

2. Audio Spectrum Analyzer – OscilloMeter 7.31 (2014), available at: <http://audio-spectrum-analyzer-oscillometer-1.soft32.com> (Accessed 10.07.2015).

3. Nadutyy, V.P., Iagniukov, V.F. and Iagniukova, I.V., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2015), Sposob klassifikatsii trudnogrokhotimogo mineralnogo cyriya [Method of classification of hard-to-sieve mineral materials], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. №108453.

4. Nadutyy, V.P., Iegurnov, A.I. and Iagniukova, I.V. (2013), "Modernization of the vibrating roller classifier based on the vibroimpact mode application", *Visnyk NTU «HPI», Edition: Chemistry, Chemical Technology and Ecology*, vol.57 (1030), pp. 89-96.

5. Nadutyy, V.P., Ostapenko, V.A. and Iagniukov, V.F. (2006), *Sintez parametrov valkovykh klassifikatorov vibratsionnogo tipa* [The synthesis of parameters of vibrating roller classifiers], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

6. Nadutyy, V.P. and Iagniukov, V.F. (2002), "Perspective trends of intensification of mineral processing", *Zbagachennya korysnykh kopalyn* [Enrichment of Minerals], vol. 14(55), pp. 110-113.

7. Nadutyy, V.P., Iagniukov, V.F. and Prokopishyn, L.N. (2003), "Determining the influence of the design parameters of vibrating roller classifier on technological indicators", *Visnyk NTU «HPI»*, vol. 17, pp. 75-78.

8. Nadutyy, V.P., Iagniukov, V.F. and Prokopishyn, L.N. (2004), "The dependence of the productivity of the roller classifier on the dynamic parameters and properties of the mined rock", *Materialy mizhnarodnoy naukovo-tekhnichnoy konferentsii "Stalyy rozvytok girnycho-metalurgichnoy promyslovosti"*, [Materials of international scientific and technical conference «Sustainable development of mining and metallurgical industry], Kryviy Rih, Ukraine, 12 may 2004, vol.2, pp. 51-54.

9. Caughey, T.K. (1960), "Hula-Hoop: An Example of Heteroparametric Excitation", *American Journal of Physics*, vol. 28, no. 2, pp. 104-109.

10. Nadutyy, V.P., Iagniukov, V.F. and Prokopishyn, L.N. (2004), "The results of experimental research of the efficiency dependence of classification of vibrating roller classifier on its mode and design parameters", *Visnyk NTU «HPI»*, vol. 40, pp. 149-152.

Об авторе

Ягнюкова Ирина Владимировна, аспирант, инженер в отделе Механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, yagnyukova@gmail.com

About the author

Iagniukova Iryna Volodymyrivna, Doctoral Student, Engineer of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipropetrovsk, Ukraine, yagnyukova@gmail.com

Анотація. В статті наведено результати експериментальних досліджень з визначення сил ударної взаємодії робочих органів валкового вібраційного класифікатора з гірничою масою. Отримано залежності таких сил ударної взаємодії зіркової просіювальної поверхні валкового вібраційного класифікатора з кусковою гірничою масою. Сили ударної взаємодії визначені в залежності від конструктивних параметрів зірочок валків, таких як твердість гумового матеріалу по Шору А, приведена довжина консолі зірочки і кількість консольних пелюсток зірочки і режимних параметрів класифікатора, таких як кутова частота обертання зірочок. Експериментальні дослідження дозволили зробити висновок, що при виборі певних змінних параметрів на просіювальній поверхні, валкового вібраційного класифікатора у вигляді зірочок виникають додаткові сили, здатні зруйнувати внутрішні зв'язки злиплої гірничої маси. Аналіз даних результатів експериментальних досліджень буде представлений в подальших роботах автора.

Ключові слова: сили ударної взаємодії, зіркова просіювальна поверхня, віброударний режим, валковий вібраційний класифікатор, ударні елементи.

Abstract. The article presents results of experimental studies on determining forces of the shock interaction between executive tools of the vibrating roller classifier and the mined rocks. De-

pendence of these forces of the shock interaction between the star screening surface of vibrating roller classifier and lumpy rocks was specified. The forces of the shock interaction were determined depending on such design parameters of the roller stars as elasticity modulus of star rubber material, hardness of rubber material by Shore A scale, estimated length of the star console and number of the star console flaps, and depending on such mode parameters of the classifier as angular frequency of the star rotation. Findings of the experimental research are that, under the impact of certain selected variable parameters, additional star-like forces appear on the screening surface of a vibrating roller classifier which could destroy internal bonds inside a sticky rock mass. Analysis of the experimental results will be presented in the author's subsequent publications.

Keywords: forces of the shock interaction, star screening surface, vibroimpact mode, vibrating roller classifier, impactors.

Статья поступила в редакцию 21.07.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым

УДК 622.271:624.131.543

Четверик М.С., д-р техн. наук, профессор,
Бабий Е.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПИ ПОД КОНВЕЙЕРНУЮ ГАЛЕРЕЮ КОМПЛЕКСА ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ПЕРВОМАЙСКОМ КАРЬЕРЕ

Четверик М.С., д-р техн. наук, профессор,
Бабий К.В., канд. техн. наук, ст. науч. співроб.
(ІГТМ НАН України)

ОБҐРУНТУВАННЯ СТІЙКОСТІ НАСИПУ ПІД КОНВЕЄРНУ ГАЛЕРЕЮ КОМПЛЕКСУ ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ПЕРШОТРАВНЕВОМУ КАР'ЄРІ

Chetverik M.S., D.Sc. (Tech.), Professor,
Babiy K.V., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

STUDY OF THE DUMP STABILITY UNDER THE CONVEYOR GALLERY IN THE COMPLEX WITH CYCLIC-AND-CONTINUOUS TECHNOLOGY IN THE PERVOMAISKY QUARRY

Аннотация. Цель работы - изучение причин оползневых процессов в насыпи под конвейерную галерею циклично-поточной технологии (ЦПТ) на Первомайском карьере и разработка рекомендаций по обеспечению ее устойчивости.

Изучено геологическое и гидрогеологическое состояние массива горных пород Первомайского карьера. Выполнена диагностика массива путем электрометрических измерений. Определен уровень подземных вод (верховодки) и увлажненность пород. Установлено, что главной причиной возникновения оползня в верхней части насыпи является отсечение мест разгрузки подземных вод из лессовидных суглинков в карьер. Это привело к ослаблению ос-

нования насыпи. Выполнено моделирование конструкций насыпи по укреплению для обоснования противооползневых мероприятий. Выполнены расчеты коэффициента запаса устойчивости, которые показали, что технические решения по обеспечению устойчивости должны

© М.С. Четверик, Е.В. Бабий, 2015

быть направлены на укрепление основания насыпи и снижение на него нагрузок в виде скальной пригрузки. Разработаны технические решения, обеспечивающие устойчивость насыпи при соответствующих технологических нагрузках и сейсмическом воздействии до 8 баллов при взрывных работах.

Ключевые слова: карьер, оползни, циклично-поточная технология, подземные воды, электрометрическая диагностика.

Введение. Первомайский карьер вскрывает почти всю разведанную часть Первомайского месторождения, имеет длину 2800 м, ширину 2600 м, глубину 400 м при максимальной проектной глубине отработки 650 м. Это крупный механизированный карьер, разработка которого осуществляется с помощью буровзрывных работ и экскаваторной погрузки вскрышных пород и руды. Транспортировка рудной горной массы с нижних горизонтов карьера осуществляется большегрузными автосамосвалами до дробильного узла на горизонте - 115 м. Скальные вскрышные породы отрабатываются автомобильно-железнодорожным транспортом. Ввиду интенсивного понижения горных работ, увеличения объемов скальной вскрыши и дальности ее транспортирования, комбинатом принято решение о строительстве комплекса циклично-поточной технологии для транспортирования скальных вскрышных пород.

Согласно проектной документации ООО «Южгипроруда» «Циклично-поточная технология скальных пород вскрыши в Первомайском карьере» комплекс состоит из двух частей: с нижних горизонтов до гор. +62 м ставы конвейерного подъемника располагают в стволе, а на верхних горизонтах – в открытой галерее.

В данной работе рассматриваются оползневые процессы, которые проявились при строительстве ЦПТ особенно активно в районе расположения насыпи под конвейерные линии на земной поверхности и на верхних горизонтах карьера, причины их возникновения и мероприятия по ликвидации.

Анализ исследований и публикаций. Значительный вклад в научное обоснование геомеханического состояния объектов горнодобывающей промышленности, а именно в области устойчивости откосов уступов, ярусов отвалов и бортов карьеров внесли А.И. Арсентьев, Ю.П. Астафьев, В.Ф. Бызов, В.Г. Близнюков, С.Ф. Власов [1], Е.Л. Галустян, Э.Г. Газиев, А.Ю. Дриженко [2], Е.А. Несмашный [3], Ю.М. Николашин [4], М.Г. Новожилов, Н.Е. Певзнер, С.З. Полищук [5], Б.Н. Тартаковский, Г.Л. Фисенко, П.Й. Федоренко, А.Г. Шапарь, А.Н. Шашенко [6] и др. [7-9].

На протяжении многих десятилетий ученые и производственники занимаются исследованиями геомеханического состояния вмещающих пород, разрабатывают модель развития процесса сдвижения горных пород, обосновывают выбор расчетных схем устойчивости оголенных поверхностей или подработанного массива, разрабатывают способы укрепления бортов карьеров и откосов от-

валов для различных горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации этих объектов. Однако, несмотря на полученные знания, на производстве продолжают происходить оползневые процессы, поэтому необходимо их изучение для выяснения причин возникновения и ликвидации последствий.

Постановка задания. Задачами работы являлись:

- анализ гидрогеологической ситуации в районе строительства и установление причин оползневых процессов;
- электрометрическая диагностика массива с целью определения оползнеопасных участков и степени увлажненности пород;
- разработка мероприятий, обеспечивающих устойчивость борта карьера и сооружений;
- расчет устойчивости насыпи под конвейер, борта карьера в существующем положении, по проектным решениям, с учетом статических и динамических нагрузок и мероприятиями по обеспечению устойчивости.

Изложение материала и результатов. При строительстве насыпи - основания галереи для конвейерного подъемника вскрышного комплекса ЦПТ в верхней его части произошел оползень в мае 2011 г. (рис. 1) и несколько оползней по верхним уступам карьера мягкой вскрыши.



Рисунок 1 - Оползень насыпи конвейерного тракта

Для выяснения причин возникновения оползневых процессов были изучены материалы геологических и гидрогеологических изысканий ранее выполненные геологической службой карьера, специалистами «ДнепроГИИНТИЗ» и др. организациями. Эти изыскания заключались в бурении инженерных наблюда-

тельных скважин вдоль южного борта карьера и замерах уровня подземных вод.

Анализ геологического строения массива горных пород в районе строительства комплекса 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 2-ого слоя - суглинок лессовидный, макропористый, серовато-бурый, пластичный.

Гидрогеологическими изысканиями установлено, что водоносный горизонт в лессовидных суглинках 2-го слоя отсутствует в результате образования депрессионной воронки вокруг карьера, но в нем накапливается осенне-зимняя влага, а также текущие атмосферные осадки, разгрузка которых происходит в карьер и близлежащую речку. При выполнении изысканий подземные воды обнаружены единственной скважиной №7058, которая расположена на расстоянии 100 м от центра основания насыпи под галерею ленточных конвейеров (рис. 2).

Из данных маркшейдерской съемки следует, что участок, охваченный оползневым процессом, представляет собой большой массив горных пород. Он включает как техногенные породы (непосредственно насыпные: глины и скальная пригрузка) так и естественного залегания, на которых возведена насыпь (суглинки и красно-бурые глины).

В месте расположения насыпи горными работами лессовидные суглинки 2-го слоя, в основном, отработаны. Однако, верхняя часть насыпи расположена на естественных отложениях, где вскрыты лессовидные суглинки. Из них происходила фильтрация подземных вод в водоем 1 (см. рис. 2), который по данным маркшейдерской службы карьера, существовал до строительства насыпи.

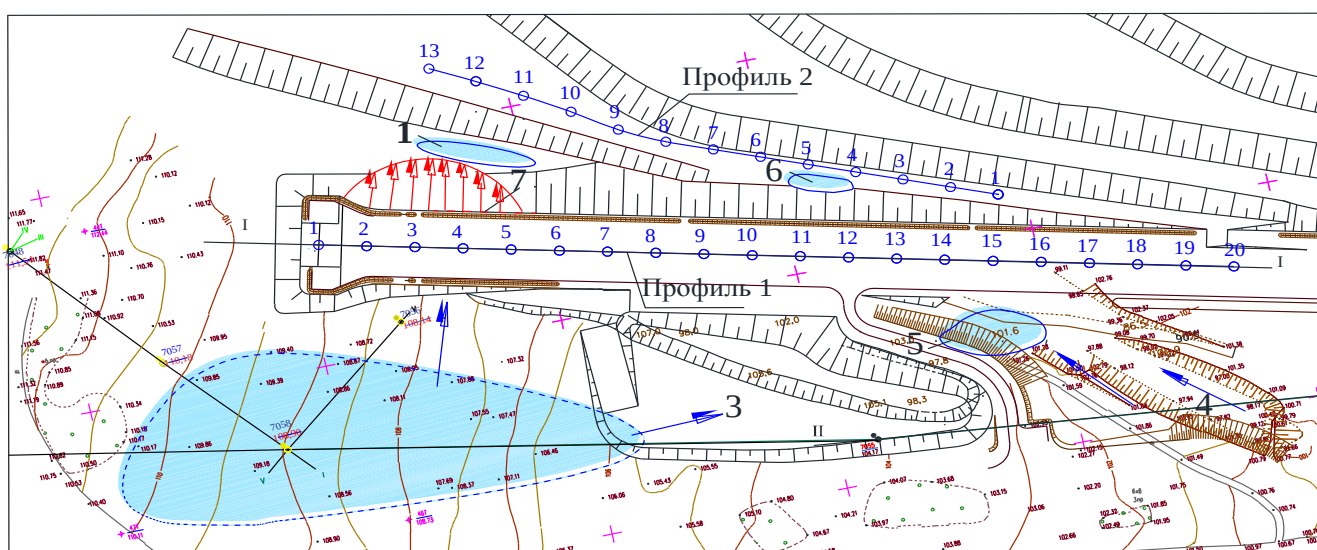


Рисунок 2 – Совмещенный ситуационный план строительства насыпи ЦПТ с гидрогеологическими, электрометрическими изысканиями

В нижней части насыпи, в районе перехода насыпи с поверхности в карьер,

лессовидные суглинки 2-го слоя вскрыты. В результате фильтрации подземных вод образовались водоемы 5 и 6 (см. рис. 2).

Для определения уровня подземных вод (верховодки) или увлажненных пород, мест их напряженного состояния были произведены электрометрические измерения сопротивления массива горных пород, которые выполнялись по методике, изложенной в работе [10]. Электрометрические измерения производились по двум профильным линиям (см. рис. 2) непосредственно по насыпи и западнее насыпи, вдоль нее. Уровень увлажненности пород соответственно по профилям 1 и 2 представлен на рисунке 3.

Одновременно работниками СевГООКа по предложению сотрудников ИГТМ НАН Украины была произведена откачка воды из водоема 1 у основания оползня (см. рис. 2). В результате определен объем откачанной воды исходя из площади зеркал воды до и после откачки. Для выяснения связи с подземными водами был рассчитан объем подземной воды, обнаруженный скважиной № 7058.

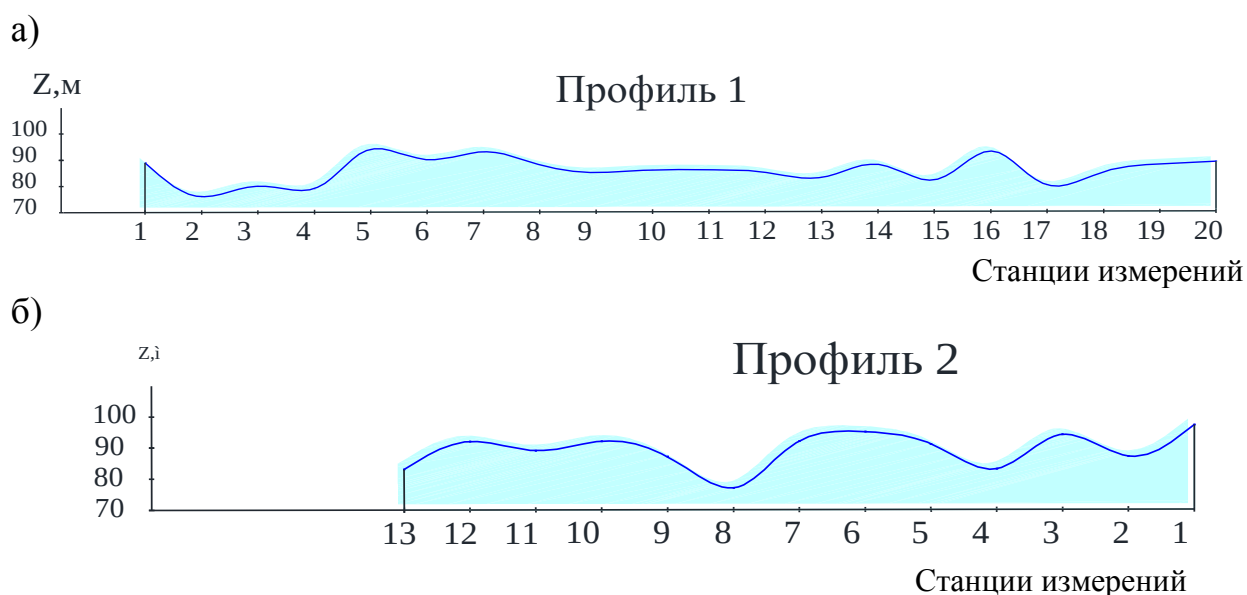


Рисунок 3 - Уровень увлажненности пород: а) по профилю 1; б) по профилю 2

В связи с тем, что фильтрация подземных вод из под оползня могла быть не существенной и соизмеримой с испарениями, то, для более точного установления факта ее существования, была произведена повторная откачка воды из водоема. По данным маркшейдерской службы после откачки воды произошло дополнительное оседание оползня еще на 2 м, что может свидетельствовать о том, что и внутри оползня находилась вода или были высокоувлажненные породы.

Измеренный и расчетный уровень увлажненности (напряженности) массива на станциях 2, 3, 4 (см. рис. 3 а), непосредственно в районе оползня, свидетельствуют о том, что породы находятся в менее влажном состоянии (вода «отжата»), чем на станциях 5, 6, 7, которые расположены непосредственно напротив водоема под оползнем. Это же подтверждают измерения по профилю 2, где

станции 10, 11, 12, 13, расположенные также непосредственно напротив водоема под оползнем. Наличие водоема 5 (см. рис. 2) приводит к увлажненности пород на более высоких отметках в районе насыпи на станции 16 (см. рис. 3 б), а водоема 6 на станциях наблюдений 5, 6, 7 по профилю 2.

Проведенная электрометрическая диагностика массива горных пород позволила решить две задачи:

1) определить оползнеопасные участки и построить по ним геологические профили для расчета устойчивости сооружения;

2) на оползнеопасных участках уточнить существующую влажность пород, которая приводит к ослаблению устойчивости сооружения или цементированию основания конструкции;

Таким образом, причиной произошедшего оползня по откосу насыпи при строительстве комплекса ЦПТ, является отсечение мест разгрузки подземных вод из передавленных природных макропористых глинистых пород (лессовидные суглинки), что привело к ослаблению основания насыпи.

На основании выполненных изысканий и расчетов предложены рекомендации по ликвидации оползневого процесса, которые включают: откачать остатки воды из водоемов 1, 5 и 6 (см. рис. 2); произвести выемку увлажненных пород; утрамбовать дно образовавшихся котлованов до плотности $1,7 \text{ т/м}^3$; произвести уборку осунувшихся горных пород до образовавшихся трещин и до слоя плотных красно-бурых глин; сделать дренажную и упорную призму из крупнокусковой скальной породы для создания упора ненарушенной насыпи и укрепления основания вновь строящейся насыпи.

Для разработки противооползневых мероприятий, обеспечивающих устойчивость конструкции ЦПТ, а также уступов и борта карьера был выполнен расчет коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) насыпи под конвейерную галерею и борта карьера в существующем положении, по проектным решениям и с мероприятиями по обеспечению устойчивости. В расчетах моделировались условия с учетом статических и динамических нагрузок, сейсмического воздействия до 8 баллов (по заданию заказчика) в двух положениях основания насыпи (обводненного и необводненного) (табл. 1). В качестве инструмента моделирования использована программа конечно-элементного анализа Phase2 компании Rocscience Inc., которая позволяет выполнять анализ устойчивости откосов методом конечных элементов. Алгоритм расчета коэффициента устойчивости массива включает моделирование прочностных характеристик во всех элементах массива посредством поэтапного нагружения модели, в результате чего напряжения в откосе достигают предела прочности на сдвиг и возникает сдвижение пород (оползень). Процесс вычисления коэффициента запаса устойчивости повторяется до момента потери откосом устойчивого состояния и графически отображается в виде наиболее вероятной линии скольжения, по которой происходит сдвижение массива. (Расчетная часть выполнялась совместно с канд. техн. наук А.С. Ковровым).

Анализ результатов расчета коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) откосов насыпи под открытую галерею ленточных конвейеров, основания тела

насыпи и откосов борта карьера показал, что на КЗУ конструкции влияют 4 группы факторов.

Таблица 1 – Результаты расчета КЗУ по разрезам

	Было по проекту				Первичные мероприятия, перечисленные в п.4				Мероприятия по укреплению оснований насыпи			
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	I-I	II-II	III-III	IV-IV	I-I	II-II	III-III	IV-IV
Стационарное положение без нагрузок												
В необводненном массиве	2,85	2,00	10,7	4,22	1,63	1,61	1,37	1,55	5,44	4,16		
						2,24						
						2,41						
						2,54						
В обводненном массиве	2,79	1,62	6,93	2,56	1,43	1,51	1,10	0,88	5,21	3,89		
Проектное положение в необводненном массиве с нагрузками												
Статические нагрузки	2,82	1,90	5,73	3,22								
Динамические нагрузки	2,81	1,63	2,14	1,95					5,04			
Статические нагрузки и сейсмика		1,37	5,13	3,05								
Динамические нагрузки и сейсмика	1,47	1,20	2,06	1,94	1,09	1,47			3,05			
Проектное положение в обводненном массиве с нагрузками												
Статические нагрузки		1,46	3,59	2,57					4,03	3,00	3,50	3,32
Динамические нагрузки	2,76	1,23	3,16	1,18		1,22						
Статические нагрузки и сейсмика		1,03	1,57	1,91					2,86	2,44	2,53	2,22
Динамические нагрузки и сейсмика	1,42	0,90	1,25	1,18		1,23						

1. Обводненность основания насыпи. Согласно данным геологических изысканий природная влажность литологических слоев 0,20-0,26 д.ед.

В расчетах для учета влияния гидрогеологических факторов на устойчивость сооружения задавался уровень грунтовых вод в виде статического напора в двух точках на левой и правой границе модели. Гидравлические свойства для каждой литологической разности массива пород рассчитывались, используя эмпирический метод Ван-Генухтена. Согласно геологическим изысканиям и расчетам по эмпирическим зависимостям, наиболее влагонасыщенными породами являются слой «2е» - суглинок светло-желтый и слой «3а» - суглинок красно-бурый.

Однако при расчете КЗУ конструкции обводненность влияет незначительно по сравнению с другими факторами. Так при расчете одних и тех же условий (форма конструкции и нагрузки) при повышенной влажности основания, КЗУ уменьшается всего на 0,2-0,4 ед.

2. Статические и динамические нагрузки. КЗУ насыпи и борта карьера существенно снижается относительно стационарного положения укрепленной насыпи при завершении строительства без нагрузок. При введении в расчет стационарных нагрузок (бетонное основание под конвейерные линии, ленточные конвейеры, нагрузка от горной массы на ленте конвейера) КЗУ уменьшается в 1,1-1,2 раза. При введении динамических нагрузок (то же с добавлением динамики и веса пожарной автомашины) КЗУ уменьшается в 1,2-1,8 раза.

3. Сейсмическое воздействие от массовых взрывов. При расчете КЗУ было выявлено, что максимально негативное влияние имеет сейсмика при массовых взрывах. Особенно разрушающее действие она приобретает в комплексе с динамическими нагрузками, что доказывает необходимость минимизировать их влияние.

Так при моделировании процесса устойчивости без кардинальных мероприятий в комплексе с сейсмическим воздействием ни один расчет КЗУ не дал более 2 ед. В расчетах было принято влияние сейсмичности до 8 баллов, что соответствует ближнему рубежу до очага взрыва. Учитывая дальность расположения добычных уступов и характер расположения вскрышных уступов, отработка которых производится с ведением взрывных работ, КЗУ был рассчитан с более низкой сейсмичностью.

Анализ влияния сейсмических нагрузок показал, что в зависимости от конструкции изучаемого разреза (литология, гидрогеология и форма насыпи) КЗУ с каждым баллом сейсмического воздействия изменяется на 0,13-0,21 ед.

4. Форма конструкции. Моделирование процесса устойчивости откосов насыпи под ленточные конвейеры показало, что первоочередное влияние имеет форма конструкции, основание конструкции, строение и состав тела насыпи. В результате расчетов КЗУ были промоделированы различные мероприятия по повышению устойчивости:

- разделение откоса на два подступа;
- выполаживание откоса насыпи под 15-20 градусов;
- выполаживание нижнего подступа под 15-20 градусов;

- устройство скальной подушки вдоль насыпи;
- укрепление откоса путем увеличения его мощности;
- бетонирование скважин в теле насыпи и в основании;
- скальная пригрузка основания конструкции.

Характер распространения деформаций в массиве показывает выдержанную потенциальную линию скольжения, которая начинается в теле насыпи и захватывает основание конструкции (рис. 4). И чем больше в модели заложено скальной пригрузки, тем ниже КЗУ. Это говорит о том, что, имея слабое основание из красно-бурых глин, увеличение статической нагрузки (от скальной пригрузки) снижает коэффициент запаса устойчивости насыпи.

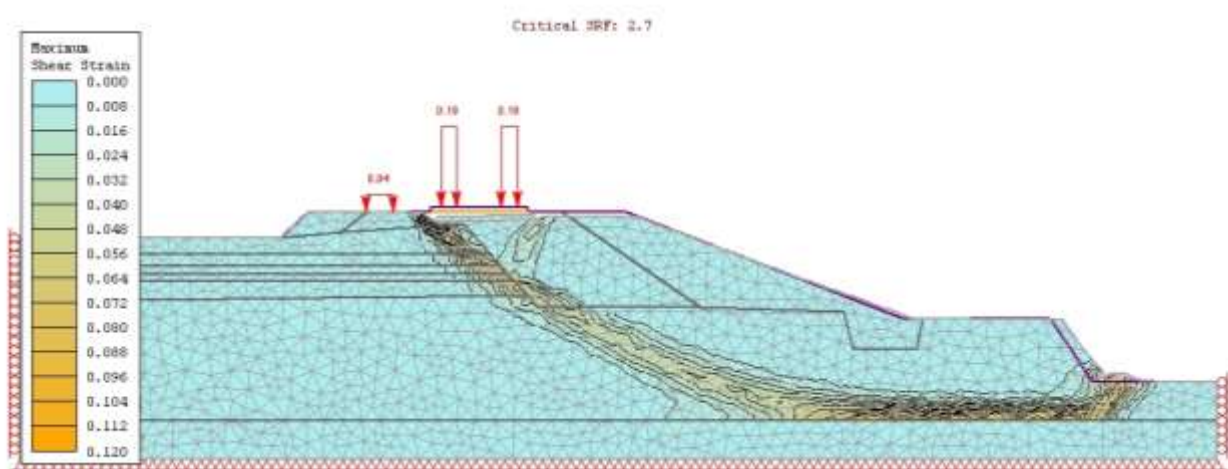


Рисунок 4 – Потенциальная линия скольжения оползня в насыпи и пород основания

Анализ расчетов КЗУ при моделировании формы насыпи дают практически одинаковые величины (без сейсмического воздействия 2,2-2,4 (см. табл. 1); с сейсмическим воздействием – 1,2-1,4). Тогда как моделирование мероприятий по укреплению основания насыпи дают лучшие результаты (без сейсмического воздействия – 5,0-5,5; с сейсмическим воздействием 3,05-3,02).

Выводы.

1. Главной причиной неустойчивости насыпи является низкая несущая способность ее основания, представленная лессовидными суглинками и глинами.
2. Технические решения по обеспечению устойчивости должны быть направлены не на укрепление насыпи, а укрепление ее основания, в т.ч. снижение нагрузок на него в виде скальной пригрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов, С.Ф. Повышение устойчивости оползнеопасных склонов с помощью струйной технологии закрепления грунтов / С.Ф. Власов, Н.А. Максимова-Гуляева. – Днепропетровск, 2010. – 143 с.
2. Дриженко, А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы / А.Ю. Дриженко. – Д.: Государственный ВУЗ «НГУ», 2011. – 542 с.
3. Несмашный, Е.А. Обзор технологий и технических средств для геомеханического мониторинга состояния бортов карьеров и отвалов / А.Е. Немашный, Г.И. Ткаченко, А.В. Болотников // Сб. Разработка рудных месторождений. – 2010. – Вып. 93. – С. 89-94.
4. Ніколашин, Ю.М. Маркшейдерський контроль деформаційних процесів для прогнозу стійкості

укосів глибоких кар'єрів: дис.... д-ра техн. наук: 05.15.01: захищена 16.03.2001 / Ніколашин Ю.М. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2000. – 304 с.

5. Полищук, С.З. Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика / В.В. Голуб, С.З. Полищук, И.Л. Ветвицкий. - Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011. - 172 с.

6. Шашенко, А.Н. Влияние сложной геологической структуры и обводнения массива пород на устойчивость откосов карьеров / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Науковий вісник НГУ. - 2011. - № 5-6. – С. 36-42.

7. Vogel, T. Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions/ Vogel T., van Genuchten M. and Cislerova M. - Adv. Water Res. 2001. -№ 24. - pp.133-144.

8. Бабий, Е.В. Комплексный анализ причин развития оползневых процессов в техногенно нарушенных массивах (на примере Анновского карьера) / Е.В. Бабий, В.Н. Гребенник // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск. - 2008. – Вып. 77 – С. 16-24.

9. Ткаченко, Г.І. Розроблення методу розрахунку стійкості зовнішніх відвалів з урахуванням неоднорідності розкривних порід і слабкої основи: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.15.01: захищена 23.05.2008 / Ткаченко Г.І. – Кривий Ріг: Криворізький технічний університет, 2008. – 20 с.

10. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике массива и подземных геотехнических систем. – Днепропетровск ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины, 2004. – 75 с.

REFERENCES

1. Vlasov, S.F. and Maksimova-Gulyaeva, N.A. (2010), *Povyshenie ustoychivosti opolzneopasnykh sklonov s pomoshchyu struynoy tekhnologii zakrepleniya gruntov* [Enhancing the stability of landslide slopes by using jet grouting technology], SHEI “NMU”, Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Drizhenko, A.Yu. (2011), *Karernye tekhnologicheskie gornotransportnye sistemy* [Career technology mining transportation systems], SHEI «NMU», Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Nesmashnyy, E.A., Tkachenko, G.I. and Bolotnikov, A.V. (2010), “Overview of technologies and technical means for geomechanical monitoring of the quarry and dumps”, *Razrabotka rudnykh mestorozhdeney*, vol. 93, pp. 89-94.

4. Nikolashin, Y.M. (2000), “Surveying the control of deformation processes to predict slope stability of deep quarries”, D. Sc. Thesis, mining surveying, National mining Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

5. Golub, V.V., Polishchuk, S.Z. and Vetvitskiy, I.L. (2011), *Novye podkhody k otsenke ustoychivosti otkosov i sklonov: teoriya i praktika* [New approaches to the assessment of stability of slopes: theory and practice], ChMP «Ekonomika», Dnepropetrovsk, Ukraine.

6. Shashenko, A.N. and Kovrov, A.S. (2011), “The influence of complex geological structures and watering array of species on the stability of slopes quarry”, *Naukoviy visnyk NGU*, vol. 5-6, pp. 36-42.

7. Vogel, T., van Genuchten, M. and Cislerova M. (2001), “Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions”, *Adv. Water Res.*, vol. 24, pp.133-144.

8. Babiy, E.V. and Grebennik, V.N. (2008), “A comprehensive analysis of the reasons for the development of landslide processes in man-disturbed massif (for example Annovsky quarry)”, *Geotekhnicheskaya mekhanika [Geo-Technical Mechanics]*, no. 77, pp. 16-24.

9. Tkachenko, G.I. (2008), “Development of a method of calculating the stability of external piles taking into account the heterogeneity of rocks disclosure and weak bases” Abstract of Ph.D. dissertation, mining surveying, Kryvyi Rig technical university, Kryvyi Rig, Ukraine.

10. Toolkit for integrated geophysical diagnostics array of geotechnical and underground systems (2004), M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, 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), Днепропетровск, Украина, chetverik.mihail@inbox.ru.

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), Днепропетровск, Украина, katebabiy@yandex.ru.