УДК 622.271.333:550.837.31 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-34-42

Учет пространственной изменчивости физико-механических свойств техногенного массива гидроотвала при отработке намывных отложений

Караблин М. М.[1]*, Простов С. М.[2]

[1] Кузбасский головной институт по проектированию угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий «Кузбассгипрошахт», г. Кемерово, Россия

[2] Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

e-mail: karablin.mm@gmail.com

Реферат

Введение. *Надежность прогноза устойчивости откосных сооружений зависит от степени схематизации результатов обобщения баз данных инженерно-геологического изучения, гидрогеологического мониторинга, электрических зондирований и маркшейдерских съемок. Для повышения точности прогноза устойчивости актуально использовать геомеханические модели, учитывающие пространственную изменчивость физико-механических свойств грунтов прибортового массива, с последующим поиском наиболее опасного сечения в плане.*

Цель работы. *Обоснование актуальности физико-технического мониторинга откосных сооружений методами скважинно-бесскважинного контроля и последующего прогноза устойчивости с использованием объемных геолого-геофизических моделей.*

Методология. *Поиск наиболее опасного сечения участка массива по соотношению сдвигающих и удерживающих сил в пределах установленных зон, характеризующихся изменчивостью физико-механических свойств.*

Результаты. *На основе обобщения баз данных инженерно-геологического изучения, гидрогеологического мониторинга, электрических зондирований и маркшейдерских съемок разработаны объемные геолого-геофизические модели прибортовых массивов гидровскрышного забоя и разделительной перемычки, представленной трехъярусной насыпью из пород сухой вскрыши, формируемой на намывном массиве. Выполнен прогноз устойчивости опытных участков массивов для фактических положений, дан сравнительный анализ полученных результатов.*

Выводы. *При создании объемных геолого-геофизических моделей техногенных массивов, сформированных на площадях погашенных гидроотвалов, кроме результатов традиционных маркшейдерских измерений и прямых инженерно-геологических изысканий весьма важными являются информативные базы данных о пространственно-временных изменениях физико-механических свойств намывных пород, обусловленных их водоотдачей и консолидацией, которые с высокой детальностью на межскважинных интервалах могут быть получены на основе статистических зависимостей от изменений электропроводящих свойств методами электрических зондирований или томографии, а при создании ограждающих насыпей (перемычек) из сухих пород – информация об избыточном поровом давлении под этими объектами. При отработке гидромеханизированным способом намывных пород, относительно однородных по прочностным свойствам, устойчивость откоса гидровскрышного забоя в наибольшей степени определяется абсолютными величинами набранных прочностных показателей на отрабатываемом участке и неблагоприятным сочетанием формы уступа (наличием выступающих участков, изрезанность забоя в плане) с высотой заходки. Установленный диапазон коэффициента устойчивости составил n = 1,03–3,76. Устойчивость ограждающих сооружений из сухих пород в наибольшей степени зависит от глубины расположения и мощности слабого намывного слоя и абсолютной величины избыточного порового давления в этом слое. Установленный диапазон изменения коэффициента устойчивости для данного участка массива значительно уже и составил n = 1,29–1,59.*

Ключевые слова: *техногенный массив; намывные отложения; устойчивость откосных сооружений; поровое давление; электротомография; изменчивость прочностных свойств; объемная геолого-геофизическая модель; коэффициент устойчивости.*

Введение. При постоянном росте техногенного воздействия на литосферу во избежание глобальных катастрофических последствий возрастает потребность в повышении точности прогноза устойчивости откосных сооружений [1].

Таблица 1. Физико-механические свойства природных и антропогенных грунтов
Table 1. Physical and mechanical properties of natural and man-made soils

Породы (контакты слоев)	γ, кН/м^3	*C*, кПа	φ, град
Отвальная смесь	18,1	14,7	32
Намывные грунты в забое гидромеханизации	18,4	18	8
Естественно залегающие четвертичные отложения	19,1	26	14

При традиционном подходе для геомеханического обоснования предельных параметров горных выработок и отвалов принимают ряд упрощений:

– прибортовой массив рассматривают как квазиизотропный или слоистый, в то время как реальные горные породы являются сложной дискретной и неоднородной средой, обладающей анизотропией всех физических, прочностных и деформационных свойств [2];

– в результате неблагоприятного влияния природных и техногенных факторов на горные породы происходит постоянное изменение показателей упомянутых свойств, направлений и величин внешних воздействий, определяющих напряженно-деформированное состояние исследуемого массива.

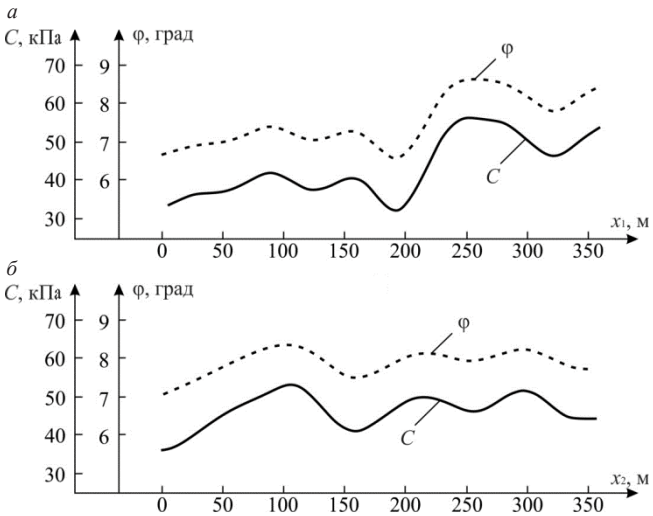

Рис. 1. Графики зависимости механических свойств намывных грунтов от координат профилей x_1 – *а* и x_2 – *б*
Fig. 1. Graphs of the dependence between the mechanical properties of alluvial soils and the sections coordinates x_1 – *a* and x_2 – *б*

В результате такой схематизации для обоснования безопасности инженерной деятельности человека динамическую задачу решают как статическую. Это обусловлено тем, что для получения необходимого объема данных об инженерно-геологическом строении, гидродинамическом режиме подземных вод, аномалиях и изменчивости свойств массива требуется выполнение больших объемов прямых методов изысканий (бурение скважин, отбор монолитов и их лабораторные испытания), а также геофизических исследований, как скважинных, так и с зем-

ной поверхности. Из-за трудоемкости и дороговизны таких исследований в большинстве случаев не представляется возможным регулярно обновлять базы данных результатов исследований, поэтому все более актуальными становятся методы бесскважинных геофизических, в частности, электрофизических измерений, результаты которых представлены в ряде публикаций [3–11].

Таблица 2. Результаты замеров по датчикам порового давления
Table 2. Pore pressure measurements

Номер скважины	Номер датчика	Поровое давление *u*, кПа
1-12	1312	694,5
	1041	989,9
	1054	299,1
2-12	1049	249,3
	1043	1133,4
2-07	257	230,8
	201	129,7
2-08	353	47,7
1-07	528	0,0
	544	111,9
	506	254,8
6-11	334	84,5
2-04	859	70,6
	503	165,9

Особенность использования таких методов заключается в возможности установления статистических зависимостей изменений свойств горных пород и электрической контрастности, а также оперативного контроля состояния массива.

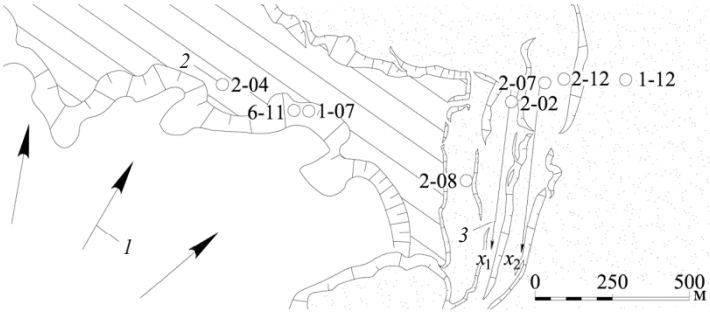

Рис. 2. Схема гидровскрышного забоя и разделительной перемычки:
1 – направление забоев гидровскрышных работ; *2* – инженерно-геологическая скважина; *3* – геофизический профиль
Fig. 2. Diagram of a hydraulic overburden face and a dividing bulkhead:
1 – direction of the hydraulic overburden operations faces; *2* – engineering geological borehole; *3* – geophysical profile

Авторами статьи на основе результатов анализа изменчивости показателей механических свойств намывных грунтов, приведенного в работе [12], выполнен прогноз устойчивости техногенного массива, сформированного на гидроотвале, а также откосов гидровскрышного забоя в условиях Кедровского угольного разреза.

Целью работы является обоснование актуальности физико-технического мониторинга откосных сооружений методами скважинно-бесскважинного контроля и последующего прогноза устойчивости с использованием объемных геолого-геофизических моделей.

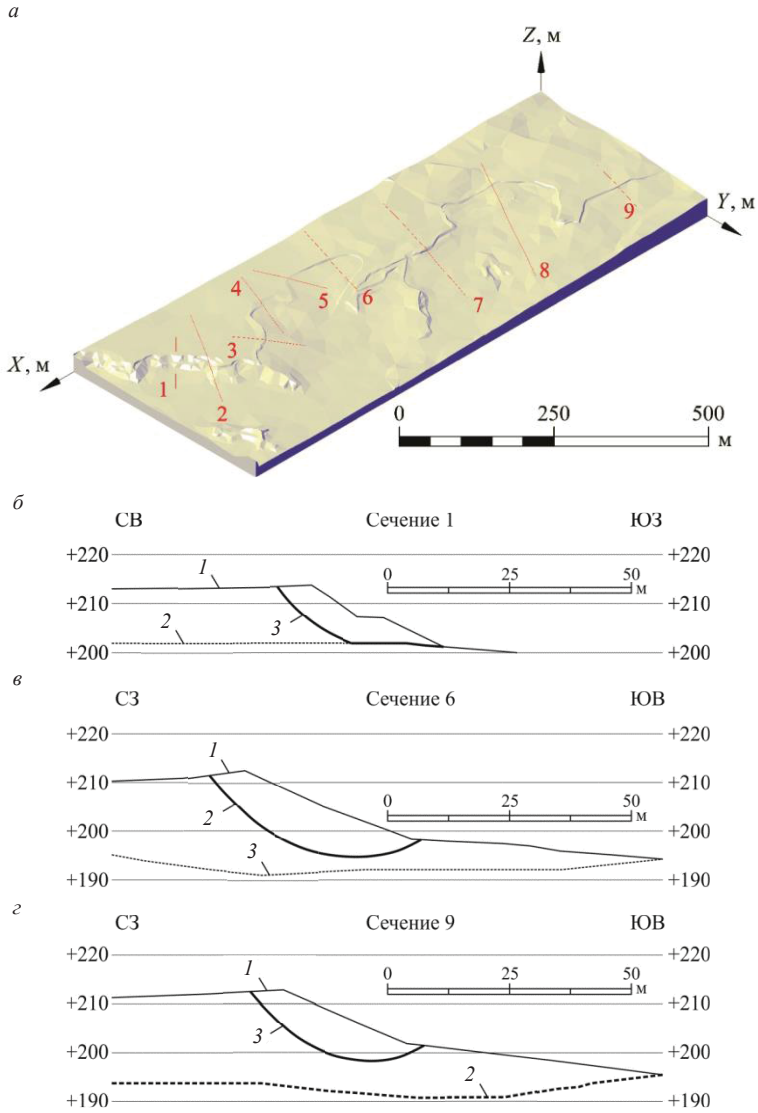

Рис. 3. Объемная геолого-геофизическая модель гидровскрышного забоя – *а* и расчетные сечения 1 – *б*, 6 – *в*, 9 – *г* с наиболее напряженными поверхностями скольжения:

1 – поверхность намывного массива; *2* – естественный рельеф; *3* – наиболее напряженная поверхность скольжения

Fig. 3. Three-dimensional geological-geophysical model – *a* and sections 1 – *б*, 6 – *в*, 9 – *г* with the most stressed glide surface:

1 – soil area surface; *2* – natural topography; *3* – failure surface

Методика проведения исследований. Изучение физико-механических свойств грунтов, слагающих намывной и техногенный массив разделительной перемычки гидроотвала, выполнено по результатам инженерно-геологических изысканий.

Прогноз пространственной изменчивости механических свойств намывного массива гидроотвала вблизи ограждающей перемычки произведен методом электротомографических измерений с использованием аппаратуры СКАЛА-48.

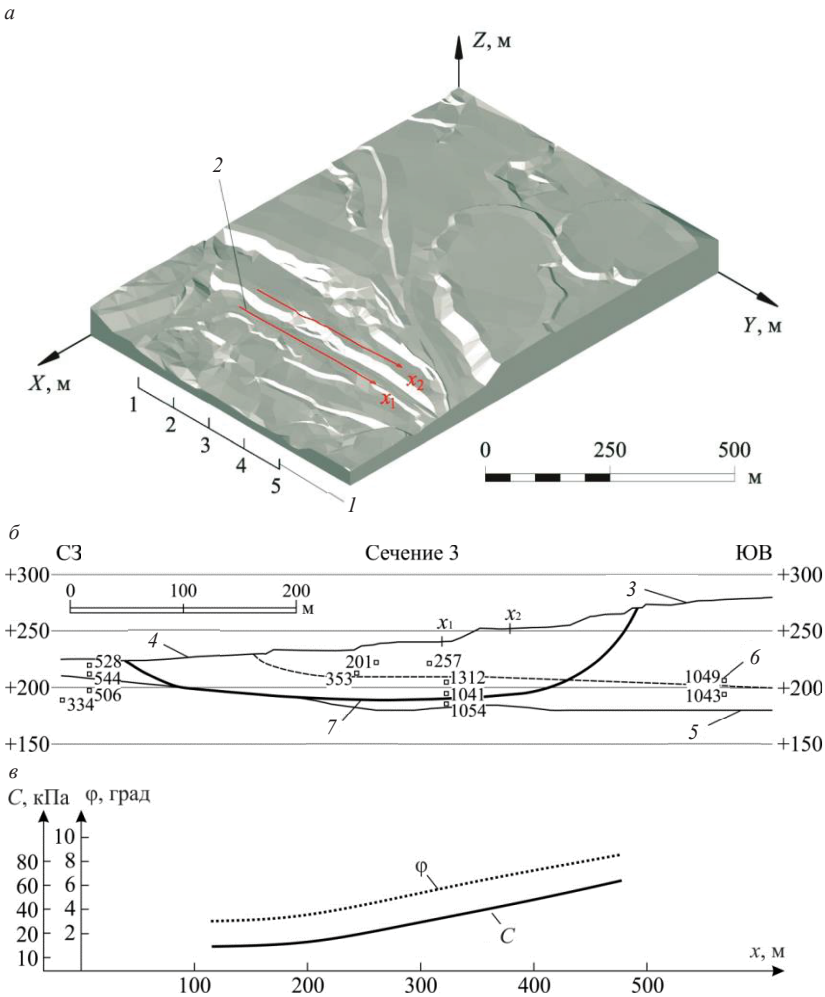

Рис. 4. Объемная геолого-геофизическая модель разделительной перемычки – *а*, расчетное сечение 3 – *б* и график зависимости механических свойств намывных грунтов от координаты *x* профиля 3 – *в*:

1 – расчетное сечение; *2* – геофизический профиль; *3* – поверхность массива разделительной перемычки; *4* – поверхность намывного массива; *5* – естественный рельеф; *6* – датчик порового давления; *7* – наиболее напряженная поверхность скольжения

Fig. 4. Three-dimensional geological-geophysical model – *a*, the section 3 – *б* and graph of the dependence of the mechanical properties of alluvial soils on the section 3 – *в*:

1 – section; *2* – geophysical section; *3* – dump surface; *4* – soil area surface; *5* – natural topography; *6* – pore pressure sensor; *7* – failure surface

Влияние порового давления в намывных глинистых грунтах, обусловленного гравитационным уплотнением породами сухой вскрыши, исследовано на основании данных наблюдений по 14 пьезометрическим датчикам преобразователей давления (ПДС) струнного типа.

По результатам обобщения баз данных инженерно-геологических, геофизических и гидрогеологических работ с использованием методических подходов, изложенных в работе [13], построены объемные геолого-геофизические модели

массива гидровскрышного забоя и ограждающей перемычки. Особенностью геолого-геофизической модели разделительной перемычки является линейная интерполяция значений механических свойств намывных грунтов (угла внутреннего трения φ и сцепления *C*) в плане.

Прогноз устойчивости указанных откосных сооружений выполнен методом предельного равновесия, учитывающим три уравнения равновесия.

Результаты. Гидроотвал № 3 расположен в северо-восточной части Кедровского угольного разреза. В результате расконсервации запасов под гидроотвалом принято решение о его частичном смыве, причем для ограждения зоны гидромеханизации возведена трехъярусная насыпь (разделительная перемычка) общей высотой до 60 м.

Таблица 3. Результаты прогноза устойчивости
Table 3. The results of slope stability analysis

Сечение	$z_в$, м	$z_н$, м	h, м	α, град	n
Гидровскрышной забой					
1	213,8	201,2	12,6	25	1,04
2	213,4	204,8	8,6	20	1,37
3	211,6	209,0	2,6	8	3,72
4	206,9	201,8	5,1	8	3,76
5	208,0	203,8	4,2	34	1,56
6	212,5	198,2	14,3	22	1,03
7	212,6	208,6	4,0	29	1,93
8	211,9	205,4	6,5	14	1,64
9	212,8	201,5	11,3	21	1,03
Разделительная перемычка					
1	271,0	231,3	39,7	8	1,40
2	272,9	230,5	42,4	7	1,59
3	270,7	229,7	41,0	7	1,29
4	268,2	226,5	41,7	9	1,42
5	247,7	223,0	24,7	10	1,38

Инженерно-геологические изыскания включали в себя бурение 16 скважин, проходку нескольких закопушек и измерения в пяти точках методом статического зондирования. Результаты изучения физико-механических свойств отвальных пород и естественно залегающих грунтов четвертичных отложений представлены в табл. 1.

Пространственная изменчивость значений углов внутреннего трения φ и сцепления *C* намывных грунтов по профилям x_1 и x_2 установлена по результатам электротомографических измерений с использованием ранее установленной зависимости физических свойств от удельного электрического сопротивления. Графики зависимости механических свойств намывных грунтов от координат профилей представлены на рис. 1.

Результаты замеров по датчикам порового давления в намывных отложениях представлены в табл. 2.

Схема гидровскрышного забоя и разделительной перемычки представлена на рис. 2.

Из результатов гидрогеологических наблюдений следует отметить наличие избыточного порового давления во всем намывном массиве под разделительной перемычкой.

На основе полученных баз экспериментальных данных построены объемные геолого-геофизические модели, представленные в графической форме на рис. 3, 4, а также выполнен прогноз устойчивости откосов гидровскрышного забоя (сечения 1–5) и разделительной перемычки (сечения 6–10). Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Выводы. При создании объемных геолого-геофизических моделей техногенных массивов, сформированных на площадях погашенных гидроотвалов, кроме результатов традиционных маркшейдерских измерений и прямых инженерно-геологических изысканий весьма важными являются информативные базы данных о пространственно-временных изменениях физико-механических свойств намывных пород, обусловленных их водоотдачей и консолидацией, которые с высокой детальностью на межскважинных интервалах могут быть получены на основе статистических зависимостей от изменений электропроводящих свойств методами электрических зондирований или томографии, а при создании ограждающих насыпей (перемычек) из сухих пород – информация об избыточном поровом давлении под этими объектами.

При отработке гидромеханизированным способом намывных пород, относительно однородных по прочностным свойствам, устойчивость откоса гидровскрышного забоя в наибольшей степени определяется абсолютными величинами набранных прочностных показателей на отрабатываемом участке и неблагоприятным сочетанием формы уступа (наличием выступающих участков, изрезанность забоя в плане) с высотой заходки. Установленный диапазон коэффициента устойчивости составил n = 1,03–3,76.

Устойчивость ограждающих сооружений из сухих пород в наибольшей степени зависит от глубины расположения и мощности слабого намывного слоя и абсолютной величины избыточного порового давления в этом слое. Установленный диапазон изменения коэффициента устойчивости для данного участка массива значительно уже и составил n = 1,29–1,59.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трушко В. Л., Протосеня А. Г. Перспективы развития геомеханики в условиях нового технологического уклада // Записки Горного института. 2019. Т. 236. С. 162–166. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.162

2. Агафонов А. А., Поршнева Т. В. Обоснование устойчивых параметров отвалов на основе геомеханической модели проектируемых объектов // ГИАБ. 2020. № 3-1. С. 5–20. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-5-20

3. Татаркин А. В. Методика прогноза провалов земной поверхности на примере Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // ГИАБ. 2020. № 1. С. 121–132. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-121-132

4. Nejad H. T., Mumipour M., Kaboli R., Najib O. A. Vertical Electrical Sounding (VES) Resistivity Survey Technique to Explore Groundwater in an Arid Region, Southeast Iran // Journal of Applied Sciences. 2011. No. 23. P. 3765–3774. DOI: 10.3923/jas.2011.3765.3774

5. Youssef M. A. S. Geoelectrical analysis for evaluating the aquifer hydraulic characteristics in Ain El-Soukhna area, West Gulf of Suez, Egypt // Nriag Journal Of Astronomy And Geophysics. 2020. Vol. 9. No. 1. P. 85–98. https://doi.org/10.1080/20909977.2020.1713583

6. Шалагинов А. Е., Неведрова Н. Н., Шапаренко И. О., Бабушкин С. М. Геоэлектрическое строение зоны развития суффозионно-просадочных процессов по данным методов постоянного и переменного тока // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.): Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: сб. матер. в 6 т. 2018. Т. 4. С. 219–226.

7. Ескин А. Ю., Джурик В. И., Серебренников С. П., Брыжак Е. В. Геофизические исследования на земляной плотине Иркутской ГЭС с целью изучения ее фильтрационной устойчивости // Вестник ИрГТУ. 2014. № 94. С. 64–70.

8. Kuriakose T., Ramanathan Al., Sankar K., Rawat M., Mrutyunjaya S. Characterizing Waste Dump Effects on Ground Water Through Electrical Resistivity Sounding around Okhla Landfill Site, New Delhi, India // Journal of Applied Geochemistry. 2016. Vol. 18. No. 4. P. 457–463.

9. Mosuro G. O., Omosanya K. O., Bayewu O. O., Oloruntola M. O., Laniyan T. A., Atobi O., Okubena M., Popoola E., Adekoya F. Assessment of groundwater vulnerability to leachate infiltration using electrical resistivity method // Appl. Water Sci. 2017. No. 7. P. 2195–2207. DOI 10.1007/s13201-016-0393-4

10. Шалагинов А. Е., Неведрова Н. Н., Шапаренко И. О., Бабушкин С. М. Применение методов электроразведки с контролируемыми источниками для выявления причин развития суффозионно-просадочных процессов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 4. С. 26–40. DOI 10.18799/24131830/2019/4/190

11. Prostov S. M., Khyamyalyainen V. A., Bakhaeva S. P. Irrelation among electrophysical properties of clays rocks, their porosity and moisture saturation // Journal of Mining Science. 2006. Vol. 42. No. 4. P. 349–359.

12. Prostov S. M., Bakhaeva S. P., Smirnov N. A. Prediction of physic-mechanical properties of hydraulic fill based on electrical sounding // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51. No. 1. P. 55–62.

13. Караблин М. М., Простов С. М. Прогноз устойчивости прибортового массива оползня «Центральный» угольного разреза «Ангренский» на основе объемной геолого-геофизической модели // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 39–49. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-39-49

Поступила в редакцию 26 октября 2020 года

Сведения об авторах:

Караблин Михаил Михайлович – руководитель группы геомеханических работ Кузбасского головного института по проектированию угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий «Кузбассгипрошахт». E-mail: karablin.mm@gmail.com

Простов Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и геотехнической механики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: psm.kem@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-34-42

Taking into account the spatial variability of the physical and mechanical properties of a hydraulic dump when flushing it

Mikhail M. Karablin[1], Sergei M. Prostov[2]

[1] Kuzbassgiproshakht, Kemerovo, Russia.

[2] T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.

Abstract

Introduction. *Slope stability analysis reliability depends on the level of schematizing the results of engineering-geological survey, hydrogeological monitoring, electrical sounding, and mine surveying data generalization. In order to improve the stability analysis accuracy, it is relevant to use the geomechanical models, which take into account the spatial variability of the adjacent rock mass physical and mechanical properties, with further search for the most hazardous section in the plan.*

Research aim *is to substantiate the relevance of slopes physical and mechanical monitoring by the methods of downhole control and further stability analysis with the use of the geological and geophysical models.*

Methodology *includes the search for the most hazardous section of the rock mass by the ratio of the shearing and restraining forces within the limits of the established zones characterized by the variability of physical and mechanical properties.*

Results. *As a result of generalizing the databases of the engineering and geological study, hydrogeological monitoring, electrical sounding and mine surveying, the volumetric geological and geophysical models were built of the technogenic massif formed at the dump, as well as the slopes of the hydraulic overburden face, represented by the three-level fill of dry overburden. Test areas stability has been analyzed for the actual position, and the comparative analysis of the results was made.*

Conclusions. *When building volumetric geological and geophysical models of man-made rock masses formed at the areas of filled hydraulic waste diposals, in addition to the results of the traditional survey measurements and direct engineering and geological study, it is important to create informative databases on spatial and temporal variations of physical and mechanical properties of alluvial rock conditioned by their fluid loss and consolidation, which with in details at cross hole intervals may be obtained based on the statistical dependences on electrical conductive properties variation by the methods of electrical sounding or tomography; and when making enclosing embankments (bridges) of dry rocks – information about excess pore pressure under these facilities. When using the hydromechanized method for the alluvial rocks, relatively homogeneous in strength properties, the hydraulic overburden face slope stability is determined to the greatest extent by the absolute values of the accumulated strength indicators in the mined area and the unfavorable combination of the edge shape (the presence of protruding sections and face unevenness in the plan) with the entry height. The established range of the stability coefficient was n = 1.03–3.76. The stability of the enclosing structures made of dry rock to the greatest extent depends on weak alluvial layer depth and thickness and the absolute value of excess pore pressure in this layer. The established range of stability coefficient variation for this rock mass section is much narrower and amounted to n = 1.29–1.59.*

Key words: *man-made massif; aggradational deposits; slope stability; pore pressure; electrical resistivity tomography; variability of soils mechanical properties; three-dimensional geological and geophysical mode; safety factor.*

REFERENCES

1. Trushko V. L., Protosenia A. G. Prospects of geomechanics development in the context of new technological paradigm. *Zapiski Gornogo Instituta = Journal of Mining Institute*. 2019; 236: 162–166. Available from: DOI: 10.31897 / PMI.2019.2.162. (In Russ.)

2. Agafonov A. A., Porshneva T. V. Substantiation of stable parameters of dumps on the basis of a geomechanical model of designed objects. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2020; 3-1: 5-20. Available from: DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-5-20 (In Russ.).

3. Tatarkin A. V. Prediction procedure for sinkholes in terms of the Upper Kama potassium-magnesium salt deposit. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2020; 1: 121–132. Available from: DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-121-132 (In Russ.).

4. Nejad H.T., Mumipour M., Kaboli R., Najib O. A. Vertical Electrical Sounding (VES) Resistivity Survey Technique to Explore Groundwater in an Arid Region, Southeast Iran. *Journal of Applied Sciences*. 2011; 23: 3765–3774. Available from: DOI: 10.3923/jas.2011.3765.3774

5. Youssef M. A. S. Geoelectrical analysis for evaluating the aquifer hydraulic characteristics in Ain El-Soukhna area, West Gulf of Suez, Egypt. *Nriag Journal of Astronomy and Geophysics*. 2020; 9 (1): 85–98. Available from: doi.org/10.1080/20909977.2020.1713583

6. Shalaginov A. E., Nevedrova N. N., Shaparenko I. O., Babushkin S. M. Geoelectric structure of the zone of development of suffosion-sagged processes according to dc and ac methods. In: *Interexpo GEO-Siberia: XIV International Scientific Congress (Novosibirsk, April 23-27, 2018): Intern. scientific. conf. "Subsoil use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology": Collection of materials in 6 volumes*. 2018; 4: 219–226. (In Russ.)

7. Eskin A. Iu., Dzhurik V. I., Serebrennikov S. P., Bryzhak E. V. Geophysical researches on the Irkutsk hydroelectric power station earth fill dam to study its filtration stability. *Vestnik ISTU = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2014; 94: 64–70. (In Russ.)

8. Kuriakose T., Ramanathan Al., Sankar K., Rawat M., Mrutyunjaya S. Characterizing Waste Dump Effects on Ground Water Through Electrical Resistivity Sounding Around Okhla Landfill Site, New Delhi, India. *Journal of Applied Geochemistry*. 2016; 18 (4): 457–463.

9. Mosuro G. O., Omosanya, K. O., Bayewu O. O., Oloruntola M. O., Laniyan T. A., Atobi O., Okubena M., Popoola E., Adekoya F. Assessment of groundwater vulnerability to leachate infiltration using electrical resistivity method. *Appl. Water Sci*. 2017; 7: 2195–2207. Available from: DOI 10.1007/s13201-016-0393-4.

10. Shalaginov A. E., Nevedrova N. N., Shaparenko I. O., Babushkin S. M. Application of methods of electrical exploration with controlled sources for detecting causes of sub-pass-location processes development. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019; 330 (4): 26–40. Available from: DOI 10.18799 / 24131830/2019/4/190

11. Prostov S. M., Khyamyalyainen V. A., Bakhaeva S. P. Interrelation among electrophysical properties of clays rocks, their porosity and moisture saturation. *Journal of Mining Science*. 2006; 42 (4): 349–359.

12. Prostov S. M., Bakhaeva S. P., Smirnov N. A. Prediction of physic-mechanical properties of hydraulic fill based on electrical sounding. *Journal of Mining Science*. 2015; 51 (1): 55–62.

13. Karablin M. M., Prostov S. M. Angren coal pit Centralny landslide slope stability analysis based on a three-dimensional geological-geophysical model. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 3: 39–49. (In Russ.) Available from: DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-39-49

Received 26 October 2020

Information about authors:

Mikhail M. Karablin – leading engineer of the Technical Department, OJSC KuzbassGhiproShakht. E-mail: karablin.mm@gmail.com

Sergei M. Prostov – DSc (Engineering), professor of the Department of Theoretical and Geotechnical Mechanics, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: psm.kem@mail.ru

Для цитирования: Караблин М. М., Простов С. М. Учет пространственной изменчивости физико-механических свойств техногенного массива гидроотвала при отработке намывных отложений // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 2. С. 34–42. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-34-42

For citation: Karablin M. M., Prostov S. M. Taking into account the spatial variability of the physical and mechanical properties of a hydraulic dump when flushing it. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 2: 34–42 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-34-42