УДК 622.8

Б.А. Храмцов, М.В. Бакарас, А.С. Кравченко, М.А. Корнейчук

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ОТВАЛОВ РЫХЛОЙ ВСКРЫШИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ КМА

Рассмотрена проблема устойчивости отвалов рыхлой вскрыши железорудных карьеров КМА. В статье приведены данные об объемах добычи железной руды открытым способом в регионе Курской магнитной аномалии. Обоснована важность и актуальность проблемы размещения и оптимизации параметров отвалов и их устойчивости. Приведены горнотехнические характеристики отвалов железорудных карьеров КМА. Дана характеристика нарушения устойчивости откосов при разработке железорудных карьеров, а также параметры крупных оползней, произошедших на внешних и внутренних отвалах в РФ за последние 25 лет. На основе горнотехнических характеристик отвалов железорудных карьеров разработан комплекс программ для расчета различных геомеханических схем, используемых для определения безопасных параметров откосов отвалов на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. Приведены сведения об апробации комплекса программ для решения вопросов промышленной безопасности при разработке железорудных карьеров и карьеров строительной индустрии региона КМА.

Ключевые слова: карьер, отвал, устойчивость, параметры откосов, характеристики отвалов, оползневые процессы, откос, уступ.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-66-72

В РФ открытым способом добывается 96% горной массы в цветной металлургии, 99% неметаллических полезных ископаемых, 60% угля и более 50% агрохимического сырья.

В настоящее время в регионе КМА добывается более 55% железной руды. За последние 15 лет мощность железорудных карьеров ОАО «Стойленский ГОК», ОАО «Лебединский ГОК», и ОАО «Михайловский ГОК» увеличилась практически в два раза.

При наблюдаемой тенденции увеличения объемов добычи железной руды открытым способом, все большую актуальность приобретает эффективность отвалообразования, которая предусматривает транспортировку и размещение в пределах земельного отвода пород вскрыши и некондиционных попутно добываемых полезных ископаемых.

На железорудных карьерах КМА объем разрабатываемых вскрышных пород превышает 150 млн м^3. Проблемы размещения и оптимизации безопасных параметров отвалов и их устойчивости в настоящий период времени является важной и актуальной проблемой, от успешного решения которой зависят не только технико-экономические показатели работы ГОКов, но и охрана недр и окружающей среды, а также рациональное использование земель.

В настоящее время методы управления отвалами, обеспечивающими безопасность ведения горных работ, разви-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 66–72.
© Б.А. Храмцов, М.В. Бакарас, А.С. Кравченко, М.А. Корнейчук. 2018.

ваются по нескольким направлениям, среди которых можно выделить два: технологическое и геомеханическое. Технологическое направление устанавливает параметры отвалов (высота, ширина, длина, угол наклона откосов ярусов, генеральный угол наклона отвала) в зависимости от размеров применяемого оборудования в технологии отвалообразования, схемы отсыпки и возведения отвалов. При этом в расчетах, как правило, используется только одна характеристика отсыпаемых горных пород и грунтов — коэффициент остаточного разрыхления. Поэтому выбор параметров отвалов бескомплексной оценки их

Таблица 1

Горнотехническая характеристика отвалов железорудных карьеров КМА

№ п/п	Название отвала, предприятия	Способ отвалообразования, вид и тип транспортных средств	Параметры отвалов			
			Высота, м		Угол откоса, град	
			отвала	яруса	отвала	яруса
1	2	3	4	5	6	7
1	ОАО «Стойленский ГОК» Северный отвал (смешанные породы)	Экскаваторный (ЭКГ-8УС) с ж.д. транспортом ОПЭ-1 (НП-1) и 2ВС-105	60	23	20	33
2	ОАО «Стойленский ГОК» Южный отвал (смешанные породы)	Экскаваторный (ЭКГ-8УС) с ж.д. транспортом ОПЭ-1 (НП-1) и 2ВС-105	130	23	33	33
3	ОАО «Стойленский ГОК» Отвал «Стрелица» (рыхлые породы)	Бульдозерный с автотранспортом БелАЗ-7555	72	20	19	30
4	ОАО «Стойленский ГОК» Спецотвал мела №3	Отвалообразователем ZP-5500 с конвейерным транспортом	52	49	24	30
5	ОАО «Стойленский ГОК» Отвал окисленных кварцитов	Экскаваторный (ЭКГ-8УС) с ж.д. транспортом ОПЭ-1 (НП-1) и 2ВС-105	45	20	35	38
6	ОАО «Лебединский ГОК» Отвал №1 (скальные породы)	Экскаваторный (ЭКГ-6,3УС) с ж.д. транспортом ОПЭ-1 и 2ВС-105	75—100	15—30	15—26	38
7	ОАО «Лебединский ГОК» Отвал №2 (рыхлые породы)	Экскаваторный (ЭКГ-6,3УС) с ж.д. транспортом ОПЭ-1 и 2ВС-105	105—172	15—20	10—18	33
8	ОАО «Михайловский ГОК» Отвал вскрыши №7	Экскаваторный, с ж.д. транспортом	60—75	15—20	5—7	33

устойчивости зачастую приводит к ошибочным или малоэффективным техническим решениям при формировании отвалов.

Исходя из горнотехнических характеристик отвалов железорудных карьеров КМА (табл. 1.) следует, что диапазон предельных высот отвалов довольно широкий (от 45 до 172 м при высоте ярусов от 15 до 49 м). Углы откосов ярусов и отвалов изменяются от 5° до 38°. Для железорудных месторождений КМА, разрабатываемых открытым способом, характерно наличие пород разной прочности изменяющейся в широком диапазоне. Осадочные породы составляют около 55% и имеют широкое распространение, прочность которых изменяется от 0,1 МПа до 5,0 МПа. Скальные породы составляют 45% и имеют предел прочности при одноосном сжатии от 10 МПа до 180 МПа.

Наличие равномерного распределения осадочных и скальных пород, как по площади, так и по глубине железорудных месторождений КМА позволяет формировать техногенные массивы отвалов практически однородной по прочности массой для отвалов рыхлой вскрыши и отвалов скальной вскрыши. Поэтому для каждого тапа породы наблюдается незначительный разброс величин параметров откосов (см. табл. 1). Для рыхлых пород высота ярусов отвалов составляет 15—20 м, а угол наклона откоса 33°. Для скальных пород высота ярусов изменяется от 15 до 30 м, а угол наклона откоса составляет 38°.

На железорудных карьерах КМА наибольшее распространение получило экскаваторное отвалообразование с использованием экскаваторов типа механических лопат и драглайнов.

Шагающие драглайны используются для отвалообразования и при железнодорожном и автомобильном транспорте на карьерах со сложным рельефом местности, когда под отвалы отводятся старые гидроотвалы, заболоченные озера, старые русла рек.

Опыт показывает, что схемы отвалообразования драглайнами при использовании автомобильного транспорта очень эффективны при выделении под отвалы площадей со слабыми и наклонными основаниями.

В решение проблемы управления устойчивостью откосов на карьерах и отвалах существенный вклад внесли отечественные ученые — Г.Л. Фисенко [1], П.Н. Панюков, А.И. Ильин, А.М. Гальперин, В.И. Стрельцов [2], И.И. Попов, Р.П. Окатов [3], М.Е. Певзнер [4], М.А. Ревазов, А.М. Демин [5], В.Г. Зотеев, В.Т. Сапожников [6], В.Н. Попов, П.С. Шпаков [7], Ю.И. Кутепов, Б.Д. Половов [8], Ю.И. Туринцев, В.А. Гордеев [9], Т.К. Пустовойтова, А.М. Мочалов, О.Ю. Крячко [10], Ю.С. Козлов [11], В.П. Будков [12], Ф.К. Незамединов, а так же зарубежные ученые — Ш. Кулон [13], С. Франсэ [14], К. Кегель [15], В. Фенелиус, Ж. Жаки и др.

В подавляющем большинстве авторами рассматривались вопросы геомеханического обоснования параметров отвалов в различных горногеологических условиях их формирования в тесной увязке с технологиями отвалообразования и охраной окружающей среды, а также были разработаны методы эквивалентного моделирования при исследовании устойчивости откосов [5, 16].

В настоящее время разработано более 100 методов расчета устойчивости откосов, которые успешно применяются при разработке проектных решений при разработке полезных ископаемых открытым способом в России и за рубежом.

Однако, как показывает практика, в России и странах СНГ ежегодно на железорудных карьерах происходит более 100 нарушений устойчивости откосов. По данным А.И. Ильина среди случаев нарушения устойчивости откосов на же-

Таблица 2

Нарушения устойчивости откосов отвалов

№ п/п	Местоположение оползня	Объем, млн м³	Год
1	Внешний отвал Норильского ГМК, Россия	60,0	1992
2	Внешний отвал №7 ОАО «Михайловский ГОК», Россия	20,0	1997
3	Внутренний отвал разреза «Павловский-2», Россия	1,7	2003
4	Внутренний отвал разреза «Северная депрессия», Россия	3,0	2005
5	Внешний отвал №7 ОАО «Михайловский ГОК», Россия	20,0	2015

лезорудных карьерах оползни составляют 42,7%, обрушения — 20,6%, осыпи — 14,7%, оплывины и просадки — по 10%. При этом 75% деформаций откосов происходит в слабых песчано-глинистых породах, 25% — в скальных и полускальных выветрелых и трещиноватых породах. На устойчивость откосов наибольшее влияние оказывают подземные и поверхностные воды — 49,8%, недостаточная геологическая изученность и, как следствие, неверно выбранные параметры откосов — 15,4%, отсутствие заоткоски уступов — 10%, отклонение от проектных параметров — 8%, процессы выветривания и климатические условия — 7,7%, прочие причины — 3,8%.

Нарушения устойчивости откосов отвалов приводят к мощным оползневым процессам (табл. 2). Причинами этого служит несоответствие основных технологических параметров отвалов, таких как: высота ярусов, углы наклона откосов отвалов, длина рабочего фронта и его скорости подвигания, порядка отсыпки в пространстве и во времени, а так же несоответствие способа отвалообразования, конкретным инженерно-геологическим условиям, обуславливающим прочность породных масс отвалов и их оснований.

В НИУ «БелГУ» разработан комплекс программ для выбора безопасных параметров откосов (Otkos1. Расчет безопасных параметров откосов, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615512; Otkos.log1, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009616344; Slope Stability Calculator, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ), которые позволили построить графики зависимостей условной высоты откоса *H*' от угла откоса наклона α и условной ширины призмы возможного обрушения призмы *B*' от условной высоты откоса *H*' и определить области использования методов расчета для различных геомеханических схем [17]. Графические зависимости построены для коэффициентов запаса устойчивости $n_з$ от 1,0; 1,5; 1,2; 1,3; 1,5; 2,0.

Разработан графо-аналитический метод определения физико-механических свойств пород слагающих откосы отвалов, который основан на результатах обработки оползней, произошедших на отвалах рыхлой вскрыши железорудных карьеров КМА. Разработан аналитический метод определения безопасных параметров откосов отвалов на слабом наклонном основании [18].

Все вышеперечисленные методы выбора безопасных параметров откосов были апробированы при составлении

проектов по формированию отвалов рыхлой вскрыши ОАО «Стойленский ГОК», ОАО «Лебединский ГОК», ОАО «Михайловский ГОК», а так же при разработке экспертных заключений по промышленный безопасности железорудных карьеров и карьеров строительной индустрии в регионе КМА. Разработанные методы позволяют управлять устойчивостью откосов уступов при строительстве, эксплуатации, реконструкции и рекультивации отвалов рыхлой вскрыши при разработке месторождений полезных ископаемых, осуществлять мероприятия направленные на повышение безопасности при производстве горных работ, охрану окружающей среды и рациональное использование земельных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фисенко Г. Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1965. — 377 с.

2. *Ильин А. И.*, *Гальперин А. М.*, *Стрельцов В. И.* Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. — М.: Недра, 1985. — 248 с.

3. *Попов И. И.*, *Окатов Р. П.* Борьба с оползнями на карьерах. — М.: Недра, 1980. — 240 с.

4. *Певзнер М. Е.* Борьба с деформациями горных пород на карьерах. — М.: Недра, 1978. — 265 с.

5. *Демин А. М.* Закономерности проявлений деформаций откосов в карьерах. — М.: Наука, 1981. — 144 с.

6. *Сапожников В. Т.* Решение задачи об откосе выпуклого профиля // Труды ВНИМИ. 1960. — № 38. — С. 41—53.

7. *Попов В. Н.*, *Шпаков П. С.*, *Юнаков Ю. Л.* Управление устойчивостью карьерных откосов: Учебник для вузов. — М.: Изд-во МГГУ, изд-во «Горная книга», 2008. — 683 с.: ил.

8. *Половов Б. Д.* Решение задач устойчивости откосов в условиях риска // Известия вузов. Горный журнал. — 1981. — № 4. — С. 30—33.

9. *Туринцев Ю. И.*, *Половов Б. Д.*, *Гордеев В. А.* Геомеханические процессы на открытых горных работах. — Сведрловск, 1984. — 56 с.

10. *Крячко О. Ю.* Управление отвалами открытых горных работ. — М.: Недра, 1989. — 255 с.

11. *Козлов Ю. С.* Определение параметров призмы возможного обрушения в откосах уступов, бортов карьеров и отвалах // ФТПРПИ. — 1972. — № 4. — С. 73—76.

12. *Будков В. П.* О построении борта карьера выпуклого профиля // Труды ЦНИИгоросушения. — 1965. — № 5. — С. 114—124.

13. *Coulomb C.* Easai Sur une application des regles de Maximis et Minimis a queiques Problemes de Statique relatits a l'Architecture Memoires de Mathematique de Physique Prefentes a l'Academic Royale de Sience par divers Savans, et lue dane fes Affembless anne 1773, Academic des sciences. Savans atrang. P.: de l'Imprimerie royale, 1776, vol. A.

14. *Francaie C.* Recherches sur la poussee des terras, sur. la forme et les dimensions des revetements et sur le talus d'excavation. — Mem. Offica genie, 1820.

15. *Kegel K.* Bergmannische Gebirgsmechanik in Abbau bei Festem und bei losem Gebirge. Halle, 1950, p. 358.

16. *Reik G., Teutcsch Chr.* The use of equivalent models in slope stability investigation // Int. J. Rock. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 1976, Vol. 13, pp. 321—330.

17. *Храмцов Б. А., Абдул Батен Абдул Захир*, *Ростовцева А. А.* Разработка и совершенствование методов расчета устойчивости откосов / Материалы XII-ой национальной конференции с международным участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых, 26—30 июня, Варна, Болгария, 2013. — С. 297—301.

18. *Храмцов Б. А. Лубенская О. А.* Анализ методов расчета устойчивости откосов на слабом наклонном основании / Материалы 13-го международного симпозиума «Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, геомеханики, специальных горных работ и горных технологий», Белгород, 2015. — С. 338—344. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Храмцов Борис Александрович[1] — кандидат технических наук, доцент,
Бакарас Мария Вячеславовна[1] — аспирант,
Кравченко Александра Сергеевна[1] — аспирант,
Корнейчук Мария Александровна[1] — аспирант,
[1] Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 66–72.

B.A. Khramtsov, M.V. Bakaras, A.S. Kravchenko, M.A. Korneychuk

LOOSE DUMP STABILITY CONTROL AT OPEN PIT IRON ORE MINES OF THE KURSK MAGNETIC ANOMALY

The article addresses the problem connected with the stability of loose overburden dumps at open pit iron ore mines of the Kursk Magnetic Anomaly. The data on the iron ore production output using open pit mining method in the area of the Kursk Magnetic Anomaly are presented. The importance and relevance of dump stability management and geometry optimization are proved. The case studies of instability of dumps in open pit mining of iron ore are described, and characteristics of large land slides at internal and external dumps in Russia are presented for the last 25 years. Based on the geotechnical data on dumps at open pit iron ore mines, the program system is developed to design geomechanical schemes for safe dumping with stable slopes. The trial of the program system in the field of industrial safety in open pit iron ore mining and in construction industry in the region of the Kursk Magnetic Anomaly is described.

Key words: open pit mine, stability, slope parameters, dump characteristics, land slide processes, slope, bench.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-66-72

AUTHORS

Khramtsov B.A.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Bakaras M.V.[1], Graduate Student,
Kravchenko A.S.[1], Graduate Student,
Korneychuk M.A.[1], Graduate Student,
[1] Belgorod State National Research University,
308015, Belgorod, Russia, e-mail: info@bsu.edu.ru.

REFERENCES

1. Fisenko G. L. *Ustoychivost' bortov kar'erov i otvalov* (Stability of pitwalls and slopes), Moscow, Nedra, 1965, 377 p.
2. Il'in A. I., Gal'perin A. M., Strel'tsov V. I. *Upravlenie dolgovremennoy ustoychivost'yu otkosov na kar'erakh* (Long-term stability control at dumps at open pit mines), Moscow, Nedra, 1985, 248 p.
3. Popov I. I., Okatov R. P. *Bor'ba s opolznyami na kar'erakh* (Land slide prevention in open pit mines), Moscow, Nedra, 1980, 240 p.
4. Pevzner M. E. *Bor'ba s deformatsiyami gornykh porod na kar'erakh* (Prevention of rock mass deformation in open pit mines), Moscow, Nedra, 1978, 265 p.
5. Demin A. M. *Zakonomernosti proyavleniy deformatsiy otkosov v kar'erakh* (Regularities of slope deformation in open pit mines), Moscow, Nauka, 1981, 144 p.
6. Sapozhnikov V. T. *Trudy VNIMI*. 1960, no 38, pp. 41—53.
7. Popov V. N., Shpakov P. S., Yunakov Yu. L. *Upravlenie ustoychivost'yu kar'ernykh otkosov*: Uchebnik dlya vuzov (Slope stability control in open pit mines: Textbook for high schools), Moscow, Izd-vo MGGU, izd-vo «Gornaya kniga», 2008, 683 p.
8. Polovov B. D. Izvestiya vuzov. *Gornyy zhurnal*. 1981, no 4, pp. 30—33.

9. Turintsev Yu. I., Polovov B. D., Gordeev V. A. *Geomekhanicheskie protsessy na otkrytykh gornykh rabotakh* (Geomechanical processes in open pit mining), Svedrlovsk, 1984, 56 p.

10. Kryachko O. Yu. *Upravlenie otvalami otkrytykh gornykh rabot* (Dumping management in open pit mining), Moscow, Nedra, 1989, 255 p.

11. Kozlov Yu. S. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 1972, no 4, pp. 73—76.

12. Budkov V. P. *Trudy TsNIIgorosusheniya*. 1965, no 5, pp. 114—124.

13. Coulomb C. Easai *Sur une application des regles de Maximis et Minimis a queiques Problemes de Statique relatits a l'Architecture Memoires de Mathematique de Physique Prefentes a l'Academic Royale de Sience par divers Savans, et lue dane fes Affembless anne 1773*, Academic des sciences. Savans atrang. P.: de l'Imprimerie royale, 1776, vol. A.

14. Francaie C. *Recherches sur la poussee des terras, sur. la forme et les dimensions des revetements et sur le talus d'excavation*. Mem. Offica genie, 1820.

15. Kegel K. *Bergmannische Gebirgsmechanik in Abbau bei Festem und bei losem Gebirge*. Halle, 1950, p. 358.

16. Reik G., Teutcsch Chr. The use of equivalent models in slope stability investigation. *Int. J. Rock. Min. Sci. & Geomech. Abstr*. 1976, Vol. 13, pp. 321—330.

17. Khramtsov B. A., Abdul Baten Abdul Zakhir, Rostovtseva A. A. *Materialy XII-oy natsional'noy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem po otkrytoy i podvodnoy dobyche poleznykh iskopaemykh*, 26—30 iyunya, Varna, Bolgariya (Proceedings of the XII-th national conference with international participation of the open and underwater mining of minerals, 26—30 June 2013, Varna, Bulgaria), Varna, 2013, pp. 297—301.

18. Khramtsov B. A. Lubenskaya O. A. *Materialy 13-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Voprosy osusheniya, geologii i geoinformatiki, geomekhaniki, spetsial'nykh gornykh rabot i gornykh tekhnologiy»* (Issues of Drainage, Geology, Geoinformation Science, Geomechanics, Special Mining Works and Mining Technologies: XIII International Symposium Proceedings), Belgorod, 2015, pp. 338—344.

TABLES

Table 1. Geotechnical characterization of dumps at open pit mines of the Kursk Magnetic Anomaly.
Table 2. Instability of dump slopes.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО СИМПОЗИУМА «НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА-2018»

(2018, № 1, СВ 1, 556 с.)

Коллектив авторов.

В сборник вошли статьи по 11-ти научным направлениям: инженерная геология и маркшейдерское дело; инженерная геофизика, геомеханика, геодинамика; геотехнология подземная и открытая; безопасность горного производства; охрана окружающей среды в промышленных регионах; роботизированные технологии и механизация горных предприятий; обогащение и глубокая переработка полезных ископаемых; информационные технологии в горном деле; проектирование и строительство подземных промышленных объектов, управление и экономика на горных предприятиях; энергетика и повышение энергоэффективности промышленных предприятий.

MINER'S WEEK–2018 INTERNATIONAL SYMPOSIUM PROCEEDINGS

Team of authors.

The collection includes articles by 11 scientific areas: engineering Geology and mine surveying; engineering Geophysics, geomechanics, geodynamics; Geotechnology of underground and open; safety mining; environmental protection in industrial regions; the robotic technology and mechanization of mining companies; refining and deep processing of minerals; information technology in mining; design and construction of underground industrial sites, management and Economics in mining enterprises; energy and energy efficiency facility for industrial enterprises.