

ВЛИЯНИЕ ОБВОДНЕННОСТИ НАСЫПНОГО МАССИВА ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ УЧАСТКА ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А. Ковров^{1*}, Е. Бабий², В. Ракишев³, А. Куттыбаев³

¹Кафедра экологии, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

²Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, Днепропетровск, Украина

³Кафедра открытых горных работ, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан

*Ответственный автор: e-mail kovrov@rambler.ru, тел. +380672817589, факс: +380562470766

INFLUENCE OF WATERING FILLED-UP ROCK MASSIF ON GEOMECHANICAL STABILITY OF THE CYCLIC AND PROGRESSIVE TECHNOLOGY LINE

O. Kovrov^{1*}, K. Babiy², V. Rakishev³, A. Kuttybayev³

¹Department of Ecology, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine

³Department of Open Cast Mining, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: e-mail kovrov@rambler.ru, tel. +380672817589, fax: +380562470766

ABSTRACT

Purpose. Comprehensive assessment of the fill slope stability for cyclical-and-continuous technology (CCT) conveyors applied to rocks of stripping at Pervomaiskiy quarry of PJSC “Severnyi GOK” to justify effective anti-landslide measures.

Methods. To study geomechanical stability of fill-up rock mass and slopes of the CCT line, the following methods are used: hydrogeological analysis, visual observation of the object, numerical modeling of the fill slope stability in the finite element analysis software Phase2.

Findings. Calculations of the fill slope stability for the open belt conveyor gallery, the bases of the embankment mass and pit wall slopes show that the fill-up mass stability is conditioned by the complex effect of geological, hydrogeological and anthropogenic factors. The geometrical parameters of CCT facilities and physical-mechanical properties of the embankment rocks play a key role in ensuring the stable operation of the CCT line and its sustainability. The numerical modeling of different options to strengthen the slopes of the fill-up mass is carried out, the most effective techniques for these purposes turned out to be surcharges, different in geometry, and retaining prisms of rocks.

Originality. The stability margins (SM) for the fill-up mass and slopes on cross-section profiles considering physical and mechanical properties of the complex-structured fill-up mass, its water content and loads of mining equipment are calculated. The areas most subjected to geomechanical deformations and displacements are identified.

Practical implications. Based on the simulation results, anti-landslide measures are developed to ensure the stable operation of the CCT complex and stability of the embankment slopes and the pit walls.

Keywords: cyclical-and-continuous technology (CCT), open pit slope stability, stability of fill-up rock mass, landslide, rock mass water content, stability margin, Mohr-Coulomb failure criterion

1. ВВЕДЕНИЕ

Насыпные массивы вскрышных пород являются неотъемлемой частью технологии открытых горных работ. Создание значительных объемов дисперсных

несвязных насыпных образований в виде внешних и внутренних отвалов коренных пород вскрыши, гидротехнических сооружений, путепроводов и прочих техногенных породных массивов требует постоянно-

го геомеханического мониторинга. Одним из вариантов использования вскрышных пород в производственном цикле современных карьеров является применение циклично-поточной технологии.

Использование циклично-поточной технологии (ЦПТ) на карьерах позволяет применять поточный (непрерывно действующий) конвейерный транспорт для перемещения горных пород в технологическом потоке в сочетании с циклическими буровзрывными работами и циклично действующими одноковшовыми экскаваторами или погрузчиками в забое, осуществляющими выемку и погрузку взорванной горной массы на конвейер. Вариант ЦПТ с буровзрывными работами, погрузкой одноковшовыми экскаваторами в автосамосвалы и доставкой горных пород внутри карьера до полустационарной дробилки и дальше по борту карьера на обоганительную фабрику конвейерным транспортом широко используется на рудных карьерах черной и цветной металлургии. Циклично-поточные технологии при разработке крепких горных пород на карьерах обеспечивают снижение затрат на 25 – 30% и повышение производительности труда в 2 – 3 раза по сравнению с циклической технологией.

При этом вопросы безопасности эксплуатации насыпных массивов и устойчивости их откосов с учетом физико-механических свойств и обводненности пород, нагрузок горнотранспортного оборудования приобретают первостепенное значение.

Откосы бортов карьеров насыпных массивов существенно влияют на технико-экономические показатели горного предприятия. При этом, геометрические параметры откоса и геомеханические свойства пород с учетом их неоднородности и вероятностно-статистической структурой являются основным объектом исследований при расчете устойчивости массива (Ali & Morteza, 2014).

Техногенные массивы в виде отвалов и насыпей представляют собой гетерогенные системы, сложенные статистически неоднородными литологическими разностями и обладающие пластическими свойствами. Для обеспечения устойчивости откосов на карьерах анализируют их состояние с учетом ряда природных и техногенных факторов, влияющих на развитие деформаций в массиве и затухание их во времени (Li, Hou & Yang, 2011). Для точного геотехнического анализа устойчивости откосов применяют современные кинематические модели и методы предельного равновесия, интегрированные в специальных инженерных программах с возможностями 3D визуализации и ГИС-технологий (Grenon & Hadjigeorgiou, 2010).

Цель данной работы заключается в комплексной оценке устойчивости откосов насыпи под ленточные конвейеры участка ЦПТ скальных пород вскрыши Первомайского карьера ПАО “Северный ГОК” для обоснования эффективных противооползневых мероприятий.

Задачи работы: выполнить численное моделирование устойчивости насыпного массива и откосов путепровода ЦПТ и выявить причины оползневых процессов; определить коэффициенты запаса устойчивости для продольного и поперечных профилей с

учетом физико-механических свойств и обводненности сложноструктурного насыпного массива; разработать противооползневые мероприятия, обеспечивающие устойчивость борта карьера и сооружений насыпи ЦПТ.

Методология. Для исследования геомеханической устойчивости насыпного массива и откосов путепровода ЦПТ использованы следующие методы: гидрогеологический анализ, визуальные наблюдения за особенностями объекта; тахеометрическая съемка; электрометрическая диагностика массива; фотосъемка; расчеты устойчивости откосов насыпи в программе конечно-элементного анализа Phase2 компании Rocscience Inc. В качестве критерия прочности для оценки устойчивости насыпи принят критерий Кулона-Мора. Гидравлические свойства для каждой литологической разности массива пород задаются согласно эмпирическому методу Ван Генухтена.

Исходные данные. Первомайский карьер принадлежит Публичному акционерному обществу “Северный горно-обогатительный комбинат” (ПАО “Северный ГОК”, г. Кривой Рог, Украина), который входит в состав Метинвест Холдинга и является крупнейшим в Европе горнодобывающим предприятием с законченным циклом подготовки доменного сырья – железорудного концентрата и окатышей. В настоящее время Первомайский карьер – один из самых крупных карьеров в Украине с проектной производительностью 26 млн т сырой руды в год, разработка которого осуществляется с помощью буровзрывных работ и экскаваторной погрузки вскрышных пород и руды. Карьер имеет длину 3100 м, ширину – 2600 м, глубину – 475 м при максимальной проектной глубине отработки – 650 м. Нижний его горизонт находится на отметке 355 м. Транспортировка рудной горной массы с нижних горизонтов карьера осуществляется большегрузными автосамосвалами до дробильного узла на горизонте 115 м. Скальные вскрышные породы обрабатываются автомобильно-железнодорожным транспортом.

Ввиду интенсивного понижения горных работ, увеличения объемов скальной вскрыши и дальности ее транспортирования, руководство комбината приняло решение о строительстве комплекса ЦПТ для транспортирования скальных вскрышных пород. Согласно планам строительства ленточные конвейера No5П и No6П скального комплекса ЦПТ располагаются в открытой галерее на верхних горизонтах от +111 м до +62 м, пересекая несколько верхних вскрышных уступов (Chetverik & Babiy, 2015).

В данной работе рассмотрены оползневые процессы, которые активно проявились в насыпном массиве участка ЦПТ, а также на верхних горизонтах карьера. На интенсивность оползневых явлений влияют геометрические параметры насыпных массивов, физико-механические свойства пород и их обводненность, динамические нагрузки от горнотранспортного оборудования, сейсмическое воздействие от взрывов и т.д.

Горными работами карьера обнажены существовавшие ранее водоносные горизонты. В них отсутствуют подземные воды ввиду образовавшейся депрессионной воронки. Однако накопление осенне-

зимней влаги или обильных атмосферных осадков может частично возобновить временное движение подземных вод и их наполнение в пониженных участках на поверхности, что приводит к оползневым процессам. В этой связи возникла необходимость в разработке противооползневых мероприятий, обеспечивающих устойчивость сооружений под конвейер, а также уступов и борта карьера.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сооружение открытого конвейера для транспортировки отвальной массы от бункера с гор. 77 м до пункта приема породы гор. 89 м сооружается на насыпном грунте, представленном суглинками в их естественном залегании и отсыпкой красно-бурыми глинами и скальными породами (Рис. 1).

При строительстве насыпи – основания галереи для конвейерного подъемника вскрышного комплекса ЦПТ в верхней его части произошел оползень и несколько оползней по верхним уступам карьера мягкой вскрыши. Анализ геологического строения массива горных пород в районе строительства ком-

плекса ЦПТ показал, что четвертичные отложения в данном районе представлены небольшой мощностью. Они состоят из лессовидных суглинков различной степени пористости, пластичности, наличия включений, а также плотных красно-бурых глин. Особо отличаются суглинки слоя 2е – суглинок лессовидный, макропористый, серовато-бурый, пластичный (Chetverik & Babiy, 2015).

При визуальном исследовании участка от гор. 77 до гор. 89 м были отмечены 2 участка у подножия левосторонней части откоса, где в понижениях скапливаются атмосферные осадки (Рис. 1). Наличие растительности в виде разнотравья свидетельствует о том, что вода в понижениях удерживается продолжительное время. Такое явление вблизи насыпных массивов из глинистых пород имеет место при их высокой естественной влажности или при наличии водупорных литологических разностей, препятствующих нормальной фильтрации (Solodyankin, 2015).

Поверхность рассматриваемого участка отсыпана скальной вскрышными породами на основание, представленное красно-бурыми суглинками.

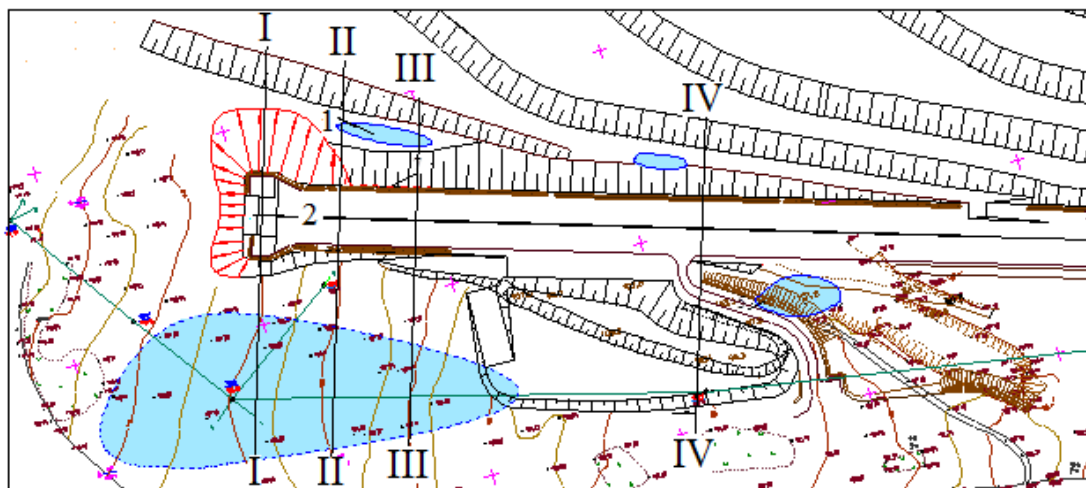


Рисунок 1. План строительства насыпи ЦПТ: 1 – водоем под оползнем; 2 – верхняя площадка насыпи; I – I, II – II, III – III, IV – IV – оползнеопасные профили насыпи

Отсыпка скальной породой откосов и поверхности насыпной дороги не обеспечивает ее долговременную устойчивость. При визуальном обследовании установлено, что возникновение оползней на левосторонних откосах сооружения обусловлено геометрическими параметрами, физико-механическими характеристиками суглинков и их влажностью пород вследствие атмосферных осадков и влияния грунтовых вод. Для адекватной оценки геомеханической устойчивости рассматриваемого объекта в алгоритме моделирования необходимо учесть ряд наиболее значимых факторов: геологическую структуру массива, гидрогеологические факторы, нагрузки от горнотранспортного оборудования.

Длина рассматриваемого участка циклично-поточной технологии составляет 400 м. Абсолютные отметки верхней и нижней площадки ЦПТ составляют 110.7 и 74.5 м соответственно. Уклон поверхности рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{110.7 - 74.5}{398.4} = \frac{36.2}{398.4} = 9.1 \%. \quad (1)$$

Физико-механические свойства пород приведены в Таблице 1.

Также выполнены испытания образцов мягких вскрышных пород на одноплоскостном срезном приборе ПС-10 с целью определения их физико-механических характеристик с учетом фактора влажности: сопротивление пород срезу τ , угол внутреннего трения φ и сцепление C . Так, для желто-бурых суглинков при заданном диапазоне влажности $W = 11 - 29\%$ значения сцепления и угла внутреннего трения изменяются в пределах $C = 0.017 - 0.073$ МПа и $\varphi = 14 - 35^\circ$. Для светло-желтых лессовых суглинков при заданных экспериментально значениях влажности $W = 9.7 - 35\%$ значения сцепления и угла внутреннего трения варьируют в пределах $C = 0.013 - 0.033$ МПа и $\varphi = 8.5 - 15.4^\circ$ (Solodyankin, 2015).

Коэффициенты фильтрации K_f для вскрышных пород месторождения приняты следующие: насыпь (суглинок рыжевато-бурый с песчано-глинистым заполнением, мелким щебнем кварцита) – $4.0 \cdot 10^{-5}$ м/с; суглинки желто-бурые – $3.65 \cdot 10^{-6}$ м/с; суглинки красно-бурые – $7.25 \cdot 10^{-7}$ м/с; глины красно-бурые – $5.5 \cdot 10^{-7}$ м/с.

Статические и динамические нагрузки учитываются от строительных конструкций галерей ленточных конвейеров No5П и No6П, автосамосвалов БелАЗ-7547, тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ и думпкаров ВС-105.

Для ленточных конвейеров при шаге роликсопор 1 м удельные нагрузки на грунт принимаются следующие: для холостого хода $P_{конв1} = 0.057$ МПа; для нагруженного конвейера при производительности 1600 т/ч и скорости ленты 1.6 м/с $P_{конв2} = 0.193$ МПа.

Расчетные нагрузки от автосамосвала БелАЗ-7547 $P_{авт} = 0,56$ МПа. При этом принимаются следующие исходные данные для расчета: грузоподъемность – 45 т; масса снаряженного автомобиля – 29.5 т; распределение полной массы на заднюю ось – 58 т; база – 4200 мм.

Таблица 1. Физико-механические характеристики вскрышных пород

Наименование вскрышных пород	Плотность γ (*), МН/м ³	Угол внутреннего трения φ (*), град	Сцепление C (*), МПа	Предел прочности на растяжение σ_p (*), МПа	Модуль деформации E_0 (*), МПа
1а – Тело насыпи из красно-бурой глины горизонтов 3а, 3б	0.017	16/11	0.038/0.020	0.050	24/10
1б – Пригрузка откосов из скальных пород	0.025	35/30	10.000/10.000	10/10	108
2а – Суглинок лессовидный желто-бурый макропористый, твердой консистенции	0.018	26/22	0.032/0.016	0.050	13/6
2б – Погребенная почва – суглинок серовато-бурый макропористый углопластичный до пластичного	0.018	25/19	0.040/0.031	0.057	14/5
2в – Суглинок лессовидный палево-желтый макропористый, пылеватый, полутвердый до пластичного	0.018	23/21	0.040/0.020	0.057	19/6
2г – Суглинок лессовидный желтовато-бурый низкопористый, от твердой до тугопластичной консистенции	0.019	25/23	0.040/0.020	0.065	23/16
2д – Погребенная почва – суглинок темно-серый карбонатный пластичный, до мягкопластичного	0.018	25/22	0.044/0.024	0.051	11/10
2е – Суглинок лессовидный светло-желтый, мягкопластичной консистенции	0.019	25/22	0.030/0.013	0.062	10/10
3а – Суглинок красно-бурый с включениями карбонатов и гипса, твердой и полутвердой консистенции	0.019	25/23	0.052/0.026	0.075	24/17
3б – Глина красно-бурая с включениями карбонатов и гипса, твердой и полутвердой консистенции	0.020	21/16	0.075/0.043	0.125	22/18

*Значения характеристик для пород в водоненасыщенном / водонасыщенном состоянии

Для расчета нагрузок на рельсовый путь от ОПЭ-1АМ и думпкаров ВС-105 учитываются следующие характеристики: площадь шпал – 0.34 м²/шт; количество шпал – 1.84 шт/м²; масса шпал – 71 кг/шт; масса рельса – 74 кг/м; ширина колеи – 1520 мм.

Для расчета нагрузки от тягового агрегата ОПЭ-1АМ принимаются следующие характеристики: сцепной вес тягового агрегата с груженой моторной секцией – 368 т; нагрузка от оси на рельсы – 30 тс; база тягового агрегата – 11720 мм. Расчетное давление от ОПЭ-1АМ на насыпь $P_{м.а} = 0.844$ МПа.

Для расчета нагрузки от думпкара 2ВС-105 принимаются следующие характеристики: грузоподъемность – 105 т; масса вагона – 50 т; масса брутто – 155 т; расчетная нагрузка на рельс от колесной пары – 254.9 кН(тс); база вагона – 9340 мм; опорная площадь шпалы – 0.675 м². Расчетное давление от думпкара 2ВС-105 на насыпь: для порожнего – $P_n = 0.148$ МПа; для груженого – $P_g = 0.448$ МПа.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предварительный анализ проведенных исследований устойчивости насыпного массива по всей длине трассы ЦПТ позволил выявить участки наиболее подверженные деформационным процессам с учетом физико-механических особенностей и гидрогеомеханических процессов (Rakishev, Kovrov, Moldabayev & Babiy, 2016).

Учитывая важность устойчивого функционирования участка ЦПТ при максимальном воздействии гидрогеологических, климатических и техногенных факторов, целесообразно оценить устойчивость наиболее оползнеопасных участков с учетом максимальных нагрузок от сооружения автодороги и железнодорожных путей, а также статических и динамических нагрузок от автосамосвалов БелАЗ-7547, тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ и думпкаров ВС-105.

Профиль I – I. Первый участок насыпи, расположенной частично на земной поверхности; часть насыпи, разрушена оползнем и трещинами. Участок

является устойчивым (коэффициент запаса устойчивости (КЗУ) равен 1.63). Насыпь из скальных пород на поверхности откоса препятствует развитию оползневых процессов. При уменьшении прочностных характеристик массива пород насыпи вследствие природных (фильтрация подземных вод, атмосферные осадки) или техногенных факторов (сейсмические воздействия) могут возникать деформационные процессы в теле насыпи, состоящей из суглинков (Рис. 2а). Максимальные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.05 - 0.07$, общие смещения в массиве $U_{x-y} = 0.15 - 0.225$ м. В обводненном массиве при заданных геометрических параметрах прочность вмещающих пород снижается до КЗУ = 1.02, а при динамических нагрузках от конвейеров и автотранспорта до 0.92.

Профиль II – II. Насыпной массив по профилю II – II устойчив (КЗУ = 2.0). Пригрузка из скальных пород предохраняет поверхность откоса от деформаций. Однако, как и для профиля I – I смещения затрагивают тело насыпи и при условии снижения прочностных свойств пород возможно смещение пригрузки вместе с частью насыпного массива. Максимальные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.09 - 0.135$. Общие смещения в массиве, обусловленные преимущественно горизонтальными деформациями, $U_{x-y} = 0.3 - 0.45$ м. В обводненном массиве при заданных геометрических параметрах прочность

вмещающих пород уменьшается и КЗУ = 1.62, а при динамических нагрузках КЗУ = 1.23.

Профиль III – III. На данном участке значения абсолютных горизонтальных смещений в массиве составляют $U_x = 0.08 - 0.012$ м. Как и для профиля I – I, скальные породы, отсыпанные для закрепления поверхности откоса, подвергаются оползанию. При этом деформации практически не затрагивают слой насыпного грунта. Участок находится в устойчивом состоянии, КЗУ = 10.7. Максимальные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.015 - 0.022$. Общие смещения в массиве, обусловленные преимущественно горизонтальными деформациями, $U_{x-y} = 0.07 - 0.12$ м. В обводненном массиве КЗУ = 6.93, а с учетом динамических нагрузок от конвейеров и автотранспорта снижается до 1.25.

Профиль IV – IV. КЗУ = 4.22. Максимальные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.005 - 0.007$. Общие смещения в массиве, обусловленные преимущественно горизонтальными смещениями $U_{x-y} = 0.008 - 0.012$ м. Насыпь ЦПТ не испытывает существенных деформаций. В обводненном массиве КЗУ = 2.56, с учетом динамических нагрузок КЗУ = 1.18. Таким образом, численное моделирование устойчивости насыпи под конвейеры ЦПТ по профилям позволило выявить наиболее уязвимые участки подверженные деформациям и оползневым процессам (Рис. 2) и разработать мероприятия по укреплению насыпи ЦПТ (Рис. 3).

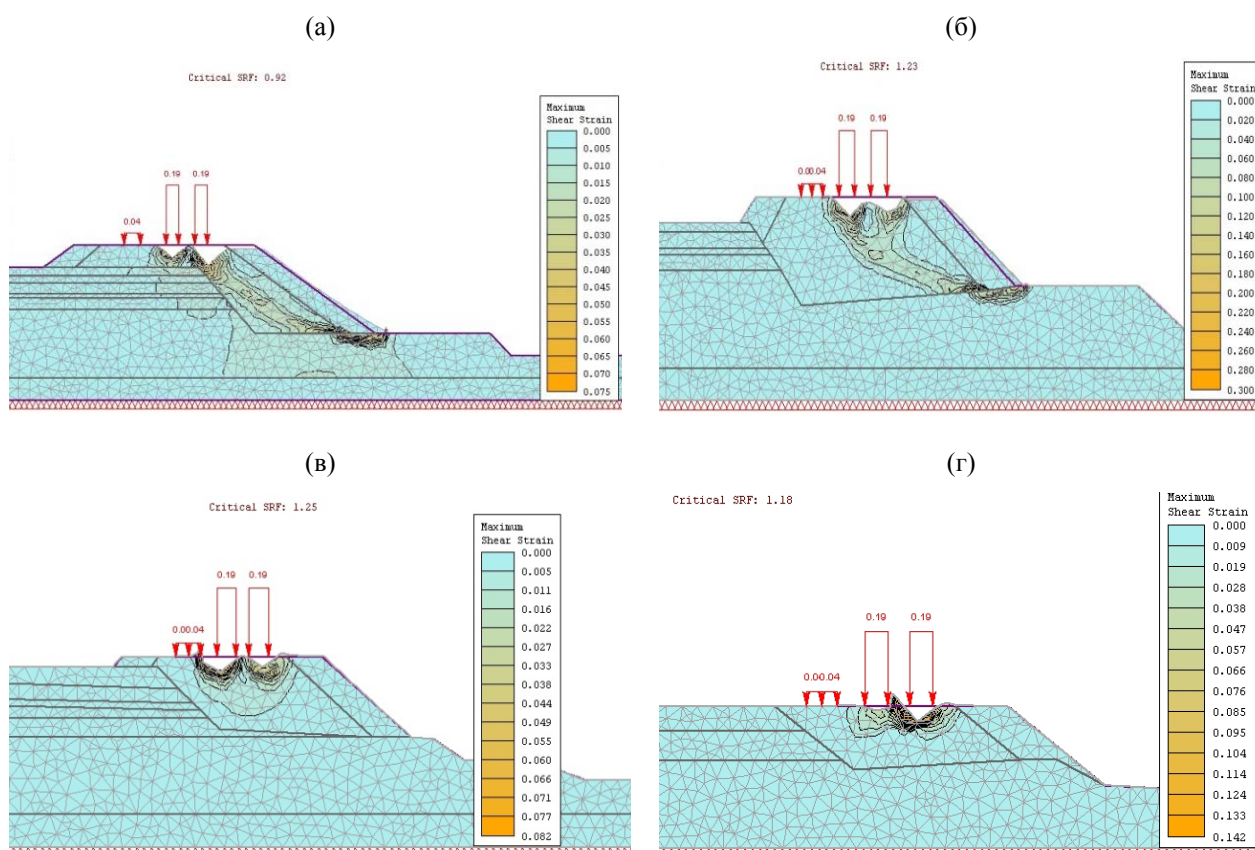


Рисунок 2. Устойчивость насыпи по профилям при динамических нагрузках от конвейеров и автотранспорта с учетом фактора обводненности насыпного массива: (а) профиль I – I (КЗУ = 0.92); (б) профиль II – II (КЗУ = 1.23); (в) профиль III – III (КЗУ = 1.25); (г) профиль IV – IV (КЗУ = 1.18)

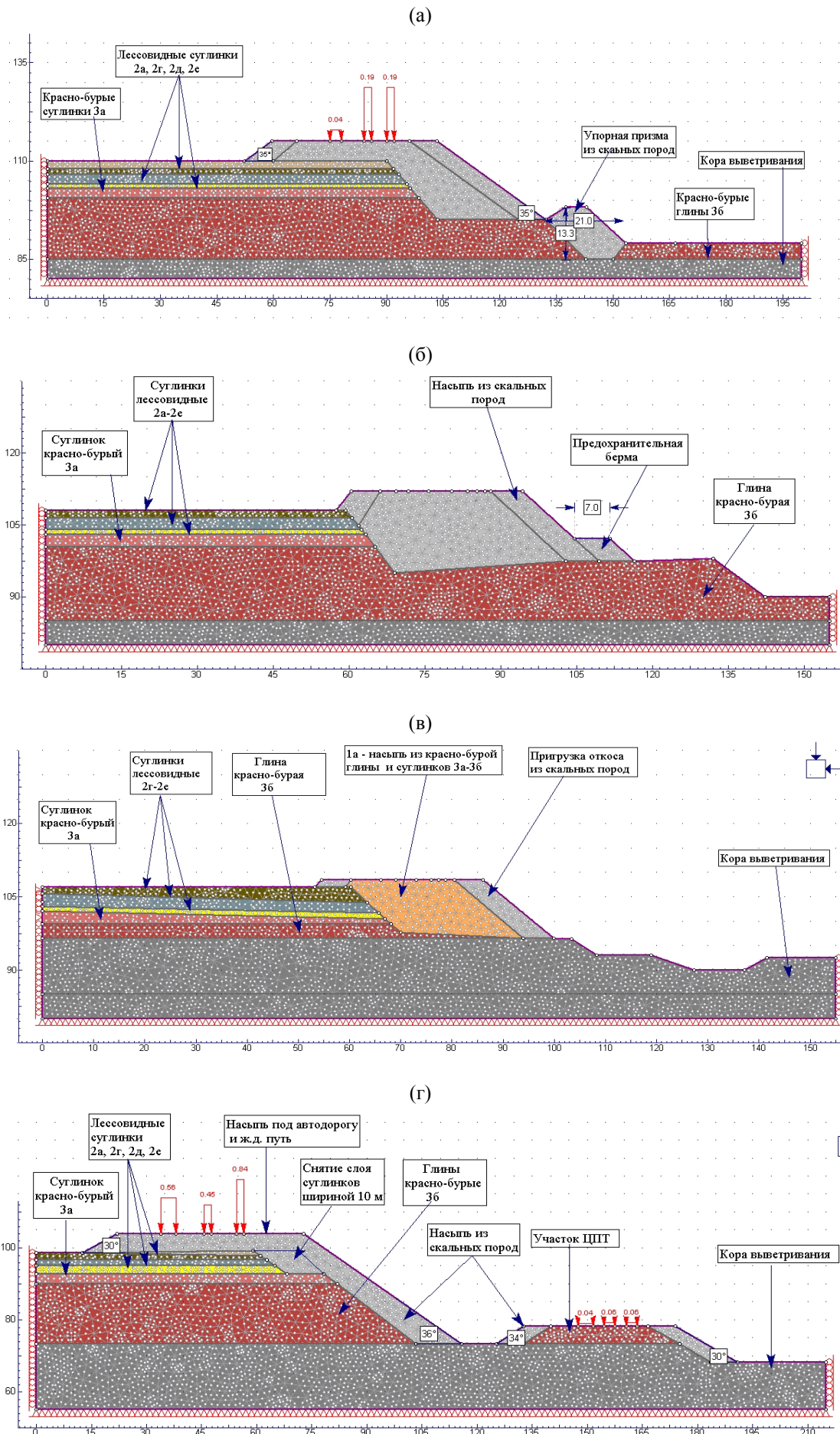


Рисунок 3. Мероприятия по укреплению ЦПТ по профилям: (а) I – I; (б) II – II; (в) III – III; (г) IV – IV

На основании полученных результатов были предложены мероприятия по укреплению насыпного массива, в частности для профилей I – I, II – II, III – III, IV – IV. Для остальных участков ЦПТ мероприятия по укреплению насыпи не требуются, поскольку они находятся в устойчивом состоянии ($KZY > 2.0$).

Мероприятия по профилю I – I. Целесообразно соорудить упорную призму из скальных пород. Для обеспечения устойчивости насыпи по данному профилю необходимо у нижней бровки выполнить выемку слоя красно-бурых глин до коры выветривания (Рис. 3а).

Насыпной массив по профилю I – I является устойчивым ($KZY = 5.44$). Несмотря на значительные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.2 - 0.375$ породный массив находится в устойчивом состоянии. При этом, отмечаются деформации левого откоса в слоях суглинков 2а – 2е, что связано с давлением пригрузки из скальных пород. Возникает потенциальная поверхность скольжения, проходящая в слоях суглинков и глин под скальной насыпью. В обводненном массиве $KZY = 2.79$. Общие смещения в массиве $U_{x-y} = 0.6 - 1.0$ м. Упорная призма из скальных пород, расположенная на коренных породах, является главным фактором устойчивости.

Мероприятия по профилю II – II. Предохранительная берма из скальных пород на откосе шириной 7 м с целью устранения оползня. Укрепленный откос профиля II – II является устойчивым ($KZY = 3.32$). При этом поверхность скольжения будет проходить по суглинкам и глинам вплоть до коренных пород, что обусловлено давлением скальной насыпи (Рис. 3б). Максимальные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.25 - 0.375$. В обводненном массиве $KZY = 3.26$. Общие смещения в массиве $U_{x-y} = 0.50 - 0.75$ м.

Мероприятия по профилю III – III. По профилю III – III значения абсолютных горизонтальных смещений в массиве составляют $U_x = 0.08 - 0.012$ м. Как и для профиля I – I, скальные породы, отсыпанные для закрепления поверхности откоса, подвергаются оползанию (Рис. 3в). При этом деформации практически не затрагивают слой насыпного грунта. Участок находится в устойчивом состоянии, $KZY = 10.7$. Максимальные сдвиговые деформации $\varepsilon_{\max} = 0.015 - 0.022$. Общие смещения в массиве, обусловленные преимущественно горизонтальными деформациями, $U_{xy} = 0.07 - 0.12$ м. В обводненном массиве $KZY = 6.93$. Общие смещения в массиве затрагивают всю приоткосную область, а их значения практически такие же как в необводненном массиве, $U_{x-y} = 0.15 - 0.225$ м.

Мероприятия по профилю IV – IV. Согласно результатам моделирования особое внимание заслуживает участок ЦПТ по профилю IV – IV ($KZY = 4.22$), где также наблюдаются оползания откосов. Для этого участка предложено укрепить участок призмой упора из вскрышных пород (Рис. 3г). Для обеспечения устойчивости откосов вблизи насыпи ЦПТ и расположенной ниже станции приводов с учетом максимальных нагрузок от горнотранспортного оборудования из верхнего уступа снимается призма суглинков шириной 10 м и на откос отсыпается скальная порода мощностью 6 – 7 м.

В основании пригрузки снимается слой красно-бурой глины 3б до коры выветривания. Левый откос насыпи ЦПТ укрепляется скальной породой шириной 7.3 м. Рекомендуемые углы откосов $\alpha = 30 - 36^\circ$.

Для обеспечения рекомендуемого $KZY = 2.0$ необходимо устранить влияние нагрузок от коммуникаций станции приводов на участок насыпи ЦПТ посредством снятия красно-бурых глин 3б до коры выветривания.

Профиль IV – IV с насыпью под автодорогу и ж.д. путь находится в устойчивом состоянии ($KZY = 5.51$) с учетом прочностных характеристик массива и внешних нагрузок. Имеют место сильные деформации и смещения массива пород обусловленные просадочными свойствами суглинков. Максимальные сдвиговые деформации по потенциальной линии скольжения $\varepsilon_{\max} = 0.3 - 0.5$. Общие смещения в массиве $U_{x-y} = 0.7 - 1.0$ м. Участок насыпи ЦПТ не испытывает деформаций. В обводненном массиве с учетом максимальных нагрузок от транспортного оборудования $KZY = 3.15$.

Таким образом, применение упорных призм из скальных пород обеспечивает требуемую устойчивость насыпи участка ЦПТ профилю IV – IV.

Результаты численного моделирования устойчивости насыпи ЦПТ по профилям с учетом статических и динамических нагрузок от конвейеров и автосамосвалов, обводненности насыпного массива сведены в Таблице 2.

Анализ результатов расчета KZY для откосов насыпи под открытую галерею ленточных конвейеров №5П и №6П, основания тела насыпи и откосов борта карьера показал, что устойчивость насыпного массива обусловлена комплексным воздействием геологических, гидрогеологических и техногенных факторов.

Геометрические параметры сооружения ЦПТ и физико-механические свойства пород насыпи играют ключевую роль для обеспечения стабильной эксплуатации объекта и его устойчивости. В результате расчетов KZY были промоделированы различные варианты укрепления откосов насыпи, однако наиболее эффективными способами являются разнообразные по форме пригрузки и удерживающие упорные призмы из скальных пород.

Обводненность основания насыпи является существенным фактором снижения устойчивости, но сложно прогнозируемым. Наиболее влагонасыщенными породами являются слой “2е” – суглинок светло-желтый и слой “3а” – суглинок красно-бурый. При условии укрепления откосов насыпи ЦПТ призмами упора из скальных пород влияние этого фактора менее значительно. KZY насыпи и откосов борта карьера также существенно снижается при учете статических и динамических нагрузок от линии конвейеров ЦПТ и горнотранспортного оборудования. При введении в расчет стационарных нагрузок (бетонное основание под конвейерные линии, ленточные конвейеры, нагрузка от горной массы на ленте конвейера) KZY уменьшается в 1.1 – 1.2 раза.

При введении динамических нагрузок (то же с добавлением динамики и веса пожарной автомашины) KZY уменьшается в 1.2 – 1.8 раза.

Таблица 2. Результаты расчетов КЗУ для насыпного массива

Профили участка ЦПТ	Необводненный массив			Обводненный массив			
	Без внешних нагрузок	Статические нагрузки	Динамические нагрузки	Без внешних нагрузок	Статические нагрузки	Динамические нагрузки	
I – I	*	1.63	1.59	1.49	1.02	0.99	0.92
	**	5.54	—	5.04	5.21	—	4.91
II – II	*	2.00	1.90	1.63	1.62	1.46	1.23
	**	3.32	—	3.14	3.26	—	3.12
III – III	*	10.70	5.73	2.14	6.93	3.16	1.25
	**	—	—	—	—	—	2.35
IV – IV	*	4.22	4.22	1.95	2.56	2.17	1.18
	**	—	—	5.51	—	—	3.15
V – V	*	3.01	2.85	2.82	2.06	2.03	2.01
	**	6.15	5.51	5.23	5.67	4.16	4.13
VI – VI	*	1.85	—	—	1.19	—	—
	**	3.71	—	4.59	2.48	—	2.31
VII – VII	*	19.59	—	3.57	3.09	—	2.77
	**	—	—	—	8.20	—	4.11
VIII – VIII	*	7.12	—	6.89	6.02	—	5.94
	**	—	—	—	—	—	8.48

*Без укрепления насыпи; **с учетом мероприятий по укреплению насыпи

4. ВЫВОДЫ

Устойчивость насыпного массива под открытую галерею ленточных конвейеров №5П и №6П участка ЦПТ обусловлено комплексным воздействием геологических, гидрогеологических и техногенных факторов. В работе выполнена геомеханическая оценка устойчивости наиболее оползнеопасных участков с учетом статических и динамических нагрузок, а также обводненности насыпного массива.

Согласно результатам численного моделирования и расчетам устойчивости насыпи, получены различные технические решения по обеспечению ее устойчивости. Предложены мероприятия по укреплению насыпного массива ЦПТ, в частности для профилей I – I, II – II, III – III, IV – IV в виде разнообразных по форме пригрузок и удерживающих упорных призм из скальных пород. Для остальных участков ЦПТ мероприятия по укреплению насыпи не требуются, поскольку они находятся в устойчивом состоянии ($KЗУ > 2.0$).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы работы выражают благодарность заведующему отделом геомеханических основ технологии открытой разработки Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины) профессору

Четверику Михаилу Сергеевичу за научное руководство при выполнении данных исследований.

REFERENCES

- Ali, M.A., & Morteza, O. (2014). Determination and stability analysis of ultimate open-pit slope under geomechanical uncertainty. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(1), 105-110.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.12.018>
- Chetverik, M., & Babiy, Ye. (2015). Justification of stability of filled-up embankment for conveyor gallery of the cyclic and progressive line at the Pervomaiskiy quarry. *Geotechnical Mechanics*, (123), 142-152.
- Grenon, M., & Hadjigeorgiou, J. (2010). Integrated structural stability analysis for preliminary open pit design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(3), 450-460.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.11.001>
- Li, K.G., Hou, K.P., & Yang, Z. (2011). Stability Analysis of High Rock Slope at a Open Pit Mine and its Control Measure. *Advanced Materials Research*, 261-263, 1549-1553.
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.261-263.1549>
- Rakishev, B., Kovrov, O., Moldabayev, S., & Babiy, Ye. (2016). Ensuring geomechanical stability of filled-up embankments for conveyors of cyclic and progressive technology. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (360), 103-110.
- Solodyankin, O., Kovrov, O., & Ruban, N. (2015). Investigation of physical and mechanical properties of subsident soils at the Yevpatoriyskaya ravine of Dnepropetrovsk City. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 51-57.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Комплексная оценка устойчивости откосов насыпи под ленточные конвейеры участка циклично-поточной технологии (ЦПТ) скальных пород вскрыши Первомайского карьера ПАО “Северный ГОК” для обоснования эффективных противооползневых мероприятий.

Методика. Для исследования геомеханической устойчивости насыпного массива и откосов путепровода ЦПТ использованы следующие методы: гидрогеологический анализ, визуальные наблюдения за особенностями объекта; фотосъемка; численное моделирование устойчивости откосов насыпи в программе конечно-элементного анализа Phase2.

Результаты. Расчет устойчивости откосов насыпи для открытой галереи ленточных конвейеров, основания тела насыпи и откосов борта карьера показал, что устойчивость насыпного массива обусловлена комплексным воздействием геологических, гидрогеологических и техногенных факторов. Геометрические параметры сооружения ЦПТ и физико-механические свойства пород насыпи играют ключевую роль для обеспечения стабильной эксплуатации объекта и его устойчивости. Выполнено численное моделирование различных вариантов укрепления откосов насыпи, при этом наиболее эффективными способами являются разнообразные по форме пригрузки и удерживающие упорные призмы из скальных пород.

Научная новизна. Определены коэффициенты запаса устойчивости (КЗУ) насыпного массива и откосов насыпи по профилям с учетом физико-механических свойств сложноструктурного насыпного массива, его обводненности и нагрузок горнотранспортного оборудования. Выявлены участки породного массива наиболее подверженные геомеханическим деформациям и смещениям.

Практическая значимость. На основании результатов моделирования разработаны противооползневые мероприятия для обеспечения стабильной эксплуатации комплекса ЦПТ, обеспечивающие устойчивость откосов насыпи и борта карьера.

Ключевые слова: циклично-поточная технология (ЦПТ), устойчивость откосов карьеров, устойчивость насыпных массивов, оползень, обводнение массива пород, коэффициент запаса устойчивости, критерий прочности Кулона-Мора

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Комплексна оцінка стійкості укосів насипу під стрічкові конвеєри ділянки циклічно-поточної технології (ЦПТ) скельних порід розкриття Першотравневого кар'єру ПАТ "Північний ГЗК" для обґрунтування ефективних протизсувних заходів.

Методика. Для дослідження геомеханічної стійкості насипного масиву і укосів шляхопроводу ЦПТ використані наступні методи: гідрогеологічний аналіз, візуальні спостереження за особливостями об'єкта; фотозйомка; чисельне моделювання стійкості укосів насипу в програмі кінцево-елементного аналізу Phase2.

Результати. Розрахунок стійкості укосів насипу для відкритої галереї стрічкових конвеєрів, основи тіла насипу і укосів борту кар'єру показав, що стійкість насипного масиву обумовлена комплексним впливом геологічних, гідрогеологічних і техногенних факторів. Геометричні параметри споруди ЦПТ і фізико-механічні властивості порід насипу відіграють ключову роль для забезпечення стабільної експлуатації об'єкта та його стійкості. Виконано чисельне моделювання різних варіантів зміцнення укосів насипу, при цьому найбільш ефективними способами є різноманітні за формою привантаження та утримуючі упірні призми зі скельних порід.

Наукова новизна. Визначено коефіцієнти запаса стійкості насипного масиву і укосів насипу за профілями з урахуванням фізико-механічних властивостей складноструктурного насипного масиву, його обводнення і навантажень гірничотранспортного устаткування. Виявлено ділянки породного масиву найбільш схильні до геомеханічних деформацій і зсувів.

Практична значимість. На підставі результатів моделювання розроблені протизсувні заходи для забезпечення стабільної експлуатації комплексу ЦПТ, що забезпечують стійкість укосів насипу і борту кар'єру.

Ключові слова: циклічно-поточна технологія (ЦПТ), стійкість укосів кар'єрів, стійкість насипних масивів, зсув, обводнення масиву порід, коефіцієнт запаса стійкості, критерій міцності Кулона-Мора

ARTICLE INFO

Received: 11 March 2016

Accepted: 16 May 2016

Available online: 30 June 2016

ABOUT AUTHORS

Oleksandr Kovrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 10/701, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: kovrov@rambler.ru

Kateryna Babiy, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow at the Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Simferopolska St, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: katebabiy@yandex.ua

Bajan Rakishev, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Open Cast Mining, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, 22 Satpayeva St, 050013, Almaty, Republic of Kazakhstan. E-mail: b.rakishev@mail.ru

Aidar Kuttybayev, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Open Cast Mining, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, 22 Satpayeva St, 050013, Almaty, Republic of Kazakhstan. E-mail: aidarasp@mail.ru