

ENSURING GEOMECHANICAL STABILITY ASSESSMENT OF THE GROUND EMBANKMENT FOR CONVEYOR OF CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY

B.R. Rakishev¹, O.S. Kovrov², S.K. Moldabayev¹, Ye.V. Babiy²

¹Kazakh national research technical university after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan

²National Mining University" Dnipropetrovsk, Ukraine

b.rakishev@mail.ru

Keywords: cyclic and progressive technology (CPT), stability of quarry slopes, stability of filled-up massifs, landslide, rock massif watering, safety factor, Mohr-Coulomb failure criterion

Abstract. The paper deals with the numerical simulation of geomechanical and hydrogeological processes occurred in the filled-up massif while building the embankment for conveyors of cyclic and progressive technology (CPT) for overburden rocks at the Pervomaitskiy quarry, Severnyi ore mining and processing enterprise (SevGOK, Ukraine). The object of the study is the landslide processes which appeared during the construction of the embankment for CPT conveyor lines on the daylight surface and in the upper horizons of the quarry.

As a result of the numerical simulation of the slopes and embankment stability, the safety factors (SF) for the longitudinal and transverse profiles were calculated, taking into consideration physical and mechanical properties of the complex-structured rock massif, filtering atmospheric precipitations, loading from mining equipment and seismic effects from massive explosions at the quarry. The areas with the most exposed rock mass deformations and displacements are identified.

Obtained simulation results allowed develop anti-landslide measures to provide stable operation of the CPT complex and ensure the stability of embankment slopes and open pit edges. Some geological, hydro-geological and technological data relevant to this case study were provided by "Yuzhghiproruda" Ltd. (Ukraine) and have been used during this study.

УДК [622.271.33:624.131.537].001.57

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПЕЙ ДЛЯ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Б.Р. Ракишев¹, А.С. Ковров², С.К. Молдабаев¹, Е.В. Бабий²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

²Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

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

Аннотация. Перспектива эффективной реализации на многих глубоких карьерах Казахстана комплексов циклично-поточной технологии (ЦПТ) напрямую связана с устойчивостью их бортов. Особенно это касается открытой разработки железорудных месторождений, имеющих значительные мощность наносов и приток подземных и паводковых вод. Поэтому изучение методологии предотвращения оползневых процессов в местах сооружения насыпей из скальных пород для конвейерных линий комплекса ЦПТ на земной поверхности и на верхних горизонтах Первомайского карьера СевГОКа (Украина) позволяют учесть возможные проявления деформации массива уже на стадии их проектирования. В результате численного

моделирования устойчивости массива и откосов насыпи определены коэффициенты запаса устойчивости (КЗУ) насыпи для продольного и поперечных профилей с учетом физико-механических свойств сложноструктурного насыпного массива, фильтрации атмосферных осадков, нагрузок транспортного оборудования и сейсмических воздействий от массовых взрывов на карьере. Выявлены участки породного массива, наиболее подверженные деформациям и смещениям. На основании результатов моделирования разработаны противооползневые мероприятия по обеспечению устойчивости откосов насыпи и борта карьера, что стабилизирует эксплуатацию комплекса ЦПТ. При выполнении работы были использованы геологические, гидрогеологические и технологические данные по рассматриваемому объекту, представленные ООО «Южгипроруда».

Введение.

Глубина многих карьеров Казахстана уже превышает 300-350 м. Эффективная разработка таких месторождений может быть обеспечена только при циклично-поточной технологии (ЦПТ). Увеличение притока подземных вод с глубиной в открытые выработки и наличие мощной толщи наносов из мягких пород сопровождается снижением устойчивости бортов карьеров. Поэтому исследования по проблемам повышения эффективности перехода на конвейерный транспорт в слабоустойчивых породах по-прежнему актуальны.

Некоторый опыт в этом направлении накоплен Первомайским карьером Северного ГОКа. Он является одним из самых мощных карьеров Украины с проектной производительностью 26 млн. тонн сырой руды в год. Размеры его по поверхности достигают 3100×2600 м при глубине 475 м. Максимальная проектная глубина отработки – 650 м. Нижний его горизонт находится на отметке – 355 м. Транспортировка руды с нижних горизонтов карьера осуществляется большегрузными автосамосвалами до дробильного узла на горизонте – 115 м, а скальных вскрышных пород – автомобильно-железнодорожным транспортом. При существующей на карьере технологии горных работ конвейерные подъемники комплекса ЦПТ располагаются в открытой галерее на горизонтах от +111,0 м до +62 м, пересекая несколько верхних вскрышных уступов [1].

В связи с проявлением оползневых процессов в насыпном массиве участка ЦПТ и накоплением осенне-зимней влаги возникла необходимость в разработке противооползневых мероприятий, обеспечивающих устойчивость сооружений под конвейер, а также уступов и борта карьера.

Цель работы состоит в комплексной оценке устойчивости откосов насыпи под ленточные конвейеры участка ЦПТ скальных пород вскрыши Первомайского карьера.

Для ее достижения решены следующие задачи: выполнено численное моделирование устойчивости насыпного массива и откосов путепровода ЦПТ; определены коэффициенты запаса устойчивости для продольного и поперечных профилей с учетом физико-механических свойств сложноструктурного насыпного массива; предложены мероприятия, обеспечивающие устойчивость борта карьера и сооружений.

Методология исследования. При изучении 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.

Программа Phase2 позволяет выполнять анализ устойчивости откосов методом конечных элементов, рассчитывая коэффициент снижения предела прочности на сдвиг (*ShearStrengthReductionMethod*) в породном массиве, который по своему смыслу является эквивалентным коэффициенту запаса устойчивости (КЗУ). Алгоритм расчета КЗУ массива включает итерационное вычисление 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 вычислений повторяется до момента потери откосом устойчивого состояния и графически выражается в виде наиболее вероятной линии скольжения, по которой происходит сдвижение массива.

В качестве критерия прочности для оценки устойчивости насыпи принят критерий Кулона-Мора [2]. Для учета влияния гидрогеологических факторов на устойчивость сооружения задается уровень грунтовых вод. Гидравлические свойства для каждой литологической разности массива пород задаются согласно эмпирическому методу Ван Генухтена [3].

Для учета сейсмического воздействия на объекты промышленного и гражданского строительства часто используют уровневую градацию максимальных горизонтальных ускорений на поверхности земли при землетрясении различной балльности [4]. Применительно к 12-ти балльной сейсмической шкале укоренились следующие нормативные соотношения баллов и ускорений: землетрясениям с интенсивностью 5, 6, 7, 8, 9, 10 баллов назначаются максимальные (тиковые) ускорения акселерограмм, соответственно равные значениям 0,025, 0,05, 0,1, 0,2, 0,4, 0,8 (в долях ускорения свободного падения g) соответственно.

Исходные данные. ЦПТ 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 [5, 6].

Конвейер для транспортирования скальных вскрышных пород от бункера с гор. 77 м до пункта приема породы гор. 89 м сооружается на насыпном грунте, представленном суглинками в их естественном залегании и отсыпаемыми красно-бурыми глинами и скальными породами. На поверхности рассматриваемого участка сооружен конвейер для транспортирования горной массы (рис. 1).

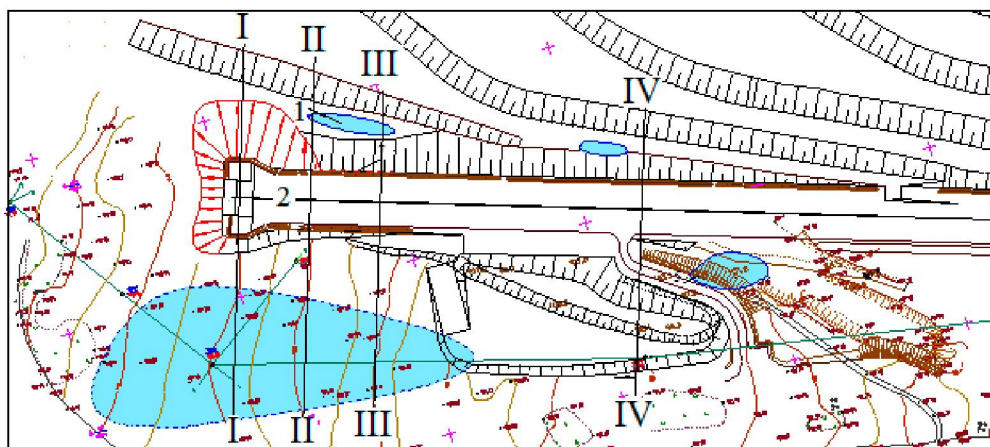


Рисунок 1 – План строительства насыпи ЦПТ [1]: 1 – водоем под оползнем; 2 – верхняя площадка насыпи; I-I', II-II', III-III', IV-IV' – оползнеопасные профили насыпи

В мае 2011 г. при строительстве насыпи – основания галереи для конвейерного подъемника вскрышного комплекса ЦПТ в верхней его части произошел оползень (рис. 2) и несколько оползней по верхним уступам карьера мягкой вскрыши. 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 слоя 2e – суглинков лессовидный, макропористый, серовато-бурых, пластичный [1].

При визуальном исследовании участка от гор. 77 до гор. 89 м были отмечены 2 участка у подножия правосторонней части откоса, где в понижениях скапливаются атмосферные осадки (рис. 2).

Поверхность рассматриваемого участка отсыпана скальными вскрышными породами на основание, представленное красно-бурыми суглинками. Отсыпка скальной породой откосов и поверхности насыпной дороги не обеспечивает ее долговременную устойчивость. 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 и сейсмическое воздействие от массовых взрывов.



Рисунок 2 – Оползень насыпи ЦПТ

Исходные данные для расчета.

Длина рассматриваемого участка ЦПТ составляет 400 м. Абсолютные отметки верхней и нижней площадки для комплекса ЦПТ составляют 110,7 м и 74,5 м соответственно. Уклон поверхности $(110,7-74,5)/398,4 = 36,2/398,4 = 9,1 \%$.

Статические и динамические нагрузки от горнотранспортного оборудования учитываются для строительных конструкций галерей ленточных конвейеров, автосамосвалов БелАЗ-7547, тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ и думпкаров ВС-105[5, 6].

Согласно исходным данным, на поверхности насыпи размещаются галереи ленточных конвейеров № 5П и № 6П. При эксплуатации насыпи возможна одновременная динамическая и статическая нагрузка от автосамосвала АЦА 40/4 модели 248 на базе КамАЗ 43118/6х6 массой с грузом 20,4 т. и статическая нагрузка от строительных конструкций галерей ленточных конвейеров. Эти данные определяются расчетным путем[1] и составляют 0,003 и 0,039 МПа соответственно.

Гидравлические свойства вскрышных пород месторождения по Ван-Генухтену[3] представлены в таблице.

Таблица - Гидравлические свойства вскрышных пород

Наименование вскрышных пород	Коэффициент инфильтрации K_s , м/с	α , 1/м	n
Насыпь (суглинок рыжевато-бурый с песчано-глинистым заполнением, мелким щебнем кварцита)	$4,0 \cdot 10^{-5}$	12,4	2,28
Суглинки желто-бурые	$3,65 \cdot 10^{-6}$	5,9	1,48
Суглинки красно-бурые	$7,25 \cdot 10^{-7}$	1,9	1,31
Глины красно-бурые	$5,5 \cdot 10^{-7}$	0,8	1,09

Для ленточных конвейеров при шаге роlikоопор 1м удельные нагрузки на грунт составят 0,057 и 0,193 МПа для холостого и грузового хода конвейера соответственно. Расчетные нагрузки от БелАЗ-7547 – 0,56 МПа. Расчетные нагрузки на рельсовый путь от тягового агрегата ОПЭ-1АМ и думпкаров ВС-105- 0,844и 0,448 МПа соответственно.

Оценка устойчивости участка ЦПТ по профилям.

Для оценки геомеханической устойчивости рассматриваемого насыпного массива была использована программа конечно-элементного анализа Phase2. Продольный разрез изображен на рис. 3.

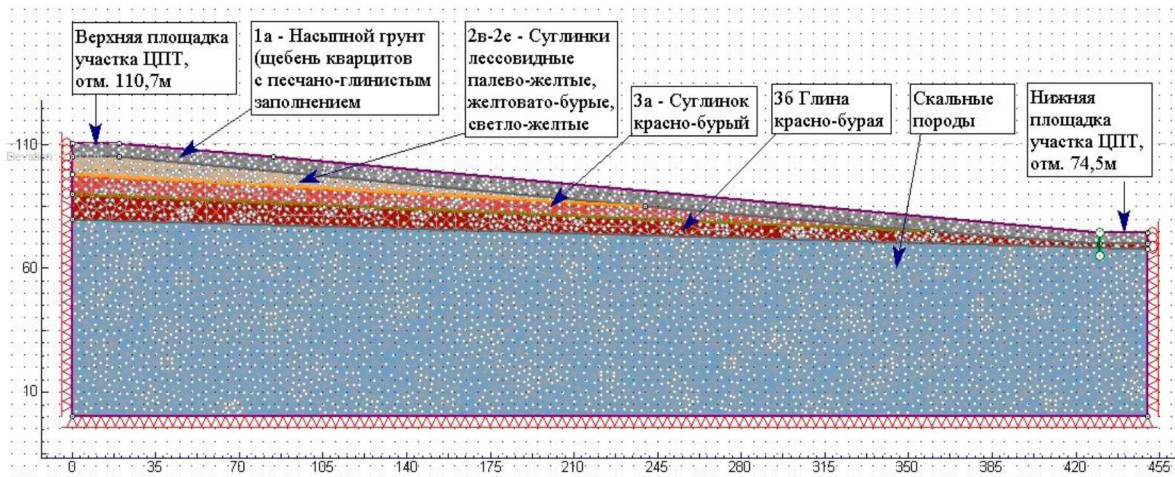


Рисунок 3 – Генеральный профиль ЦПТ

Оценка устойчивости массива вдоль участка ЦПТ показывает, что коэффициент запаса устойчивости (КЗУ) насыпного массива, расположенного на основании из осадочных пород, равен 7,05 (рис. 4).

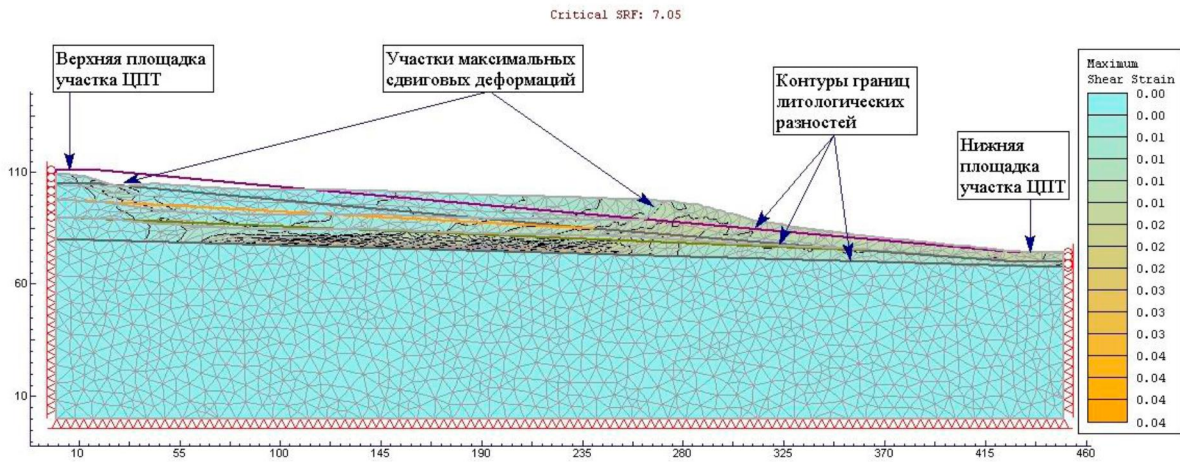


Рисунок 4 – Максимальные сдвиговые деформации вдоль участка ЦПТ (КЗУ=7,05)

В результате моделирования установлено, что при условии накопления атмосферных осадков на уровне верхней площадки, их миграция проходит в насыпном слое и участок выхода дренирующих вод на поверхность возникает на расстоянии $l_x = 245$ м (рис. 5).

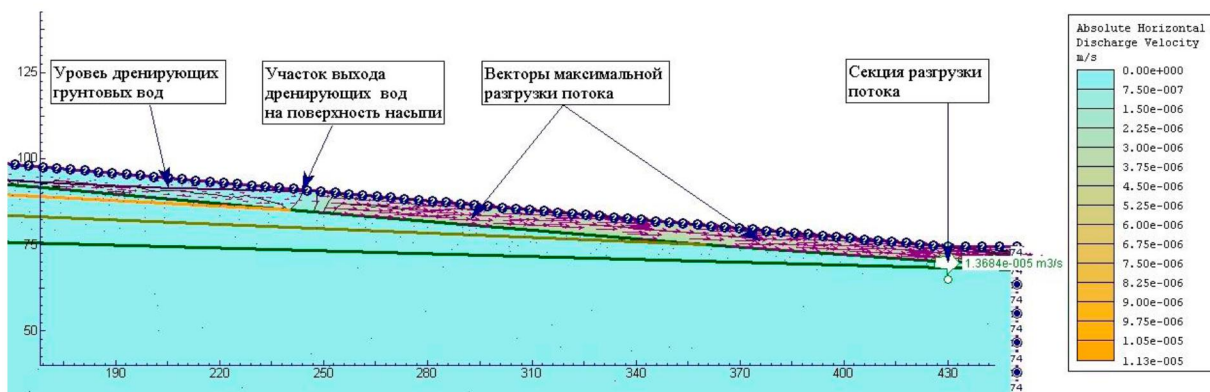


Рисунок 5 – Скорость горизонтальной разгрузки в обводненном породном массиве

Далее по склону насыпной массив будет в водонасыщенном состоянии при ухудшении гидрогеологической ситуации, например, при условии интенсивных атмосферных осадков. Скорость горизонтальной разгрузки в обводненном породном массиве ниже точки выхода дренирующих вод достигает $v_{обс}=2,25*10^{-6}...4,5*10^{-6}$, что ориентировочно соответствует фильтрации в суглинках.

В условиях водонасыщенного массива участка ЦПТ прочностные характеристики пород снижаются и $KЗУ = 3,64$. При увеличении влажности породного массива зона горизонтальных смещений распространяется на значительную часть путепровода, на расстояние $l_x = 115...345$ м вниз по склону от края верхней площадки. При этом смещения возрастают в 2 раза по сравнению с необводненным массивом и достигают $U_x = 0,50...0,75$ м. Наибольшие смещения возникают в месте выхода дренирующих грунтовых вод. Нарастание растягивающих напряжений в этом участке вследствие изменений физико-механических свойств пород или нагрузок от горнотранспортного оборудования также может вызвать образование вертикальных трещин в верхней части и выпор грунта в средней части линии ЦПТ на расстоянии $l_x = 235...325$ м.

При этом расположение участков максимальных вертикальных смещений в обводненном массиве практически не меняется, $l_x = 20...110$ м вниз по склону от края верхней площадки, и их значения увеличились до $U_y = 0,08...0,11$ м. Интенсивные просадочные явления на этом участке могут вызвать нарушения устойчивости боковых откосов в поперечном профиле.

Таким образом, анализ устойчивости насыпного массива трассы ЦПТ по продольному профилю позволил выявить участки, наиболее подверженные геомеханическим нарушениям с учетом физико-механических особенностей и гидрогеомеханических процессов. Наиболее опасными является два участка.

Первый участок насыпи расположен вблизи наиболее высокой его части, частично на земной поверхности. Часть насыпи на этом участке разрушена оползнем и трещинами. Это разрезы по линиям I-I', II-II', III-III' (рис. 1). На этом же участке был расположен и водоем под оползнем. Второй оползнеопасный заболоченный участок в месте обнажения лессовидных суглинков слоя 2е представлен по разрезу IV-IV'. На этот участок направлено так же давление всей насыпи в продольном направлении.

Обоснование противооползневых мероприятий на участке ЦПТ.

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.

По профилю I-I' рекомендуется создать упорную призму из скальных пород. Для обеспечения устойчивости насыпи необходимо у ее нижней бровки выполнить выемку слоя красно-бурых глин до коры выветривания (рис. 6).

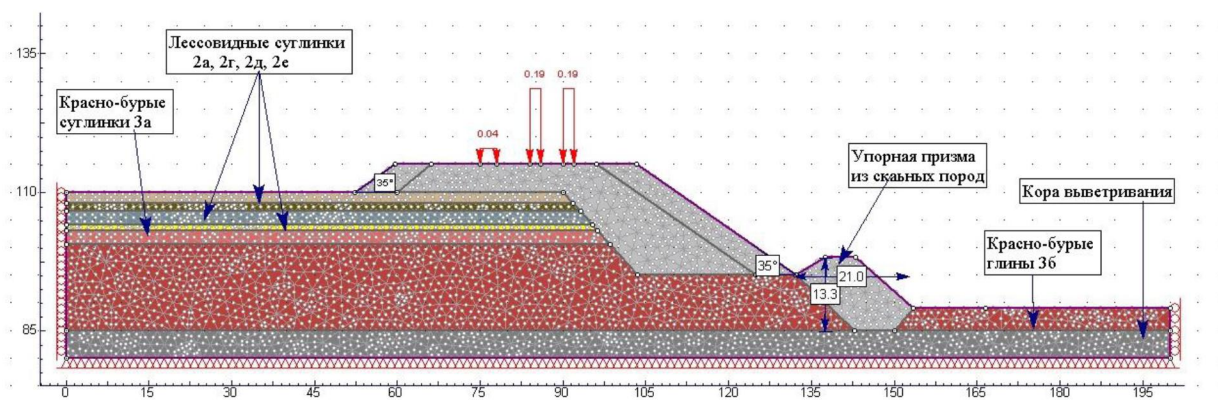


Рисунок 6 – Профиль I-I'. Создание в коренных породах упорной призмы из скальных пород

Насыпной массив по профилю I-I является устойчивым ($KЗУ = 5,44$). Несмотря на значительные сдвиговые деформации ($\epsilon_{\max} = 0,2 \dots 0,375$), 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. Упорная призма из скальных пород, расположенная на коренных породах, является главным фактором устойчивости.

Согласно результатам моделирования, особое внимание заслуживает участок ЦПТ по профилю IV-IV, где также наблюдаются оползания откосов. Для обеспечения устойчивости откосов вблизи насыпи комплекса ЦПТ снимается призма суглинков шириной 10 м и на откос отсыпается скальная порода мощностью 6...7 м. Рекомендуемые углы откосов $\alpha = 30 \dots 36^\circ$ (рис. 7).

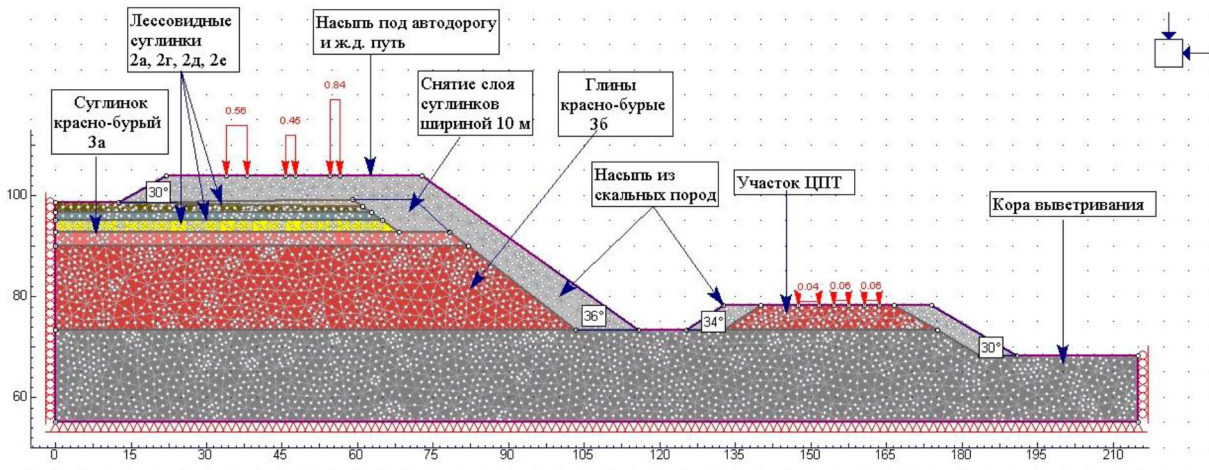


Рисунок 7 – Профиль IV-IV с насыпью под автодорогу и ж.д. путь

Профиль IV-IV с насыпью под автодорогу и ж.д. путь находится в устойчивом состоянии ($KЗУ = 5,51$) 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 $\epsilon_{\max} = 0,3 \dots 0,5$. Общие смещения в массиве $U_{x-y} = 0,7 \dots 1,0$ м. Участок насыпи ЦПТ не испытывает деформаций.

Выводы.

Устойчивость насыпного массива участка ЦПТ обусловлена комплексным воздействием геологических, гидрогеологических и техногенных факторов. Согласно результатам численного моделирования и расчетам устойчивости насыпи при заданных физико-механических свойствах пород ее основания и насыпных пород, получены различные технические решения по обеспечению устойчивости. Главной причиной неустойчивости насыпи является низкая несущая способность ее основания, представленная лессовидными суглинками и глинами.

Моделирование гидрогеомеханических процессов, имеющих место в поперечных профилях, показало, что их устойчивость обусловлена геометрическими параметрами и физико-механическими характеристиками отдельных литологических разностей.

На устойчивое долговременное состояние сооружения существенное влияние оказывает сейсмическое воздействие от взрывных работ. В расчетах, согласно заданию, сейсмичность принималась 8 баллов. Это является одним из главных факторов снижения $KЗУ$. Однако взрывные работы производят на значительном удалении от сооружения. Поэтому значение балла сейсмичности необходимо уточнять.

Таким образом, для обеспечения нормативного коэффициента запаса устойчивости $KЗУ = 2,0$ необходимо управлять динамическими и сейсмическими нагрузками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РК в рамках проекта № 757. МОН.ГФ.15.РИПР.18.

Исследования выполнены на оборудовании Национального горного университета, Днепропетровск, Украина

Ракишев Баян Ракишевич академик НАН РК, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытых горных работ, КазННТУ им.К.И.Сатпаева, Алматы,Казахстан.

Ковров Александр Станиславович к.т.н доцент ,НГУ , Днепрпетровск ,Украина

Молдабаев Серик Курашович профессор, КазННТУ им.К.И.Сатпаева, Алматы,Казахста

Бабий Катерина Васильевна к.т.н. доцент НГУ , Днепрпетровск ,Украина

ЛИТЕРАТУРА

[1] Четверик М.С., Бабий Е.В. Обоснование устойчивости насыпи под конвейерную галерею комплекса циклично-поточной технологии на Первомайском карьере.

[2] Ракишев Б.Р., Шашенко А.Н., Молдабаев С.К., Саменов Г.К., Ковров. А.С.Анализ критериев прочности применительно к оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов. Вестник НАН РК,-Алматы,2013.-№5.С.25-33.

[3] Vogel T. Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions/ Vogel T., van Genuchten M. and Cislrova M. - Adv. Water Res. 2001; 24: pp.133-144.

[4] Ракишев Б.Р., Машанов А. А., Абдылдаев Э. К. Структура массива и деформируемость горных пород.Монография – Алматы, 2011. – 281с.

[5] Б.Р.Ракишев, С.К.Молдабаев. Ресурсосберегающие технологии на угольных разрезах. Монография. – Алматы: КазНТУ, 2012, -348 с.

[6] Открытые горные работы. Справочник / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Винницкий, Н.Н. Мельников и др. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.: ил.

[7] Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов/ Гальперин А.М. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003.- 473 с.

REFERENCES

[1] Chetverik M. S., Babyi E.V. Justification of stability of an embankment under conveyor gallery of a complex of cyclic and line technology on Pervomaisk to career. Geotechnical mechanics.- Dnipropetrovsk, **2015**. № 123. p. 142-152.

[2] Rakishev B.R., Shashenko A.N., Moldabaev S.K., Samenov G.K., Kovrov A.S.The analysis of criteria of durability in relation to an assessment of stability of boards of pits and dumps. Vestnik NAN RK. Almaty, **2013**.№ 5. p. 25-33.

[3] Vogel T. Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions/ Vogel T., van Genuchten M. and Cislrova M. - Adv. WaterRes. **2001**; 24: pp.133-144.

[4] Rakishev B.R., Mashanov A.A., Abdyldayev E.K. Structure of the massif and deformability of rocks. Almaty: KazNTU, **2011**. 281p.

[5] Rakishev B.R., Moldabaev S.K. Resource-saving technologies on coal mines. Almaty:KazNTU, 2012. 348 p.

[6] Open-cast mining. Directory/ K.N. Trubeskoi, M.G. Potapov, K.E. Vinniskyi, N.N. Melnikov and oth. Moscow: Mining bureau, **1994**. 590p.

[7] Galperin A.M. Geomechanics open-cast mining. Moscow: Publishing Moscow State Mining University, **2003**. 473 p.

ЦИКЛДІ-АҒЫМДЫ ТЕХНОЛОГИЯ КЕЗІНДЕ КОНВЕЙЕРЛЕР ҚОНДЫРЫЛАТЫН ҮЙІНДІЛЕРДІҢ ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗДАНДЫРУ

Б.Р. Ракишев, А.С. Ковров, С.К. Молдабаев, Е.В. Бабий

Қ.И.Сатпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы,Казахстан

Ұлттық тау-кен университеті, Днепрпетровск ,Украина

Түйінді сөздер: карьер бортының тұрақтылығы, циклді-ағымды технология, үйінді массивінің тұрақтылығы, көшкін, жыныс массивінің сулануы, тұрақтылықтың қор коэффициенті, Кулон-Мор беріктілік критерийі.

Андапта.Қазақстанның көптеген терең карьерлерінде циклдік-ағымдық технологияны (ЦАТ) тиімді іске асырудың келешегі олардың бортының тұрақтылығына тікелей байланысты. Әсіресе бұл елеулі қуатты жабыны, жерасты сулары және тұнба сулар ағыны бар темір кенорындарын ашық әдіспен игеруде еске алу қажетті мәселе. Сондықтан жер бетіндегі және жоғары горизонттарында конвейерлік жиектері бар СевГОКтың (Украина) Первомайский карьерінің тәжірибесі өте мол. Онда ЦАТ кешені орналасатын тау жыныстарының үйінді орындарында көшкін процестерін алдын ала зерттеу әдістемесі, оларды жобалау сатысында массивте пайда болатын деформацияны ескеру мүмкінділігі жақсы қарастырылған. Массив және үйінді шетін сандық модельдеу нәтижесі бойынша күрделі құрылымды үйінді массивінің физика-механикалық қасиетін ескере отырып, бойлық және көлденең профилдерде тұрақтылық қор коэффициенті, жауын-шашынды сүзгілеу, көлік жабдықтарының жүктемесі және карьердегі жаппай жарылыстардың сейсмикалық әсері анықталған. Жыныс массивінің деформацияға бейім және жылжу қаупі бар учасоктері айқындалған. Модельдеу нәтижелер негізінде карьер борты мен үйінді шетінде тұрақтылықты қамтамасыз ету бойынша көшкінге қарсы іс-шара әзірленген, ол ЦАТ кешені жұмысын тұрақтандырады.

Жұмысты орындау барысында қарастырылып отырған объектіге байланысты ООО «Южгипроруда» ұсынған геологиялық, гидрогеологиялық және технологиялық деректер пайдаланылды.

Поступила 13.04.2016 г.