішніх відвалів скельних розкривних порід в просторі глибоких кар'єрів і технології їх формування із забезпеченням стійкості. Встановлено закономірності спільного функціонування техногенних, порушених і природних геологічних середовищ при видобутку корисних копалин. Показано, що найменша стійкість притаманна системі, що включає одночасно три види різних середовищ. Для складної системи кар'єр-внутрішній відвал - природне середовище характерним є зсувоутворення, як на контакті елементів системи один з одним, так і всередині них. Показано, що при обґрунтуванні параметрів внутрішніх відвалів, що розміщуються в глибоких кар'єрах, що відпрацьовують крутопохилі поклади, необхідно встановлювати вплив природних, антропогенних і технологічних умов на коефіцієнт запасу стійкості.

На прикладі Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК» встановлені всі фактори, що впливають на геомеханічний стан системи, і на основі їх аналізу виконано комп'ютерне моделювання техногенного та природного масиву гірських порід з визначенням коефіцієнта запасу стійкості внутрішнього відвалу і борту кар'єру, а також обґрунтовані раціональні параметри формування внутрішнього відвалу. Формування внутрішнього відвалу у кар'єрі дозволяє знизити собівартість сирової руди за рахунок скорочення витрат на транспортування вскришних порід до зовнішнього відвалу. Розміщення тимчасового внутрішнього відвалу на тимчасово неробочому борту дозволить раціонально використовувати простір і надалі переміщувати відвал, уникаючи, таким чином, консервації запасів, що є раціональним в умовах обмеженості запасів руди у робочій зоні.

**Ключові слова:** глибокий кар'єр, внутрішній відвал, параметри, стійкість, коефіцієнт запасу стійкості.

**Annotation.** The choice of one or another technology development of mine works in deep careers is attended with the necessity of providing stability of the formed system represented by three types of environments – broken, technogen and natural, co-operation of which between itself results in development of negative natural-technogen processes and phenomena. The ground of stability of the system is especially actual, including an internal dump.

Subject of the study was to study stability of the "quarry - internal dump - natural environment" system and to validate rational parameters for the internal dumps of the stripping rocks in deep pit area and technology for their formation with ensured stability.

The regularities of the joint functioning of man-made, disturbed and natural geological media at mining minerals are established. It is shown that the least stable is the system that simultaneously includes three types of different media. The complex system "internal dump - natural environment" is characterized by a landslide both on the contact between the system elements and inside them. It is stated that while validating parameters for the internal dumps located in deep quarries with steeply inclined deposits, it is necessary to specify effects of natural, anthropogenic and technological conditions on the stability factor.

On the example of the Pervomaisky quarry, PJSC "SEVGOK", all influencing factors were established and, on the basis of their analysis, a computer simulation of anthropogenic and undisturbed rock massif was made, and stability factor was determined for internal dump and quarry wall, as well as rational parameters for internal dump formation.

Formation of internal dump in the quarry cuts prime costs of raw ore due to reduced expenses of stripping rock transportation to the external dump.

Creating of temporal internal dump on temporally non-working wall will allow to rationally use space and in future to transfer the dump with no preservation of reserves, which is a rational option in the conditions of limited ore reserves in the working area.

**Keywords:** deep quarry, internal dump, parameters, stability, stability factor.

*Стаття надійшла до редакції 1.06. 2018*

*Рекомендовано до друку д-ром геол.-мін. наук В.В. Лукіновим*