

УДК 622.023

© А.Н. Гурин, Е.Н. Заворина, 2017

А.Н. ГУРИН

зам. зав. лабораторией, инженер
ООО «МНЦ ГЕОМЕХ»,
г. Санкт-Петербург



Е.Н. ЗАВОРИНА

зав. лабораторией, канд. техн. наук
ООО «МНЦ ГЕОМЕХ»,
г. Санкт-Петербург
e-mail: lzavorn@mail.ru



СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОД ИЗ КЕРНА ГЛУБОКИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Произведен анализ результатов исследований физико-механических свойств пород на месторождении. Представлены результаты статистической обработки и усреднения основных показателей физико-механических свойств вмещающих пород по испытаниям прочностных свойств пород из керна глубоких инженерно-геологических скважин для оценки устойчивости бортов карьеров.

Ключевые слова: КАРЬЕР, БОРТ, УСТУП, СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА, СКВАЖИНА.

Цель проводимого исследования — обоснование достоверных исходных данных для оценки устойчивости уступов и бортов карьера.

Задачи исследования:

- статистический анализ результатов испытаний (одноосное сжатие, растяжение, косой срез) по отдельным пробам;
- анализ структуры массива горных пород по описанию и фотодокументации керна;
- анализ изменения физико-механических свойств вмещающих пород по глубине скважины;

— обобщение вновь полученных данных геомеханических исследований пород с ранее проведенными исследованиями на стадии разведки и строительства карьера;

— определение средних значений исходных параметров для оценки устойчивости уступов и бортов карьеров.

В геологическом строении месторождения участвуют следующие комплексы пород [1, 2], довольно четко отличающиеся по своим физико-механическим свойствам. Массив пород месторождения подразделяется на четыре крупных инженерно-геологических

элемента, сложенных различными по своим литологическим и физико-механическим свойствам породами:

1. Верхняя часть включает в себя комплекс рыхлых четвертичных отложений (QI-IV) и, менее развитые, выветрелые слабосцементированные породы каменноугольного возраста (C_2).

2. Средняя часть представлена отложениями золотицких слоев падунской свиты

(Vzl), распространенными в интервале глубин примерно 40÷220 м.

3. Нижняя часть объединяет образования мезенской и устьпинезской свит, сходные по литологии и физико-механическим свойствам.

4. Породы продуктивной толщи.

Схема геологического строения месторождения приведена в табл. 1.

Таблица 1

Схема геологического строения

Возраст отложений	Наименование свиты и подсвиты	Ломоносовское месторождение	
		Мощность отложений, м: <u>средняя</u> <u>пределы</u>	Наименование пород
1	2	3	4
Перекрывающие трубку породы — четвертичные и среднекаменноугольные			
Неоген-четвертичные Q+N		<u>25,9</u> 0,5-46,0 13,4 — на участке ОПУ	Пески, суглинки (полутвердые и твердые), глины (пластичные и тугопластичные), супеси, гравийно-галечниковые породы
Среднекаменноугольные C_2	Олмугско-окуневская свита C_{2ol-ok}	8-9	Известняки на некоторых участках
	Урзугская свита C_{2ur}	<u>15,0</u> 12,4-22,8	Песчаники, слабосцементированные с прослоями алевролитов, реже известняков и гравелитов; часто разрушены до песка
Вмещающие трубку осадочные породы падунской, мезенской, усть-пинезской свит венда			
Верхний венд V_2 (верхний протерозой)	Падунская свита V_{2pd}	175-185	Песчаники слабосцементированные (60-80 % разреза), алевролиты (15-20 % разреза), аргиллиты (3-5 % разреза)
	Мезееская свита V_{2mz} :	225-250	Песчаники (до 20 % разреза), алевролиты (до 70 % разреза), аргиллиты (до 15 % разреза)
	— мельская подсвита V_{2ml}	190	
	— ергинская подсвита V_{2er}	35-60	Песчаники (до 20 % разреза), алевролиты (до 70 % разреза), аргиллиты (до 15 % разреза)
	Усть-пинезская свита V_{2up}	495	Алевролиты и аргиллиты тонкопереслаивающиеся при полном отсутствии песчаников. Породы сильно литифицированы, трещиноваты

Виды испытаний:

— ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний».

— ГОСТ 21153.3-85 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении».

— ГОСТ 28985-91 «Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии».

— ГОСТ 21153.5-88 «Породы горные. Метод определения прочности при срезе со сжатием».

В соответствии с проектом по организации гидрогеомеханического мониторинга за деформационными и гидрогеологическими процессами в прибортовом массиве на месторождении были пробурены скважины, из которых отобран керн основных литотипов вмещающих пород.

Программой по исследованию физико-механических свойств вмещающих пород предусматривалось бурение скважин с диаметром керна 60-62 мм и отбором проб для лабораторных испытаний для каждого литотипа пород с интервалом 30-50 м (в коренных отложениях) по всей проектной глубине скважин. Фактически диаметр керна из пробуренных скважин составлял 72 мм и более, что определяет необходимость их дополнительной механической обработки относительно планируемой.

При определении видов испытаний для некоторого интервала глубин, определяемого фактическим количеством изготовленных образцов, приоритетными являлись испытания на срез со сжатием. Эти испытания напрямую позволяют определить показатели объемной прочности пород (сцепление C , угол внутреннего трения φ), используемые при оценке устойчивости бортов карьеров. Для каждого из выделенных интервалов, определяемых фактическим количеством подготовленных образцов, определялись следующие показатели физико-механических свойств пород: плотность, влажность, модуль деформации, модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел прочности при растяжении,

предел прочности при одноосном сжатии. Для всех перечисленных показателей, в пределах фактического интервала опробования, осуществлялась статистическая обработка результатов в соответствии с ГОСТ 20522-96 («Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»).

Основными характеристиками, необходимыми для оценки устойчивости бортов карьеров, являются показатели объемной прочности пород (C , φ) вкrest наслению. Это объясняется тем, что потенциальная поверхность скольжения на всем своем протяжении пересекает слои вмещающих горных пород и лишь в нижней части совпадает наиболее слабым контактом слоев горных пород. На основе фактического объема подготовленных к испытаниям на срез со сжатием образцов были определены интервалы глубин, которые они характеризуют. В результате выполненных испытаний определены показатели объемной прочности пород (C , φ) для интервалов пород различной мощности. Значения показателей объемной прочности пород (C , φ) для интервалов глубин, где испытания пород не проводились, определялись как средние значения между двумя соседними интервалами. Полученная подобным образом «колонка» достаточно полно характеризует значения прочностных свойств вмещающих пород и их изменение по глубине скважины.

Как уже отмечалось выше, потенциальная поверхность скольжения, практически на всем своем протяжении, пересекает слои горных пород. При этом удерживающие силы, определяемые прочностными характеристиками пород (C , φ), суммируются вдоль потенциальной поверхности скольжения. Вследствие этого средние значения прочностных свойств пород по скважине применительно к оценке устойчивости бортов карьера (C_{cp} , φ_{cp}) должны определяться с учетом протяженности потенциальной поверхности на каждом из выделенных интервалов глубин, то есть

$$C_{cp} = \frac{\sum_i \frac{c_i m_i}{\cos \gamma_i}}{\sum_i \frac{m_i}{\cos \gamma_i}}, \quad \operatorname{tg} \gamma_{cp} = \frac{\sum_i \frac{\operatorname{tg} \gamma_i m_i}{\cos \gamma_i}}{\sum_i \frac{m_i}{\cos \gamma_i}}$$

где C_i — среднее значение сцепления для рассматриваемого интервала глубин; $tg\varphi_i$ — среднее значение тангенса угла внутреннего трения для рассматриваемого интервала глубин; m_i — протяженность интервала глубин, характеризующаяся прочностными свойствами пород C_p ; φ_i — угол наклона потенциальной поверхности скольжения в выделенном i -том слое пород [2].

Значения C_i , $tg\varphi_i$ на каждом из выделенных интервалов определяются на основе ста-

тистической обработки результатов испытаний. Для интервалов глубин, где испытания не проводились, эти характеристики принимаются равными среднему значению между соседними интервалами $i-1$ и $i+1$.

Результаты статистической обработки испытаний, выполненных в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-96 («Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний») [4], приведены в сводной табл. 2.

Таблица 2

Средние показатели физико-механических свойств пород

Наименование	Интервал отбора, м	Среднее значение сцепления, МПа	Угол внутреннего трения, град.
1	2	3	4
Алевролит	52,3–83,0	0,4	37,95
	83,1–100,5	0,4	38,66
	100,6–133,8	0,4	39,69
	133,9–150,4	0,4	37,6
	150,5–196,9	0,4	35,37
	197,0–209,4	0,65	33,82
	209,5–231,3	0,9	32,21
	231,4–260,3	0,9	34,61
	260,4–294,8	0,9	36,50
	294,9–300,8	0,95	37,6
	300,9–330,0	1,0	38,66
	330,0–336,9	1,15	35,75
	337,0–358,0	1,3	32,62
Аргиллит	180,5–229,5	0,3	37,95
	229,6–237,9	0,4	36,50
	238,0–299,3	0,5	34,99
	299,4–303,9	0,7	34,8
	304,0–352,0	0,9	34,61
Песчаник	57,0–82,6	0,93	34,6
	82,7–102,2	0,81	37,6
	102,3–142,0	0,69	40,4
	142,1–149,9	0,88	39,0
	150,0–189,6	1,07	37,6
	189,7–201,4	0,83	37,95
	201,5–221,8	0,58	38,3
	221,9–241,54	0,87	34,6
	241,55–276,6	1,16	30,5
	276,7–299,9	0,84	36,5
	300,0–317,6	0,51	41,7
	317,7–337,15	1,16	35,8
	337,16–356,9	1,82	28,4

По результатам статистической обработки [5] и определению средних значений показателей объемной прочности (C , ϕ), приведенных в табл. 2, для каждого из литотипов пород построены диаграммы. Эти диаграммы отражают изменение показателей объемной прочности по глубине рассматриваемой скважины. На интервалах глубин, где испытания пород на срез со сжатием не проводились, значения показателей объемной прочности

породы (C , ϕ) принимались равными среднему значению между соседними интервалами. Эти средние (расчетные) значения на диаграммах окрашены в другой цвет. Указанные диаграммы для основных литотипов пород приведены на рис. 1–6.

Помимо этого на рис. 7–8 представлены диаграммы, характеризующие изменение прочности пород на одноосное сжатие по глубине рассматриваемой скважины.

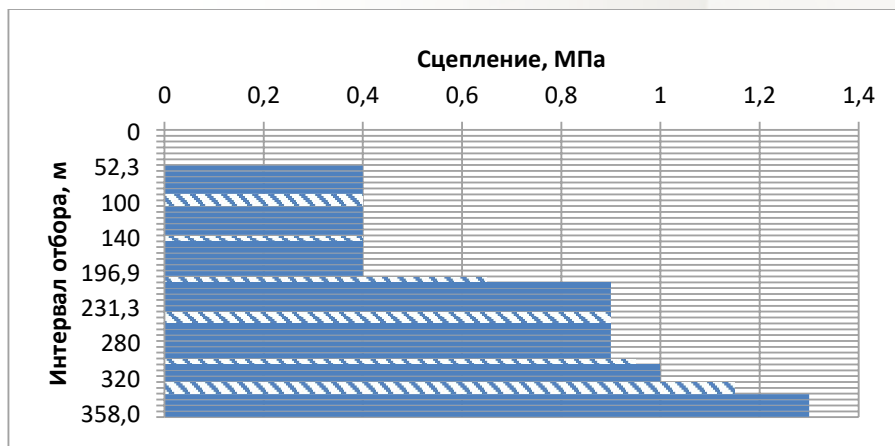


Рис. 1. Диаграмма изменения сцепления от интервала отбора проб для алевролита

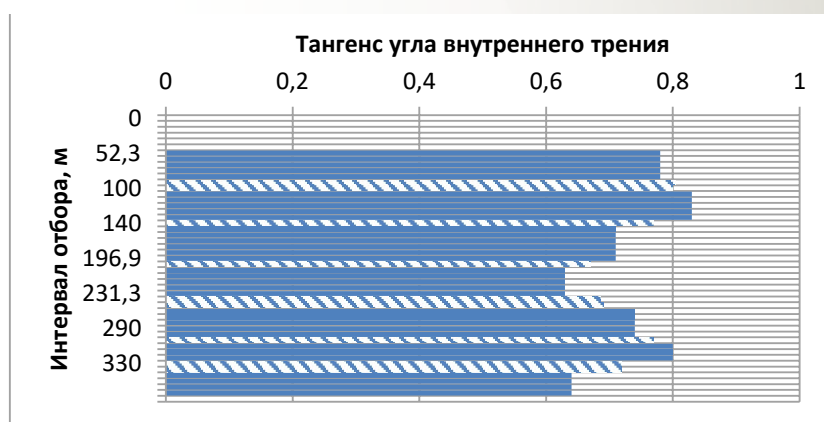


Рис. 2. Диаграмма изменения угла внутреннего трения от интервала отбора проб для алевролита

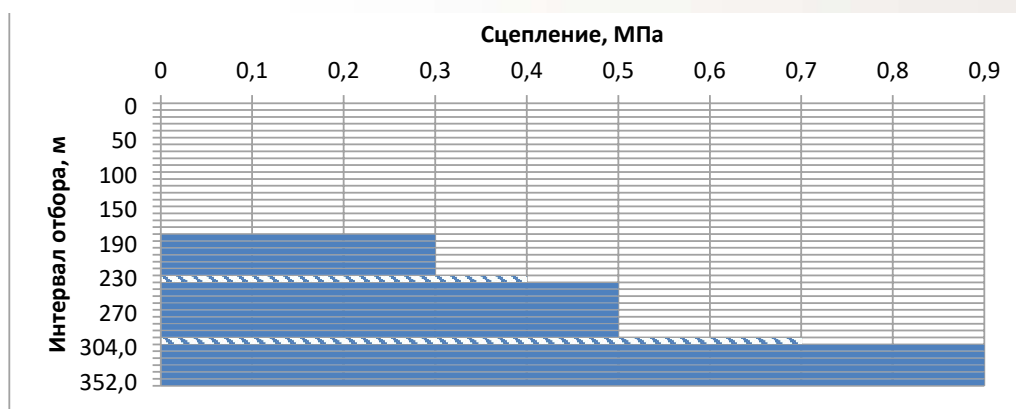


Рис. 3. Диаграмма изменения сцепления от интервала отбора проб для аргиллита

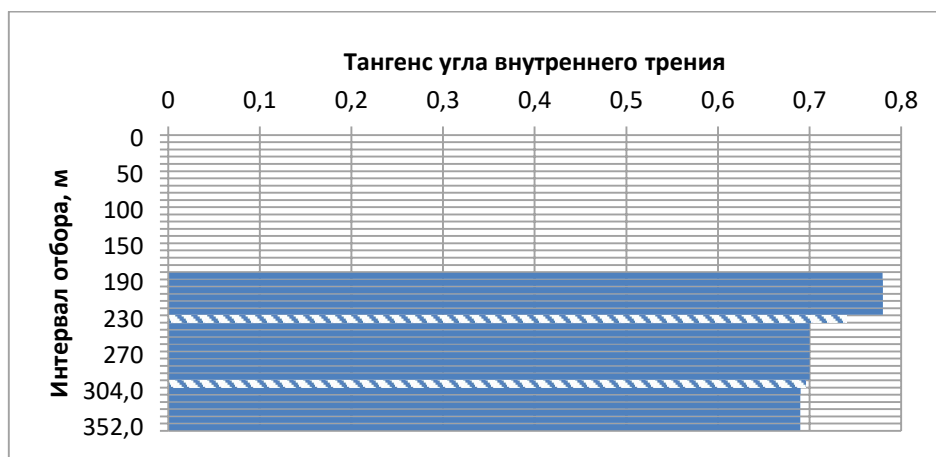


Рис. 4. Диаграмма изменения угла внутреннего трения от интервала отбора проб для аргиллита

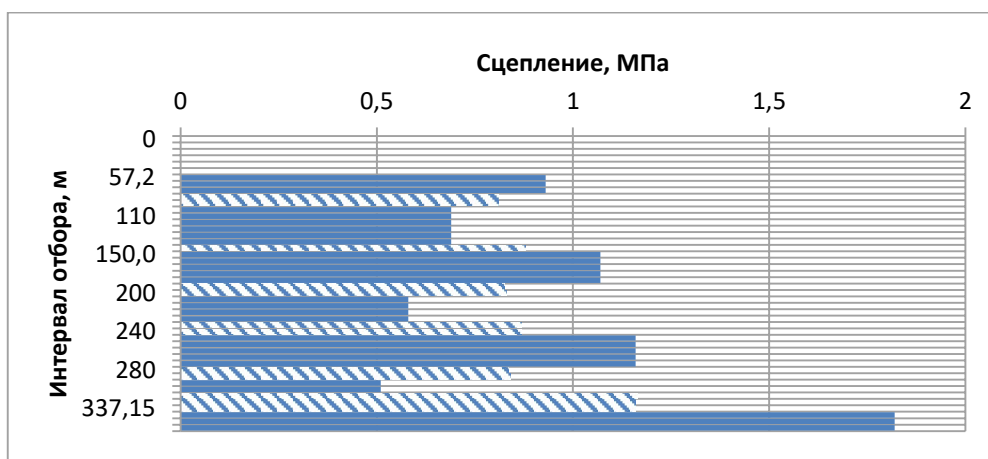


Рис. 5. Диаграмма изменения сцепления от интервала отбора проб для песчаника

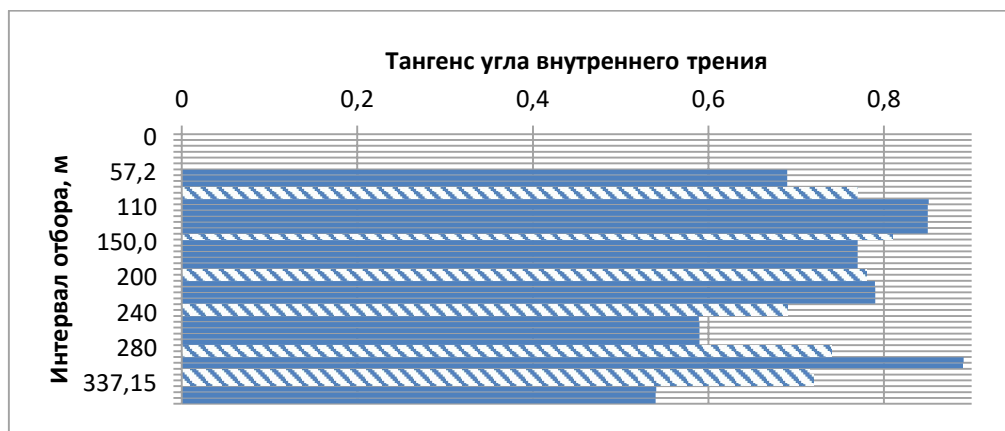


Рис. 6. Диаграмма изменения угла внутреннего трения от интервала отбора проб для песчаника

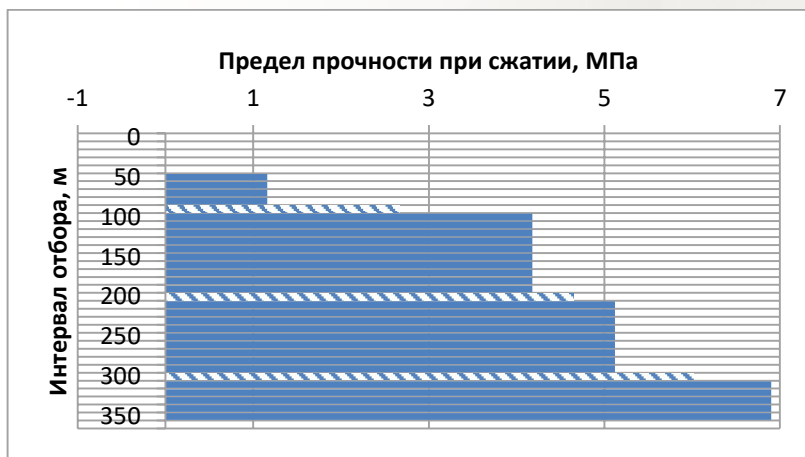


Рис. 7. Диаграмма изменения предела прочности при сжатии от интервала отбора проб для алевролита

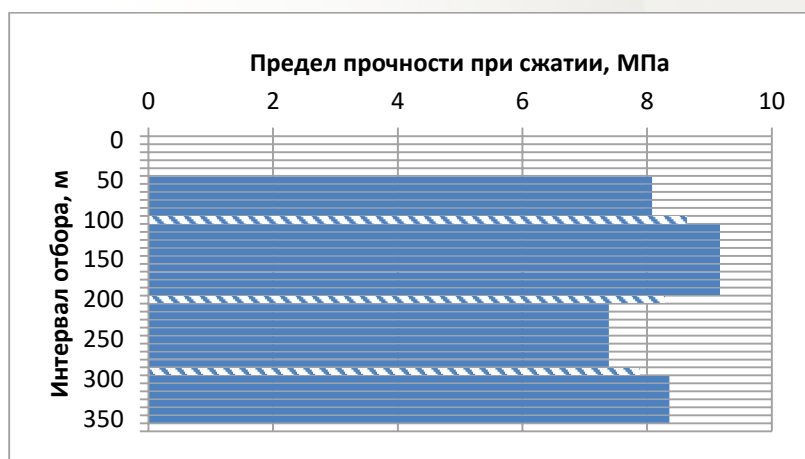


Рис. 8. Диаграмма изменения предела прочности при сжатии от интервала отбора проб для песчаника

В соответствии с методикой и данными о фактических и расчетных значениях основных показателей объемной прочности вмещающих пород (C , φ) были определены их средние значения (применительно к оценке бортов карьера) для каждого литотипа по-

род и отдельно для пород Падунской и Мезенской свит. Выделенные средние значения показателей объемной прочности вмещающих пород по скважине приведены в сводной табл. 3.

Таблица 3

Средние значения показателей объемной прочности вмещающих пород
применительно к оценке устойчивости бортов карьера

Свита пород	Интервал отбора, м	Литологический тип пород	Сцепление С, МПа	Угол внутреннего трения ф, град.
1	2	3	4	5
Падунская свита	57,0–82,6	песчаник	0,84	37,99
	82,7–102,2			
	102,3–142,0			
	142,1–149,9			
	150,0–189,6			
	189,7–201,4			
	201,5–221,8			
	52,3–83,0	алевролит	0,47	36,91
	83,1–100,5			
	100,6–133,8			
	133,9–150,4			
	150,5–196,9			
	197,0–209,4			
	209,5–231,3			
	180,5–229,5	аргиллит	0,30	37,95
Мезенская свита	221,9–241,54	песчаник	1,07	34,24
	241,55–276,6			
	276,7–299,9			
	300,0–317,6			
	317,7–337,15			
	337,16–356,9			
	231,4–260,3	алевролит	1,00	35,98
	260,4–294,8			
	294,9–300,8			
	300,9–330,0			
	330,0–336,9			
	337,0–358,0			
	229,6–237,9	аргиллит	0,65	34,96
	238,0–299,3			
	299,4–303,9			
	304,0–352,0			

По данным детальной разведки месторождения среднее по разрезу удельное содержание пород различного литологического состава:

Падунская свита: песчаник — 75 %, алевролит — 20 %, аргиллит — 5 %;

Мезенская свита: песчаник — 20 %, алевролит — 70 %, аргиллит — 10 %.

К настоящему времени на Западном борту карьера, в соответствии с проектом гидро-

геомеханического мониторинга, пробурены и обработаны две скважины. В данном примере приведена одна скважина. Обработка второй скважины выполняется аналогично. На основании проведенных исследований установлено (табл. 4), что средние значения применительно к оценке устойчивости Западного борта, в соответствии с приведенной расчетной схемой (рис. 9), составляют:

Таблица 4

Средние значения показателей объемной прочности вмещающих пород применительно к оценке устойчивости бортов карьера

Свита пород	Литологический тип пород	Сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , град.
1	3	4	5
Падунская свита	песчаник	0,84	37,99
	алевролит	0,47	36,91
	аргиллит	0,30	37,95
Мезенская свита	песчаник	1,07	34,24
	алевролит	1,00	35,98
	аргиллит	0,65	34,96

Схема к расчету устойчивости Западного борта карьера приведена на рис. 9.

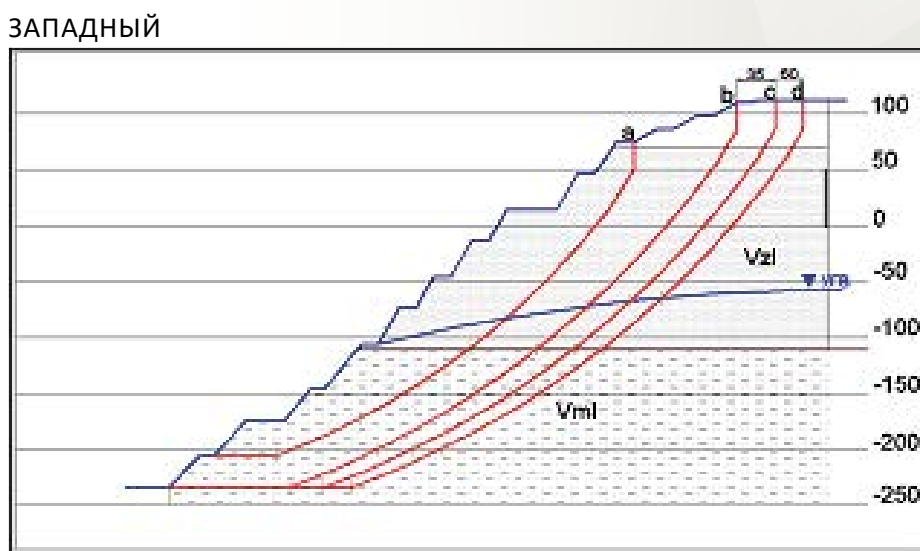


Рис. 9. Схема к расчету устойчивости Западного борта карьера

С учетом среднего процентного значения пород различного литологического состава, вмещающие породы на западном борту карьера характеризуются следующими прочностными характеристиками:

Падунская свита: сцепление $C=0,91$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi=34,99^\circ$;

Мезенская свита: сцепление $C=0,82$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi=33,82^\circ$.

Получаем формирование оптимального профиля бортов, обеспечивающих их устойчивость, с необходимым коэффициентом запаса и минимальным объемом вскрыши.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / ВНИМИ. — СПб., 1998.
2. Обосновать проектные углы откосов уступов и бортов и ширины предохранительных берм карьера с учетом фактически полученных материалов по физико-механическим свойствам пород, полученных при отработке карьера до глубины 100 м: отчет о НИР / Пустовойтова Т.К., Гурин А.Н., Ильинов М.Д., Заворина Е.Н., Назима В.В. / ВНИМИ. — СПб., 2012.
3. Испытания прочностных свойств пород на образцах из керна глубоких инженерно-геологических скважин для оценки устойчивости уступов и бортов карьера: отчет о НИР / Пустовойтова Т.К., Гурин А.Н., Ильинов М.Д., Заворина Е.Н., Назима В.В. / ВНИМИ. — СПб., 2015.

4. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. — М.: Изд-во Стандартов, 1996. — 16 с.

5. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом. — Л.: Недра, 1986. — 113 с.

UDC 622.023

© A.N. Gurin, E.N. Zavorina, 2017

A.N. Gurin

Deputy Laboratory Head

ООО «MNTS Geomekh», St. Petersburg

E.N. Zavorina

Candidate of Technical Sciences,

Laboratory Head

ООО «MNTS Geomekh», St. Petersburg

e-mail: lzavorn@mail.ru

STATISTICAL TREATMENT AND RESULTS ANALYSIS OF RESEARCH RESULTS OF THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF THE ROCKS FROM THE DEEP ENGINEERING GEOLOGICAL BOREHOLES CORE SAMPLE FOR THE BENCHES STABILITY ASSESSMENT

The analysis of research results of the physico-mechanical properties of the rocks on the deposit is held. The statistical treatment results and averaging of the main parameters of the physico-mechanical properties of the enclosing rocks over the rocks structural behavior testing from the deep engineering geological boreholes core sample for the benches stability assessment are presented.

Keywords: OPEN PIT, OPEN PIT SIDE, BENCH, STATISTICAL MANIPULATION, STRENGTH PARAMETERS, BOREHOLE.

REFERENCES

1. Pravila obespecheniya ustoychivosti otkosov na ugolnykh razrezakh (Rules for ensuring of the slope stability in open-pit coal mine) / VNIMI. SPb., 1998.

2. Pustovoytova T.K., Gurin A.N., Iljinov M.D., Zavorina E.N., Nazima V.V. «Obosnovat' proyektnyye ugly otkosov ustupov i bortov i shirinu predokhranitelnykh berm kar'era s uchetom fakticheski poluchennykh materialov po fiziko-mekhanicheskim svoystvam porod poluchennykh pri otrabotke kar'era do glubiny 100 m»: otchet o NIR (To substantiate the design angles of the slopes of benches and sides and the width of the safety berms of the open pit with due consideration of the actually obtained materials on the physico-mechanical properties of the rocks obtained during open pit mining to a depth of 100 m: research report) / VNIMI. SPb., 2012.

3. Pustovoytova T. K., Gurin A.N., Il'inov M.D., Zavorina E.N., Nazima V.V. «Ispytaniya prochnostnykh svoystv porod na obraztsakh iz kerna glubokikh inzhenerno-geologicheskikh skvazhin dlya otsenki ustoychivosti ustupov i bortov kar'era»: otchet o NIR (Testing of rocks structural behaviour on samples from the core samples of deep engineering geological boreholes for the benches and sides stability assessment) / VNIMI. SPb., 2015.

4. GOST 20522-96. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezultatov ispytaniy (Soils. Statistical treatment of the test results). M.: Izd-vo Standartov, 1996. 16 p.

5. Metodicheskoe posobie po izucheniyu inzhenerno-geologicheskikh usloviy ugolnykh mestorozhdeniy, podlezhashchikh razrabotke otkrytym sposobom (Methodological coal deposits, developed). L.: Nedra, 1986. 113 p.