



УДК 622.271.452

**РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВНУТРЕННЕГО
ОТВАЛА КАРЬЕРА МЕЛА «ЗЕЛЕНАЯ ПОЛЯНА»****DEVELOPMENT OF ENGINEERING AND TECHNICAL MEASURES TO
ENSURE THE SUSTAINABILITY OF INTERNAL DUMP CHALK QUARRY
«GREEN MEADOW»****Б.А. Храмцов¹, А.А. Ростовцева¹, О.А. Лубенская², А.С. Кравченко¹
B.A. Khramtsov¹, A.A. Rostovtseva¹, O.A. Lubenskaya², A.S. Kravchenko¹**¹ Белгородский государственный национально-исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85² ОАО «ВИОГЕМ», Россия, 308007, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, 86¹ Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia² PLC «VIOGEM», 86 B. Hmelnitckogo Ave., Belgorod, 308007, Russia,

E-mail: khramtsov@bsu.edu.ru; oksana.lubenskaya@gmail.com

Ключевые слова: внутренний отвал, деформации, откос, устойчивость, физико-механические свойства техногенных пород, инженерно-технические мероприятия.

Key words: the internal dump, deformation, slope, stability, physical and mechanical properties of man-made rocks, engineering and technical measures.

Аннотация. Увеличение объемов добычи мела требует больших площадей для размещения пород вскрыши и увеличения высоты отвалов. Наиболее опасные деформации происходят в откосах, сложенных песчано-глинистыми породами. Физико-механические свойства техногенных пород внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» и грунтов его основания были определены лабораторными испытаниями и методом обратного расчета. Для разработки инженерно-технических мероприятий и выбора безопасных параметров ярусов внутреннего отвала построены объемные диаграммы зависимости высоты откоса внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» от угла наклона откоса и сцепления техногенных пород, слагающих откос, с учетом прочностных свойств грунтов основания и угла его наклона.

Resume. One of the main industries in the KMA region is the production of building materials. One of the largest quarries in Belgorod region is "Zelonaya Polyana" ("Green Glade") chalk quarry. The planned increase in production of chalk requires large areas to accommodate the overburden dumps and an increase of their height. Sandy-argillaceous rocks that form the slopes, have relatively little resistance and strength characteristics change under the influence of external factors, leading to deformation of slopes.

The study of the physical and mechanical properties of loose rock dumps was performed by determining their quantitative characteristics on samples taken from dumps in laboratory conditions and on the basis of inverse calculation of landslides. To select the parameters of safe slopes tiers internal dump career chalk "Green meadow" it is recommended to use the strength characteristics of man-made rocks resulting from the reverse calculation, since their values are below the values that are obtained from laboratory tests.

For the development of engineering activities and choice of safe parameters of internal dump tiers on the basis of the analytical method for calculating safety factor of slope stability based on a gently sloping with the algebraic addition of forces and developed at NIU "BSU" on the basis of its program "Slope Stability Calculator", there were built three-dimensional diagrams of the dependence of chalk quarry "Green Glade" internal dump slope height on the angle of repose and clutch of man-made rock that form the slope, taking into account the strength properties of the soil base and the angle of inclination. Using the data of the three-dimensional diagrams allows to choose without additional calculations reasonably safe geometric parameters of slopes at any stage of the formation of tiers in the operation of internal dump.

Введение

Одной из основных отраслей промышленности региона КМА является производство строительных материалов. На территории Белгородской области действует около 100 карьеров, где добываются общераспространенные полезные ископаемые (мел, песок, глина), являющиеся основным сырьем для производства строительных материалов. Разработка месторождений полезных ископаемых ведется открытым способом. Одним из крупнейших карьеров мела в Белгородской области является карьер «Зеленая поляна» ОАО «Стройматериалы». Данное месторождение практически полностью удовлетворяет потребность предприятия в сырье.

Повышенный спрос на продукцию предприятия ведет к увеличению объемов производства, а, следовательно, и объемов добычи сырья. Планируемое увеличение объемов добычи мела потребует больших площадей для размещения пород вскрыши и увеличения высоты отвалов. Таким образом, проблема оценки устойчивости откосов ярусов отвалов остается актуальной и приобретает решающее значение в обеспечении промышленной безопасности.

По результатам натурных наблюдений за устойчивостью откосов, проведенных на карьере «Зеленая поляна», установлено, что более 70% наиболее опасных деформаций происходит в откосах, сложенных песчано-глинистыми породами. До 85% нарушений устойчивости откосов отвалов на карьерах строительной индустрии составляют оползни. В настоящий момент на внутреннем отвале карьера ежегодно наблюдаются деформации оползневого типа.

Для исключения подобных деформаций были разработаны инженерно-технические мероприятия, которые позволили обеспечить безопасность ведения горных работ. Для успешного решения этой проблемы потребовалось изучить физические основы процесса сдвижения техногенных пород при формировании внутреннего отвала, разработать теоретические основы обеспечения устойчивости откосов и эффективные мероприятия по борьбе с деформациями.

При проектировании отвалов важно правильно выбрать их параметры (высоту ярусов, углы их наклона, ширину берм безопасности), для чего необходимо знать физико-механические характеристики пород, слагающих отвал. Песчано-глинистые породы, слагающие откосы ярусов отвалов в регионе КМА, обладают относительно небольшой прочностью и изменяют прочностные характеристики под воздействием внешних факторов, что ведет к деформациям откосов, которые наносят существенный экологический ущерб окружающей природной среде и угрожают безопасности технологических процессов при формировании отвалов.

Как правило, изучение физико-механических свойств рыхлых пород отвалов проводится путем определения их количественных характеристик на образцах, отобранных из отвалов, в лабораторных условиях и на основании обратных расчетов оползней.

Инженерно-геологический разрез внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» и грунтов, залегающих в его основании, представлен на рисунке 1. Техногенные массы отвала (ИГЭ-1) представлены породами вскрыши, а в основании отвала залегают суглинки тугопластичные (ИГЭ-2) и глина красно-бурая полутвердая (ИГЭ-3).

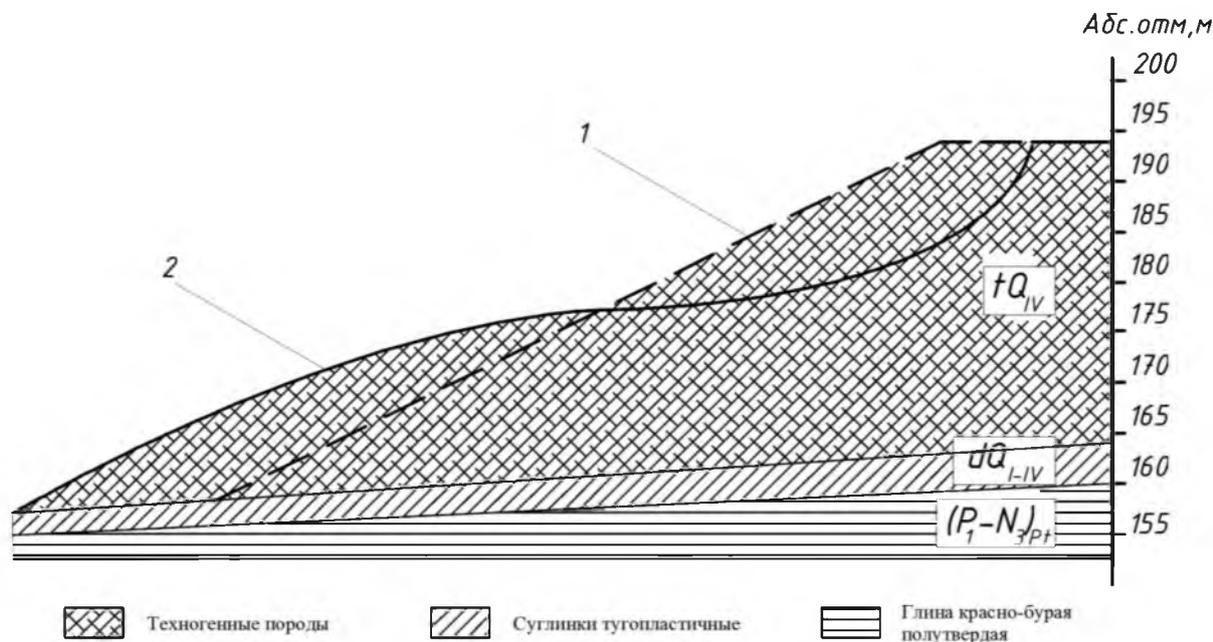


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» и грунтов, залегающих в его основании: 1 – контур откоса до образования оползня; 2 – контур откоса после образования оползня

Fig. 1. Engineering and geological cross-section of internal dump career chalk «Green meadow» and soil lying at its base: 1 – contour of the slope until a landslide; 2 – contour of the slope after the formation of the landslide



Для определения физико-механических свойств техногенных пород внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» и грунтов его основания были взяты пробы из отвала и основания, которые испытывались на сдвиговом приборе Гидропроекта ГПП-30 при вертикальных нагрузках 0.1; 0.2 и 0.3 МПа. Физико-механические свойства техногенных пород внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» и грунтов, залегающих в его основании, приведены в таблице.

Таблица
Table

Физико-механические свойства техногенных пород отвала и грунтов, слагающих его основание, определенных лабораторным способом
Physical and mechanical properties of man-made rock dump and soil of its constituent base, certain laboratory method

Инженерно-геологические элементы	Название пород и грунтов	Геологический индекс	Мощность, м	Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	Сцепление c , МПа	Угол внутреннего трения φ , градус
ИГЭ-1	Техногенные породы	tQ _{IV}	0–30	1.54	0.075	17
ИГЭ-2	Суглинки тугопластичные	dQ _{I-IV}	1.3–5.6	1.87	0.011	14
ИГЭ-3	Глина краснобурая полутвердая	(P ₁ _N ₃) _{pt}	1.2–7.7	2.0	0.016	26

В НИУ «БелГУ» на кафедре прикладной геологии и горного дела разработан графо-аналитический метод [Храмцов, Ростовцева, 2010], который позволяет с учетом происходящих на отвале оползней и их фактических поверхностей скольжения, которые формируются в результате оползневых явлений, достаточно надежно определять прочностные характеристики техногенных пород отвалов (сцепление c и угол внутреннего трения φ).

Маркшейдерские наблюдения позволили построить профили откоса внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» до и после образования оползня, который произошел на юго-западном участке. На основе анализа съемки оползневого тела, характера и причин оползневого явления установили положение поверхности скольжения в техногенном массиве. Обратный расчет сцепления и угла внутреннего трения техногенных пород, слагающих отвал, осуществлялся с использованием графо-аналитического метода. При плотности техногенных пород отвала $\rho = 1.54 \cdot 10^3$ кг/м³ были получены следующие значения: угол внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$ и сцепление $c = 0.025$ МПа.

Сравнение результатов лабораторных испытаний физико-механических свойств техногенных пород внутреннего отвала (см. табл.) с результатами обратных расчетов, выполненных графо-аналитическим способом, свидетельствует о том, что сцепление в техногенном массиве в три раза ниже, чем в образцах. Следовательно, при переходе от результатов испытаний на образцах к массиву необходимо учитывать коэффициент структурного ослабления $\lambda = 0.33$.

Для выбора безопасных параметров откосов ярусов внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» рекомендовано использовать прочностные характеристики техногенных пород, полученные в результате обратного расчета – $c = 0.025$ МПа и $\varphi = 16^\circ$, так как их значения ниже значений, полученных в результате лабораторных испытаний, представленных в таблице.

Для разработки инженерно-технических мероприятий по снижению риска обрушения откосов ярусом отвала и повышения травмобезопасности рабочих мест были использованы аналитический метод расчета коэффициента запаса устойчивости откосов на слабом наклонном основании с учетом алгебраического сложения сил [Храмцов и др., 2012] и разработанная в НИУ «БелГУ» на его основе программа «Slope Stability Calculator». Для оценки устойчивости внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» были приняты следующие исходные данные: угол внутреннего трения пород отвала $\varphi = 16^\circ$, сцепление пород отвала $c = 0.025$ МПа, угол внутреннего трения грунтов слабого наклонного основания $\varphi' = 14^\circ$, сцепление пород слабого наклонного основания $c' = 0.011$ МПа, плотность техногенных отвальных пород $\rho = 1.54 \cdot 10^3$ кг/м³, высота откоса $H = 30$ м, угол наклона откоса $\alpha = 27^\circ$, угол наклона основания отвала $\beta = 4^\circ$. В результате расчетов по программе «Slope Stability Calculator» получили коэффициент запаса устойчивости откоса равный 1, т. е. откос находится в предельно-напряженном состоянии, что подтверждается наблюдаемыми в действительности оползневыми явлениями, имеющими место на внутреннем отвале.

Безопасное ведение горных работ при формировании внутреннего отвала со сроком службы откосов ярусов более 5 лет обеспечивается при нормативном значении коэффициента запаса устойчивости $n_n = 1.2$ [Фисенко и др., 1972].

С помощью программы «Slope Stability Calculator» построены объемные диаграммы зависимости высоты откоса от сцепления техногенных пород отвала и угла наклона откоса при постоянных физико-механических свойствах грунтов, залегающих в основании отвала. Графики построены для $\varphi = 14^\circ$ (16° , 18° , 20°), $\varphi' = 14^\circ$, $c' = 0.011$ МПа, $\rho = 1.54 \cdot 10^3$ кг/м³, $\beta = 4^\circ$ при $n_n = 1.2$. Использование данных объемных диаграмм позволяет без проведения дополнительных расчетов обоснованно выбирать безопасные геометрические параметры откосов на любой стадии формирования ярусов при эксплуатации внутреннего отвала.

Для оценки устойчивости откосов ярусов внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна» на юго-западном участке, где произошел оползень, была использована объемная диаграмма зависимости высоты откоса от угла наклона откоса и сцепления техногенных пород отвала при угле внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$ (рис. 2). С помощью данной диаграммы было установлено, что внутренний отвал на предельном контуре при проектной высоте $H = 30$ м и нормативном коэффициенте запаса устойчивости $n_n = 1.2$ рекомендовано формировать с генеральным углом наклона 22° (см. рис. 2) и шириной бермы безопасности $B = 3.4$ м.

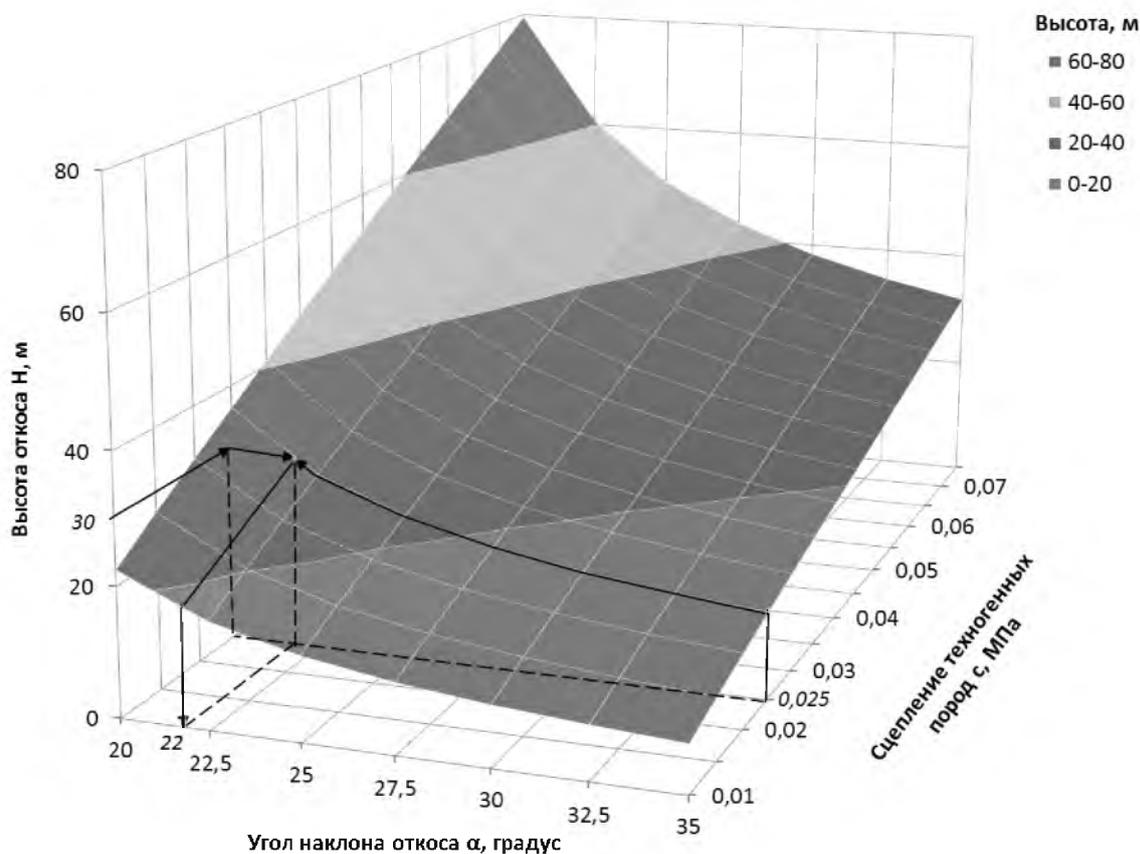


Рис. 2. Зависимость высоты откоса внутреннего отвала от угла наклона откоса и сцепления техногенных пород отвала на юго-западном участке (при $\varphi = 16^\circ$)

Fig. 2. Dependence of the height of the slope of the internal dump angle of slope and clutch manmade rock dump at the south-western region (at $\varphi = 16^\circ$)

При формировании внутреннего отвала на предельном контуре необходимо откос разделить предохранительной бермой на два яруса высотой по 15 м и уменьшить генеральный угол наклона откоса отвала с 27° до 22° , при котором коэффициенты запаса устойчивости ярусов и отвала соответствует нормативному значению (рис. 3).

Внедрение данного инженерно-технического мероприятия позволило снизить риск обрушения, тем самым повысить уровень безопасности и улучшить условия охраны труда работников, а также получить экономический эффект в связи с недопущением возникновения опасной ситуации, связанной с нарушением устойчивости отвала, и обеспечить соблюдение требований промышленной безопасности.

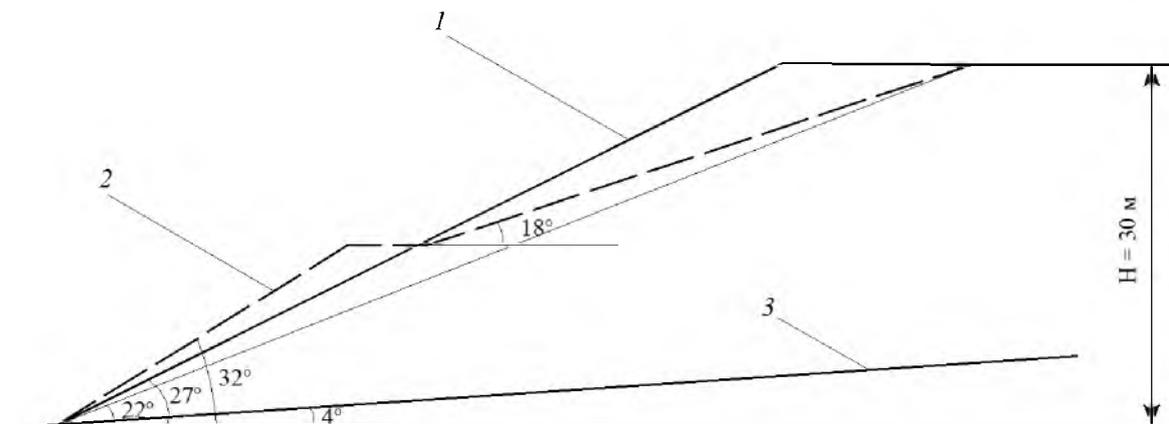


Рис. 3. Фактическое и проектное положение откосов ярусов внутреннего отвала карьера мела «Зеленая поляна»: 1 – фактический контур; 2 – проектный контур; 3 – наклонное основание

Fig. 3. The actual design position and slope tiers internal dump career chalk «Green meadow»: 1 – the actual circuit; 2 – circuit design; 3 – inclined base

Список литературы References

1. Фисенко Г.Л., Сапожников В.Т., Мочалов А.М., Пушкарев В.И., Козлов Ю.С. 1972. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л., ВНИМИ, 164.
Fisenko G.L., Sapozhnikov V.T., Mochalov A.M., Pushkarev V.I., Kozlov Ju.S. 1972. Methodological guidelines for determining the angular ramps, slopes and ledges dumps built and operated quarries. 1972. Leningrad, VNIMI, 164.
2. Храпцов Б.А., Ростовцева А.А. 2010. Определение физико-механических свойств массива горных пород по результатам обрушения откосов. Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2: 292–298.
Hramcov B.A., Rostovceva A.A., 2010. Determination of physical and mechanical properties of the rock mass as a result of the collapse of slopes. Izvestija TulGU. Nauki o Zemle, 2: 292–298. (in Russian)
3. Храпцов Б.А., Ростовцева А.А., Рыбка О.А. 2012. Аналитический метод расчета коэффициента запаса устойчивости откоса при наличии плоскости ослабления. Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2: 265–270.
Hramcov B.A., Rostovceva A.A., Rybka O.A., 2012. Analytical method for calculating the safety factor of the slope in the presence of a plane attenuation. Izvestija TulGU. Nauki o Zemle, 2: 265–270. (in Russian)