

**П.С. Шпаков, И.Я. Мирный, В.Н. Долгоносов,
О.В. Старостина**

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ НА РАЗРЕЗЕ «БОГАТЫРЬ»

Дан анализ проектных решений и выполнена корректировка устойчивости внутренних отвалов, учитывающая предельную высоту яруса и наличие слабого основания. Приведены результаты расчетов предельной высоты откоса на слабом наклонном основании при переменных углах наклона контакта от 0° до 12° . При углах наклона слабого обводненного основания до 12° высоту устойчивого яруса можно принимать равной 10–12 м, а при сухом основании и складировании в нижний ярус более прочных пород глубоких горизонтов, высота устойчивого яруса может быть увеличена до 25 м. Оценка устойчивости проектного контура внутреннего отвала, показала на их неустойчивое состояние. Были проведены расчеты устойчивости многоярусного отвала на горизонтальном и на наклонном основании при новых обоснованных прочностных характеристиках. Были установлены зависимости предельной высоты отвала от генерального угла откоса для различных углов наклона основания, которые были представлены в виде графиков, позволяющие определять генеральный угол откоса внутреннего отвала для различных высот отвала и углов наклона основания и определять предельную высоту отвала в зависимости от генерального угла откоса для различных значений углов наклона слабого основания.

Ключевые слова: внутренний отвал, коэффициент запаса, контакт «отвал-почва пласта», расчетная схема, предельная высота, генеральный угол откоса.

При разработке пластовых пологозалегающих угольных месторождений открытым способом в Казахстане (разрезы АО «Шубарколь комир», ТОО «Богатырь Комир», ТОО «Каражира Ltd») осуществляется переход на прогрессивную технологическую схему разработки с формированием внутренних отвалов. При этом существенно сокращается себестоимость добываемой продукции за счет сокращения пути транспортирования вскрышных пород и улучшается экологическая ситуация

в районе разрабатываемых месторождений, а технологический процесс отвалообразования фактически совмещается с этапом технической рекультивации. В случае наклонного залегания пласта (разрезы «Шубаркольский», «Богатырь») возникает проблема обеспечения устойчивости внутренних отвалов, которые формируются на наклонном основании – почве отработанного угольного пласта. Так на разрезе «Богатырь» внутренний отвал предполагается расположить на глубине 270 м от земной поверхности. Основанием отвала будут служить углистые породы почвы пласта 3 и прослойки внутренней вскрыши лежачего бока (нижней части стационарного борта в синклинальной части участка 5 на границе с участком 9).

Устойчивость внутреннего отвала будет зависеть главным образом от сопротивления сдвигу по техногенному контакту «борт-отвал», который имеет следующие особенности:

1) Основание отвала представляет собой почву отработанного угольного пласта, представленного углесодержащими породами, мощностью от 3–5 до 15–20 м.

2) Сопротивление сдвигу по контакту существенным образом зависит от влажности. В период увеличения влажности (сезон дождей, таяние снегов) общее сопротивление сдвигу по контакту может снижаться в 2–3 раза. Поэтому при расчетах и проектировании необходимо учитывать сезонную обводненность основания.

3) Высокая прочность наклонных участков борта (основания) может служить негативным фактором, отрицательно влияющим на устойчивость формируемого отвала, так как она не позволяет сформировать структурные связи между основанием и отвальным массивом.

4) При анализе устойчивости проектных контуров следует учитывать, что расчетная прочность контакта не может превышать собственную прочность отвального массива.

5) Прочность углесодержащих пород в результате процессов окисления существенно снижается во времени, что требует проведения дополнительных исследований.

Расчеты устойчивости отвалов на наклонном основании должны производиться с введением коэффициентов запаса, учитывающих сейсмические воздействия от ведения в карьере БВР.

Главной проблемой при формировании внутренних отвалов на разрезе является наличие слабого наклонного основания – почвы угольного пласта, на который производится отсыпка вскрышных пород. Ввиду мульдообразного залегания пласта

наиболее сложными участками являются верхние горизонты в районе выходов пластов под наносы, где резко увеличивается угол падения пласта (до 12–15°). С учетом низких прочностных параметров углистых пород в почве пласта обеспечение устойчивости формируемого внутреннего отвала является весьма сложной задачей.

Выполним расчет устойчивости яруса отвала на наклонном основании. Средние прочностные характеристики пород в отвалах и по контакту угольного пласта 3 были определены Казахским филиалом ВНИМИ [1] и имеют следующие значения:

1) в отвале: объемный вес $\gamma = 1,66 \text{ тн/м}^3$; угол внутреннего трения $\rho = 31^\circ$; сцепление $k = 35,0 \text{ кПа}$ при естественной влажности $W = 14,8\%$.

2) по почве угольного пласта 3: объемный вес $\gamma = 2,09 \text{ тн/м}^3$;

- при естественной влажности $\rho = 18^\circ$; $k = 20,0 \text{ кПа}$;

- при повышенной влажности $\rho = 12^\circ$; $k = 10,0 \text{ кПа}$;

Нормативные прочностные характеристики пород:

- отвала $\gamma = 1,66 \text{ тн/м}^3$; $k = 3,5 \text{ тн/м}^2$; $\rho = 31^\circ$; $\text{tg}\rho = 0,601$;

- основания: $\gamma' = 2,09 \text{ тн/м}^3$; $\rho' = 18^\circ$; $\text{tg}\rho' = 0,325$; $k' = 2,0 \text{ тн/м}^2$ (естественная влажность); $\rho' = 12^\circ$; $\text{tg}\rho' = 0,213$; $k' = 1,0 \text{ тн/м}^2$ (повышенная влажность).

С учетом длительного срока службы отвалов, в соответствии с «Правилами обеспечения устойчивости бортов на угольных разрезах» [2], в нормативные характеристики вводим коэффициент запаса $n_3 = 1,3$.

Тогда расчетные прочностные характеристики пород:

- отвала $\rho_p = 24,8^\circ$; $\text{tg}\rho_p = 0,462$; $k_p = 2,7 \text{ тн/м}^2$;

- основания $\rho'_p = 14,1^\circ$; $\text{tg}\rho'_p = 0,250$; $k' = 1,54 \text{ тн/м}^2$;

- увлажненного основания $\rho'_p = 9,3^\circ$; $\text{tg}\rho'_p = 0,164$; $k' = 0,77 \text{ тн/м}^2$.

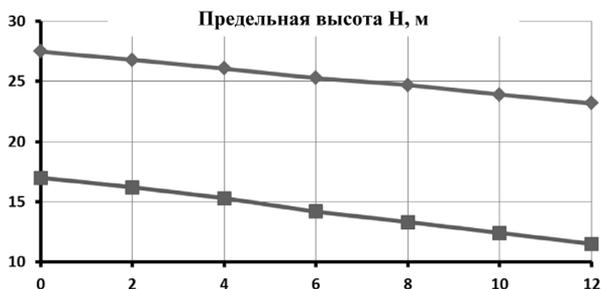


Рис. 1. Зависимость предельной высоты нижнего яруса отвала от угла наклона слабого контакта

Таблица 1

Расчеты предельной высоты яруса

Угол наклона контакта δ , градус	Предельная высота яруса Н, м	
	естественная влажность	повышенная влажность
0	27,5	17,0
2	26,8	16,2
4	26,1	15,3
6	25,3	14,2
8	24,7	13,3
10	23,9	12,4
12	23,2	11,5

По данным исследований, выполненных на месторождениях Казахстана [3], сцепление полускальных пород в теле отвала изменяется в достаточно широких пределах: от 10–12 до 35–40 кПа.

Выполним расчеты предельной высоты откоса на слабом наклонном основании при переменных углах наклона контакта от 0° до 12°, результаты которых, приведены в табл. 1 ([7–10]).

Зависимость предельной высоты устойчивого яруса от угла наклона слабого контакта в интервале от 0° до 12° показана на рис. 1.

Предельная высота откоса при промежуточных значениях влажности может быть определена линейной интерполяцией.

При углах наклона слабого обводненного основания до 12° высоту устойчивого яруса можно принимать равной 10–12 м, а при сухом основании и складировании в нижний ярус более прочных пород глубоких горизонтов, высота устойчивого яруса может быть увеличена до 25 м.

Для вышележащих ярусов, основанием которых будут служить устоявшиеся породы нижнего яруса, высота устойчивого яруса, слагаемого достаточно прочными породами, должна приниматься с учетом технологических соображений равной 15–20 м; в любом случае при складировании в ярус отвала глинистых пород его высота не должна превышать 10 м.

Произведем оценку устойчивости проектного контура внутреннего отвала. Проектом перспективного развития разрезы «Богатырь» [4–6], в соответствии с рекомендациями АО «Сибгипрошахт» приняты следующие параметры внутренних отвалов (табл. 2).

Породы, слагающие стационарный борт по прочности относятся к группе пород средней крепости. Внутренний отвал

Таблица 2

Проектные параметры внутренних отвалов

Количество ярусов	высота яруса/ отвала, м	Ширина площадки, м	Генеральный угол откоса отвала, град
Отвал № 1			
3	75 / 225	60	27,5
Отвал № 2			
4	75 / 300	120	20,1

по характеристикам складироваемых пород может быть отнесен к отвалам пород средней прочности на наклонном основании. Поперечные сечения отвалов (по р.л. № 27, 42 и 82) с профилями борта разреза представлены на рис. 2 и 3.

Выполним оценку устойчивости проектных профилей отвалов. Результаты приведены в табл. 3 ([7–10]).

Результаты, представленные в табл. 3, указывают на неустойчивое состояние проектных контуров внутреннего отвала.

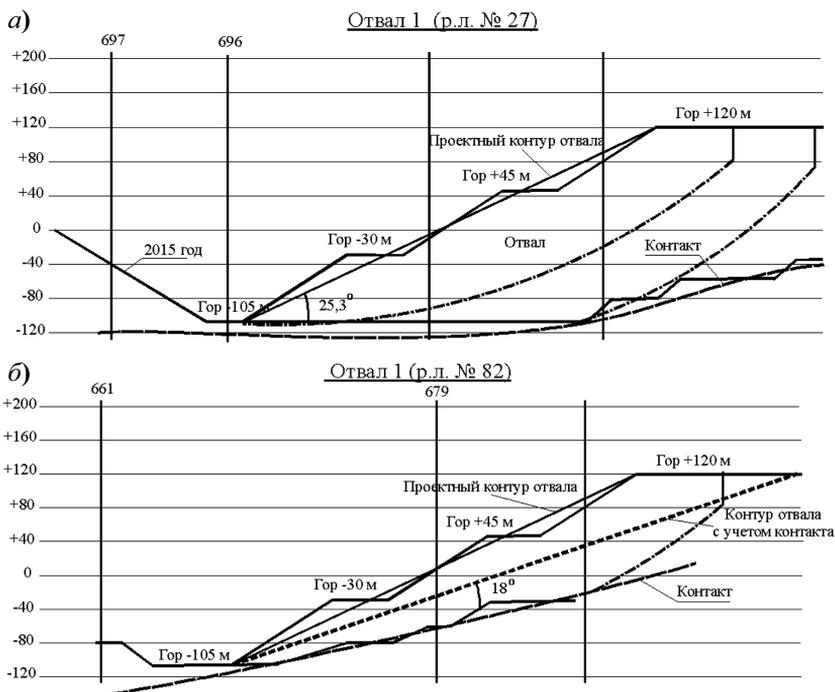


Рис. 2. Проектные профили откосов внутреннего отвала № 1



Рис. 3. Проектный профиль откоса внутреннего отвала № 2

Таблица 3

Проектные параметры внутренних отвалов

Разрез	Высота отвала, м	Генеральный угол откоса, град	Коэффициент запаса
Отвал № 1			
Р. л. 82	225	27,5	0,782
Р. л. 27	225	27,3	0,871
Отвал № 2			
Р. л. 42	300	20,1	0,968

Выполним расчет устойчивости многоярусного отвала на горизонтальном основании ($\delta = 0$) ([7–10]). Предельная высота откоса с углом наклона $\alpha = 35^\circ$ при указанных выше расчетных характеристиках пород отвала составит 27,5 м (табл. 2). С учетом коэффициента запаса ($n_3 = 1,3$) и принятого минимального значения сцепления примем высоту яруса отвала 30 м и выполним расчеты устойчивости многоярусного отвала. Результаты приведены в табл. 4.

В таблице через дробь указаны значения коэффициента запаса ступенчатого и плоского профилей откоса. Как следует из табл. 4, максимальные отклонения не превышают 5%, расчеты в пределах инженерной точности, причем данная погрешность идет в сторону уменьшения коэффициента устойчивости, т.е. «в запас».

Произведем расчет устойчивости многоярусного отвала на наклонном основании. В связи со значительным разрывом во времени между формированием вышележащих и нижележащих

Таблица 4

Результаты расчета устойчивости отвала

Ширина площадки	Коэффициент запаса	Ширина призмы, м	Генеральный угол откоса отвала, град
1 ярус ($\alpha = 35^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 30$ м)			
---	1,000	5,0	35
2 яруса ($\alpha_{\text{ярд}} = 35^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 60$ м)			
10	1,004	4,0	30,4
20	1,135	6,0	28,1
30	1,273	8,0	26,1
3 яруса ($\alpha_{\text{ярд}} = 33^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 90$ м)			
10	0,989	4,0	29,6
20	1,142	6,0	26,7
30	1,299	8,0	24,4
5 ярусов ($\alpha_{\text{ярд}} = 33^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 150$ м)			
20	1,133 / 1,087	6,0	25,7
7 ярусов ($\alpha_{\text{ярд}} = 33^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 210$ м)			
20	1,126 / 1,092	4,0	25,3
10 ярусов ($\alpha_{\text{ярд}} = 33^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 300$ м)			
20	1,121 / 1,095	4,0	25,0

ярусов, учитывая уплотнение пород отвального массива, в расчетах приняты более высокие прочностные характеристики пород отвала: $k = 35$ кПа, $\rho = 20^\circ$. Результаты приведены в табл. 5.

Для каждого значения генерального угла откоса предельная высота отвала уменьшается с увеличением угла наклона слабого основания.

Установленные зависимости предельной высоты отвала от генерального угла откоса для различных углов наклона основания представлены в виде графиков на рис. 4.

С помощью графиков (рис. 4) можно решать следующие задачи:

- 1) определение генерального угла откоса внутреннего отвала для различных высот отвала и углов наклона основания;
- 2) определение предельной высоты отвала в зависимости от генерального угла откоса для различных значений углов наклона слабого основания.

Таблица 5

Параметры предельных откосов внутреннего отвала

Генеральный угол откоса α , град.	Предельная высота отвала (H , м) при угле наклона слабого основания (δ , град)				
	$\delta = 0$	$\delta = 3$	$\delta = 5$	$\delta = 7$	$\delta = 10$
18	> 250	192,6	133,6	103,1	78,1
20	106,0	82,8	71,3	62,5	53,3
22	62,6	54,4	49,6	45,4	40,5
24	45,5	41,3	38,7	36,2	33,0
26	36,5	33,8	32,1	30,5	28,2
28	30,9	29,0	27,7	26,5	24,7
30	26,9	25,5	24,4	23,5	22,1
32	24,1	22,9	22,1	21,3	20,1
34	21,9	21,0	20,3	19,5	18,3

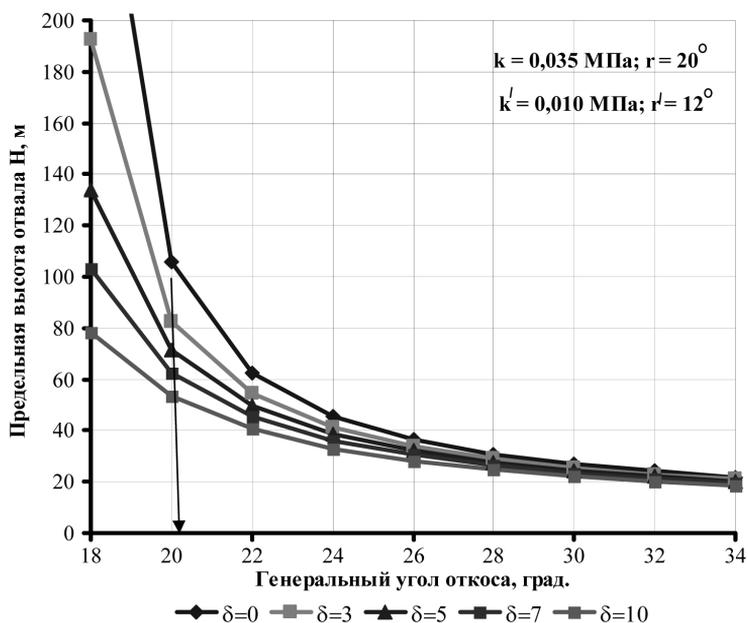


Рис. 4. Графики зависимостей предельных параметров откоса отвала для различных значений угла наклона слабого основания

Графическое решение указанных задач выполняется в следующем порядке. Для определения генерального угла внутреннего отвала на геологическом разрезе (по разведочной линии) определяется проектная высота отвала. От этой точки в сторону восстания пласта для участка длиной около $2H$ определяется средний угол наклона слабого основания δ . К оси H восстается перпендикуляр до пересечения с линией графика, соответствующей углу падения основания. Промежуточные значения графиков для различных значений δ определяются линейной интерполяцией. Проекция полученной точки на ось x дает значение генерального угла откоса отвала.

Выполним оценку устойчивости отвала с учетом слабого основания ([7–10]):

1) отвал 1: при выбранных конструктивных параметрах (7 ярусов, $\alpha_{\text{яр}} = 33^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 210$ м, $b = 20$ м, $\alpha_{\text{ген}} = 25,3^\circ$) $n = 0,791$, следовательно, отвал неустойчив. Предельный угол откоса равен $18,5^\circ$, т.е. генеральный угол откоса не должен превышать 18° (рис. 2, б). Предельная высота первого яруса при $\alpha_{\text{яр}} = 33^\circ$ составляет 15 м;

2) отвал 2: при выбранных конструктивных параметрах (10 ярусов, $\alpha_{\text{яр}} = 33^\circ$, $h_{\text{я}} = 30$ м, $H_{\text{отв}} = 300$ м, $b = 20$ м, $\alpha_{\text{ген}} = 25,0^\circ$) $n = 0,788$ отвал неустойчив. Предельный угол откоса равен $18,2^\circ$, т.е. генеральный угол откоса также не должен превышать 18° (рис. 3).

По результатам выполненных расчетов и анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1) Устойчивость внутреннего отвала будет зависеть главным образом от сопротивления сдвигу по техногенному контакту «борт-отвал», который обладает следующими особенностями:

- основание отвала представляет собой почву отработанного угольного пласта, представленного углесодержащими породами, мощностью от 3–5 до 15–20 м;

- сопротивление сдвигу по данному контакту существенно зависит от влажности. В осенне-весенний период общее сопротивление сдвигу по контакту может снижаться в 2–3 раза. Кроме этого, прочность углесодержащих пород в результате процессов окисления существенно снижается во времени;

- высокая прочность наклонных участков борта (основания отвала) не обеспечивает прочности контакта, а, напротив, может служить негативным фактором, отрицательно влияющим на устойчивость формируемого отвала, так как не позволяет

сформировать структурные связи между основанием и отвальным массивом;

- расчетная прочность техногенного контакта не может превысить собственную прочность отвального массива, поэтому подготовка основания при помощи поперечных канав и траншей неэффективна.

2) Предельная высота яруса отвала на наклонном основании изменяется в широких пределах и зависит от угла наклона основания и прочности контакта «борт-отвал». При обводненном основании высоту устойчивого яруса можно принимать равной 10–15 м, а при сухом основании и складировании в нижний ярус более прочных пород глубоких горизонтов, высота устойчивого яруса может быть увеличена до 25–30 м.

3) Выполнена оценка устойчивости проектного контура внутренних отвалов (по АО «Сибгипрошахт»), которая указала на существенное завышение их параметров, как по отдельным ярусам, так и по отвалу, в целом.

4) На основании выполненных расчетов предельной высоты устойчивого многоярусного отвала для значений генеральных углов откоса от 18° до 34° построены графики зависимости предельной высоты отвала от генерального угла откоса для различных углов наклона основания. Расчеты выполнены для углов наклона основания 0°, 3°, 5°, 7°, 10°. Установлено предельное значение генерального угла откоса при достижении отвалом проектной высоты, которое не должно превышать 18°.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Разработка* практических рекомендации по параметрам устойчивых бортов и внешних отвалов разреза «Богатырь» ПО «Экибастузуголь. Отчет. — Караганда: ВНИМИ, Казахский филиал, 1976.

2. *ВНИМИ*. Правила обеспечения устойчивости на угольных разрезах. — СПб, 1998. — 208 с.

3. *Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г.* Устойчивость породных отвалов. — Алма-Ата: Наука, 1987. — 224 с.

4. Технический проект. Разработка горнотранспортной части по добыче и вскрыше на период до 2025 г. с переходом на автомобильно-конвейерную технологию с усреднением угля на разрезе «Богатырь». — Караганда: ТОО «Карагандагипрошахт и К», 2005.

5. *Долгоносков В.Н., Шпаков П.С., Старостина О.В., Бесимбаев Н.Г.* Расчет параметров внутренних отвалов разреза «БОГАТЫРЬ» // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2014. — Т. 1. — № 2. — С. 172–177.

6. *Долгоносков В.Н., Долгоноскова Е.В.* Оценка устойчивости проектных контуров внутренних отвалов на разрезе «Богатырь» (Карагандинский угольный бассейн) // Маркшейдерия и недропользование. — 2011. — Т. 51. — № 1. — С. 42–48.

7. *Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л.* Управление устойчивостью карьерных откосов. Учебник для студентов вузов. – М., 2008. – 224 с.

8. *Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Руденко В.В.* Исследование и обоснование параметров устойчивых карьерных откосов месторождения «Эльдорадо» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 5. – С. 80–88.

9. *Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Руденко В.В.* Расчет устойчивости карьерных откосов Боголюбовского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 185–190.

10. *Шпаков П.С., Шпакова М.В., Долгоносов В.Н., Старостина О.В.* Сравнительный анализ способов расчета предельных параметров откоса на слабом наклонном основании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 4. – С. 302–306. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шпаков Петр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: SPSP01@rambler.ru, e-mail: SPSP01@mail.ru, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,

Мирный Иван Яковлевич – кандидат технических наук, директор ТОО «Карагандагипрошахт и К», академик АГН РФ, e-mail: kargipro@mail.ru.

*Долгоносов Виктор Николаевич*¹ – доктор технических наук, профессор, e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru,

*Старостина Ольга Васильевна*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru,

¹ Карагандинский государственный технический университет.

UDC 622.1:
622.271

P.S. Shpakov, I.Ya. Mirnyy, V.N. Dolgonosov, O.V. Starostina **EVALUATION STABILITY PARAMETER INTERNAL** **DUMPS ON TIME- REZA «HERCULES»**

The article analyzes the design decisions and make the adjustment of internal stability of dumps, taking into account the limit height tiers and availability slabovogo base.

It is noted that the main problem of the formation of internal piles on the section is the presence of a weak oblique base – soil of the coal seam, which is produced dumping of overburden. Given the low strength pas parameters carbonaceous rocks in soil formation sustainability generated internal dump is very challenging.

The calculation results height limit slope inclined at low basis at variable angles of inclination of contact from 0° to 12°. At angles of inclination of the weak watered the ground up to a height of 12° sustainable tiers can be taken to be 10–12 m, and at a dry basis, and storage in the lower tier is stronger – breeds deep horizons, sustainable storey height may be increased to 25 m.

Evaluation of sustainability of the project outline internal dump, show on their non-steady state. Therefore, calculations were performed stability multistoried th blade on hori-

zontal and inclined base with new sound strength characteristics. Were established according to the limiting height of blade from the general slope angle for different angles of inclination of the base, which were presented in the form of graphs, allowing to determine the general angle of repose for various heights and angles of inclination of the blade base and defined – mine the limit height blade, depending on the general angle of repose for the time – value of personal inclination angles of a weak base.

Key words: internal dump, the safety factor, the contact «blade -soil reservoir «design scheme, the maximum height, the general slope angle.

AUTHORS

Shpakov P.S., Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: SPSP01@rambler.ru, e-mail: SPSP01@mail.ru,
Murom Institute (branch), Vladimir State University named after Stoletovs,
602264, Murom, Russia,

Mirnyy I.Ya., Candidate of Technical Sciences,
Academician of the Russian Federation AGN, e-mail: kargipro@mail.ru,
Director of «Karagandagiproshakt and K», Karaganda, Kazakhstan,

*Dolgonosov V.N.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: vdolgono-sov@hotmail.ru,

*Starostina O.V.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru,

¹ Karaganda State Technical University, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

REFERENCES

1. *Razrabotka prakticheskikh rekomendatsii po parametram ustoychivyykh bortov i vneshnikh otvalov razreza «Bogatyr» PO «Ekibastuzugol»*. Otchet (Development of practical recommendations on the stability parameter boring and external dumps cut «Hercules» Ekibastuzugol. Report), Karaganda, VNIMI, Kazakhskiy filial, 1976.

2. *VNIMI. Pravila obespecheniya ustoychivosti na ugol'nykh razrezakh* (VNIMI. Terms of sustainability in coal pits). Saint-Petersburg, VNIMI, 1998, 208 p.

3. Popov I.I., Shpakov P.S., Poklad G.G. *Ustoychivost' porodnykh otvalov* (Stability of waste dumps), Alma-Ata, Nauka, 1987, 224 p.

4. *Tekhnicheskii projekt. Razrabotka gornotransportnoy chasti po dobyche i vskryshe na period do 2025 g. s perekhodom na avtomobil'no-konveyernuyu tekhnologiyu s usredneniem uglya na razreze «Bogatyr»* (Technical project. The development of mining and transportation of the extraction and stripping for the period up to 2025 with the transition to auto-conveyor technology with the averaged – neniem coal from the «Hercules»), Karaganda, TOO «Karagandagiproshakt i K», 2005.

5. Dolgonosov V.N., Shpakov P.S., Starostina O.V., Besimbaev N.G. *Interespo Geo-Sibir'*. 2014, vol. 1, no 2, pp. 172–177.

6. Dolgonosov V.N., Dolgonosova E.V. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2011, vol. 51, no 1, pp. 42–48.

7. Popov V.N., Shpakov P.S., Yunakov Yu.L. *Upravlenie ustoychivost'yu kar'ernykh otkosov*. Uchebnik dlya studentov vuzov (Управление устойчивостью карьерных откосов. Textbook for high schools), Moscow, 2008, 224 p.

8. Shpakov P.S., Yunakov Yu.L., Rudenko V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 5, pp. 80–88.

9. Shpakov P.S., Yunakov Yu.L., Rudenko V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 4, pp. 185–190.

10. Shpakov P.S., Shpakova M.V., Dolgonosov V.N., Starostina O.V. *Gornyy informat-sionno-analiticheskii byulleten'*. 2010, no 4, pp. 302–306.