

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСЫПНЫХ ПОРОД КАРЬЕРНОГО ОТВАЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Владимир Федорович Юшкин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН (ИГД СО РАН), 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)205-30-30 доп. 313, e-mail: L14@ngs.ru

Рассматриваются особенности изменения упругих параметров насыпных пород в краевой части борта карьерного отвала при естественном уплотнении под воздействием природно-климатических факторов. По записям сейсмометрических сигналов на профиле уступа определены пределы сезонного изменения динамического модуля упругости при промерзании верхнего слоя насыпных пород отвала. Показано, что динамический модуль Юнга повышается практически в 1.5 раза. Представленные результаты свидетельствуют об активизации естественной самоорганизации разрушенных пород краевой части борта карьерного отвала под влиянием изменения сезонных природно-климатических факторов за счет повышения прочности приповерхностных слоев грунта.

Ключевые слова: геомониторинг, борт отвала в карьере, механо-эрозионный процесс, оседание пород отвала

STRENGTH CHANGE OF ROCKFILL DUMPS AT OPEN PIT MINES UNDER THE NATURAL CLIMATE IMPACT

Vladimir F. Yushkin

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Dr. Sci. (Eng.), Principal Researcher, Mining Geophysics Laboratory, office: +7 (383) 205-30-30, ext. 313, e-mail: L14@ngs.ru

The article discusses the change in the elastic properties of rockfill in the rims of an open pit dump during natural compaction under the climate impacts. Seismic survey records allowed determining limits of seasonal change in the dynamic elasticity modulus in freeze of the upper layer of dump rockfill. It is shown that dynamic Young's modulus is exceeded 1.5 times. The results are reflective of activation of natural self-organization in rocks in the rims of an open pit dump under the natural climate impact as the strength increases in the surface layers of the dump.

Keywords: open pit dump, mechanical erosion, dump slump, geomonitoring

Введение

Промерзание в зимний период грунтов и пород четвертичных отложений, складываемых в отвалах карьеров и угольных разрезов на юге Западной Сибири, может составлять 2 — 2.5 м, что естественным образом влияет на образование расслоений и развитие механо-эрозионных процессов в уступах и откосах бортов. В результате изменений температуры, накопления осадков, дренажа дожде-

вых и талых вод активизируется переформирование грунтов и пород отвального массива, пронизанного системами протяженных по площади и глубине древо-видных трещин, наиболее существенно проявляющихся в краевой части бортов и уступов. При этом наблюдаются «циркообразные» оседания грунтово-породных масс, развивающихся с определенной скоростью, что, безусловно, связано с изменениями упруго-прочностных параметров насыпных грунтов и пород при увлажнении атмосферными осадками и в результате сезонного промерзания. Инструментальный мониторинг таких процессов на горизонтах и в бортах отвального массива по аналогии с [1] позволит контролировать устойчивость уступов, прогнозировать образование эрозионно-опасных участков.

Методы и материалы

Условия складирования пород в отвалах, формируемых при вскрытии месторождений твердых полезных ископаемых на юге Западной Сибири, в частности в Кузбассе, обусловлены необходимостью совместной отсыпки как четвертичных отложений, покрывающих добычные горизонты с поверхности, так и полускальных и скальных пород, в основном песчаников и алевролитов с примесью аргиллитов, которые на горизонтах добычи приходится вскрывать для обеспечения доступа к продуктивным пластам. Объемы работ по подготовке добычных полей иллюстрируют соотношения литологических разностей вмещающих пород и угля по свитам полей каменноугольных разрезов Кузбасса, приведенные в [2, 3]. Из представленных в [3] литологических соотношений следует, что на участках добычи угля в отвал подлежат эвакуации более 70% непродуктивных пород.

Природно-климатические условия Кузбасса, представленные в [3, 4], оказывают влияние на развитие механо-эрозионных процессов в бортах и уступах при формировании отвалов. Глубины сезонного промерзания послойно укладываемых геоматериалов на горизонтах отвала местами могут превышать $2 \div 2.5$ м, в среднем составляя 1.8 м. Коэффициенты фильтрации осадочных грунтов и пород, довольно низкие в условиях добычных горизонтов, могут существенно возрасти в результате разуплотнения грунтов и фракционного разрушения скальных и полускальных пород при отбойке и перемещении в отвал.

Изменение прочностных параметров насыпных пород отвала под воздействием природно-климатических факторов можно проконтролировать с помощью мониторинга сейсмометрическим методом [3, 5, 6]. Это позволяет установить взаимосвязи между отдельными физико-механическими свойствами складированных геоматериалов, осуществить интерпретацию участков их упрочнения и разупрочнения с помощью вычисления динамического модуля Юнга E_d и коэффициента Пуассона μ_d , значения которых определяются скоростью распространения упругих продольных v_p и поперечных v_s волн с учетом плотности ρ грунтов [5].

Следует отметить, что если коэффициенты фильтрации осадочных грунтов в естественном состоянии варьируют от 0.017 до 2.5 м/сут. при изменении среднегодовых значений в пределах 0.2—0.4 м/сут. [2, 3], то в результате разуплотнения при перемещении в отвал эти величины могут существенно возрасти, снижая прочностные параметры отсыпаемых слоев на горизонтах складирования.

Для измерений скорости продольных и поперечных волн на горизонте складирования насыпных пород отвала шириной порядка 100 м была оборудована сейсмоизмерительная трасса, ориентированная перпендикулярно кромке борта. Записи сейсмических сигналов были получены возбуждением колебаний в насыпном слое грунтов и раздробленных полускальных пород при помощи ударов бойка с заданной энергией. Прием сигналов осуществлялся с помощью геофонов GS20-DX вертикальной и горизонтальной ориентации.

Результаты

Результаты обработки сеймосигналов, измеренных на верхнем горизонте отвала 6, 7, 26 ноября, 18 декабря и 18 февраля, приведены в табл. Расстояние по трассе измерений составило 27.5 м. Скорость продольной волны определялась по годографу первых вступлений волны, поперечной — по годографу максимальных амплитуд. Плотность складированных геоматериалов (суглинки, супеси, песчаники, алевролиты в виде щебня с примесью аргиллитов) с учетом увлажнения к началу промерзания принята равной 1.7 т/м^3 .

Результаты измерения скорости распространения упругих волн
в грунтах верхнего слоя отвала и определения
динамических модулей упругости

Наименование параметра	7 ноября	26 ноября	18 декабря	18 февраля
Скорость продольной волны, м/с	527	415	485	522
Скорость поперечной волны, м/с	213	222	244	270
Динамический модуль Юнга, МПа/м ²	2.16	2.18	2.7	3.27
Коэффициент Пуассона, о.е.	0.4	0.3	0.33	0.32

Обсуждение

Оценка прочностных параметров складированных геоматериалов верхнего горизонта отвала угольного разреза в период промерзания показывает, что сезонные колебания температуры естественным образом приводят к изменениям несущих свойств отсыпных слоев, инициируя увеличение динамических модулей упругости грунтов и пород при промерзании, и возможного образования и развития трещин при оттаивании в результате сжатия-расширения минеральных частиц. Этот факт подтверждают данные табл., показывающие практически полуторное изменение динамического модуля упругости на участке измерения и снижение на 20% коэффициента Пуассона. Такие изменения параметров динамической упругости по

глубине в период промерзания, при оттаивании могут приводить к снижению сил сцепления складываемых геоматериалов и естественным образом вызывать структурные изменения в результате образования и развития трещин в прибортовой части формируемого отвала.

Заключение

Анализ деформационно-волновых процессов в приповерхностных слоях на горизонтах складирования геоматериалов в отвалах на месторождениях твердых полезных ископаемых, а также оценка связанных с ними эрозионных изменений поверхности отсыпки под влиянием сезонных природно-климатических факторов, позволяют определить подходы для разработки методов и реализации комплексного мониторинга формирования отвалов при ведении открытых горных работ по добыче твердых полезных ископаемых. По записям сейсмических колебаний, возбуждаемых на профиле уступа протяженностью 27.5 м, определены пределы сезонного изменения динамических модулей упругости при промерзании приповерхностных слоев насыпных геоматериалов, при этом установлено увеличение практически в 1.5 раза динамического модуля Юнга и снижение коэффициента Пуассона приблизительно на 20%. Представленные результаты свидетельствуют о возможной активизации естественной самоорганизации насыпных пород краевой части борта карьерного отвала под влиянием изменения сезонных природно-климатических факторов за счет повышения прочности приповерхностных слоев грунта при промерзании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юшкин В. Ф. О прогнозе оседаний грунтов в бортах карьера / Сб. материалов XV Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019». Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – Новосибирск: СГУГиГ, 2019. – Т. 2, № 5. – С. 132-137. [Электронное издание]. – 2019. Режим доступа: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2019/sborniki/T2-5.pdf>
2. Геологическое строение и горно-геологическая характеристика угольного месторождения (Кузбасс). [Электронное издание]. – 2012. Режим доступа: [http://www.allbest.ru/\(https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ad68b5c53b89521306d36_0.html\)](http://www.allbest.ru/(https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ad68b5c53b89521306d36_0.html)).
3. Архив погоды, город Киселевск, Кемеровская обл. [Электронное издание]. – 2019. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru>
4. Юшкин В. Ф. Об изменении упругих параметров грунтов в бортах угольных разрезов под влиянием природно-климатических факторов / Сб. материалов XVI Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2020». Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология». — Новосибирск: СГУГиГ, 2020. — Т. 2. — С. 234-238. [Электронное издание]. — 2020. Режим доступа: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2020/sborniki/tom2/234-238.pdf>
5. Геофизические методы исследования земной коры. [Электронное издание]. – 1997. Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1161636&uri=index.html>

6. Юшкин В. Ф. Особенности распространения сейсмической волны взрыва по склону борта угольного разреза / Сб. трудов «Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук». – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2019. – Т. 6, № 1. – С. 271-276.

REFERENCES

1. Jushkin V. F. O prognoze osedaniy gruntov v bortah kar'era / Sb. materialov XV Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Interjekspo GEO-Sibir'-2019». Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravlenija i tehnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Jekonomika. Geojekologija». – Novosibirsk: SGUGiG, 2019. – Т. 2, № 5. – С. 132-137. [Jelektronnoe izdanie]. – 2019. Rezhim dostupa: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2019/sborniki/T2-5.pdf>

2. Geologicheskoe stroenie i gorno-geologicheskaja charakteristika ugol'nogo mestorozhdenija (Kuzbass). [Jelektronnoe izdanie]. – 2012. Rezhim dostupa: <http://www.allbest.ru/> (https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ad68b5c53b89521306d36_0.html).

3. Arhiv pogody, gorod Kiselevsk, Kemerovskaja obl. [Jelektronnoe izdanie]. – 2019. Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru>

4. Jushkin V. F. Ob izmenenii uprugih parametrov gruntov v bortah ugol'nyh razrezov pod vlijaem prirodno-klimaticeskikh faktorov / Sb. materialov XVI Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Interjekspo GEO-Sibir'-2020». Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravlenija i tehnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Geojekologija». – Novosibirsk: SGUGiG, 2020. – Т. 2, № 5. – С. 234-238. [Jelektronnoe izdanie]. – 2019. Rezhim dostupa: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2020/sborniki/tom2/234-238.pdf>

5. Geofizicheskie metody issledovanija zemnoj kory. [Jelektronnoe izdanie]. – 1997. Rezhim dostupa: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1161636&uri=index.html>

6. Jushkin V. F. Osobennosti rasprostraneniya sejsmicheskoy volny vzryva po sklonu borta ugol'nogo razreza / Sb. trudov «Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk». – Novosibirsk: IGD SO RAN, 2019. – Т. 6, № 1. – С. 271-276.

© В. Ф. Юшкин, 2020