

УДК 622.221

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ
БОРТОВ НАГОРНЫХ КАРЬЕРОВ

*Усенов К.Ж. – д.т.н., проф., ректор ЖАГУ им.
Б.Осмонова,
Алибаев А.П. – д.т.н., проф., проректор по
учебной части ЖАГУ им. Б.Осмонова,
Иманкулов М.А. - аспирант,
Куваков С.Ж. – к.т.н. и.о. доц., проректор
научной работе и инновациям ЖАГУ им.
Б.Осмонова*

***Аннотация.** Рассмотрены методы оценки запаса устойчивости бортов карьера. Проведен сравнительный анализ методов Шахунянца и Ямбу- Бишоп на основе одной задачи с соответствующими вводными параметрами.*

***Ключевые слова:** устойчивость, нагорный карьер, метод Ямбу-Бишоп и Шахунянца.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR CALCULATION OF THE
STABILITY OF BOARDS OF UPGRADE QUARRY

*Usenov K.Zh. – doctor of technical science,
professor, rector of JASU named after
B.Osmonov,
Alibaev A.P. – doctor of technical science,
professor, vice-rector for academic affairs of
JASU named after B.Osmonov,
Imankulov M.A. - researcher,
Kuvakov S.Zh. – candidate of technical science,
vice-rector vice-rector for research and innovation
of JASU named after B.Osmonov*

***Annotation.** Methods for estimating the stability margin of open pit walls are considered. A comparative analysis of the Shakhunyants and Yambu-Bishop methods was carried out on the basis of one problem with the corresponding input parameters.*

***Key words:** sustainability, upland quarry, Yambu-Bishop and Shakhunyants method.*

ТОО КАРЬЕРИНИН БОРТТОРУНУН ТУРУКТУУЛУГУН ЭСЕПТӨӨДӨ МЕТОДДОРДУ
САЛЫШТЫРУУ ТАЛДООСУ

*Усенов К.Ж. – т.и.д., проф., Б.Осмонов
атындагы ЖАМУнун ректору,
Алибаев А.П. – т.и.д., проф., Б.Осмонов
атындагы ЖАМУнун окуу итери боюнча
проректору,
Иманкулов М.А. - аспирант,
Куваков С.Ж. – т.и.к., Б.Осмонов
атындагы ЖАМУнун илимий иштери
жана инновациялар боюнча проректору*

***Аннотация.** Карьердин бортторунун туруктуулук чегин баалоо ыкмалары каралган. Тиешелүү киргизүү параметрлери менен бир маселенин негизинде Шахунянци жана Ямбу-Бишоп методдорунун салыштырма анализи жүргүзүлгөн.*

Негизги сөздөр: туруктуулук, тоодогу карьер, Ямбу-Бишоп жана Шахунянц методдору.

Задачи, определяемые устойчивостью бортов нагорных карьеров, является одним из основных проблем, как при предотвращении геотехнических катастроф, так и проектировки рудных месторождений. Устойчивость бортов карьеров зависит не только от техногенных параметров карьера, но и геомеханической устойчивости склона. Поэтому, при разработке полезных ископаемых открытым способом на первый план поставлена проблема оценки и прогноза геомеханических условий на нагорных карьерах.

Для оценки запаса устойчивости бортов карьеров и откосов существует ряд методов: метод круглоцилиндрической поверхности скольжения или Ямбу-Бишоп/1, 4/, метод Ю.И. Соловьева/3/, метод Р.Р. Чугаева или методом плоских поверхностей сдвига/2/, Метод F_p (приближенный метод горизонтальных сил Н.Н. Маслова), метод касательных сил (метод Г.М. Шахунянца, метод алгебраического суммирования, метод плоских поверхностей сдвига, метод алгебраического сложения сил), аналитический метод Г.М. Шахунянца, метод блока и призм Б.К. Хоу, метод давление от призмы обрушения по Кулону E_a/E_n и т.д.

При изучении этих методов можно выявить, что каждый из перечисленных методов с вводимыми разными параметрами практичны для разного условия бортов нагорных карьеров месторождения открытым способом. Проведем анализ результатов двух инженерных методов, основанные на равновесии сил [10] – метод круглоцилиндрической поверхности скольжения и метод Г.М. Шахунянца по оценке устойчивости бортов нагорных карьеров открытым способом на примере тестовых задач. А для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1 - ознакомиться с сравниваемыми инженерными методами, которые по классификации имеют общую принципиальную схему/10/; 2- решить задачу двумя выбранными методами; 3- провести сравнительный анализ полученных данных.

Параметры борта карьера: $H = 11\text{м}$ - высота борта карьера, сложенная суглинками, $\gamma = 20\text{кН/м}^3$ –плотность горной породы, $\varphi = 22^\circ$ –угол внутреннего трения, $C = 55\text{кПа}$ – сцепления и угол борта карьера – $\beta = 42^\circ$. Требуется определить коэффициент запаса устойчивости откоса.

Произведем расчет по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения. При использовании данного метода необходимо использовать график Ямбу/6/, что позволяет найти центр вращения.

Для определения коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров, призма обрушения разбивается на ряд блоков на основании следующих правил:

- поверхность скольжения в пределах одного блока должна находиться в грунте одного типа и состояния;
- вертикальные границы между смежными блоками должны проходить через точки перелома очертания откосной линии (если поверхность откоса имеет сложное очертание);
- целесообразно при разбивке призмы обрушения на расчетные блоки ширину блоков принимать одинаковой.

Определяется нижеперечисленные параметры для дальнейшего расчета: А) Вес каждого блока определяется: $P_i = \gamma S_i b$, где P –вес блока, S –площадь поперечного сечения, $b=1\text{м}$ –толщина i -го блока; Б) Составляющие веса: $N_i = P_i \cos \alpha_i$ и $Q_i = P_i \sin \alpha_i$ где N –нормальная составляющая веса блока, Q –касательная составляющая, P – вес блока, α - угол между направлением нормали к поверхности скольжения i -го блока и линией действия силы тяжести (веса) i -го блока)

В) Сила сопротивления сдвигу, которая состоит из двух частей, обусловленная внутренним трением

$$T_{1i} = N_i \operatorname{tg} \varphi = P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi$$

и сцеплением

$$T_{2i} = C_i L_i b,$$

где L – длина дуги (сегмента) поверхности скольжения в пределах расчетного блока.

Для более достоверного нахождения длин дуги воспользовался не по хорде i -го блока, а формулой, что и позволяет снизить погрешность:

$$L_i = \frac{\pi \cdot R \cdot \psi_i}{180} \quad (3)$$

где ψ – угол сектора, R – радиус окружности.

Коэффициент запаса устойчивости определяется отношением суммы удерживающих сил на сумму сдвигающих сил [5], т.е.:

$$K_{\text{зап}} = \frac{\sum F_{\text{уд}}}{\sum F_{\text{сд}}} = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + \sum C_i L_i b}{\sum P_i \sin \alpha_i} \quad (4)$$

Исходя из геометрических данных, составим профиль откоса с помощью инженерной программы AutoCAD 2010 [7] и имеем следующее (рис.1.):

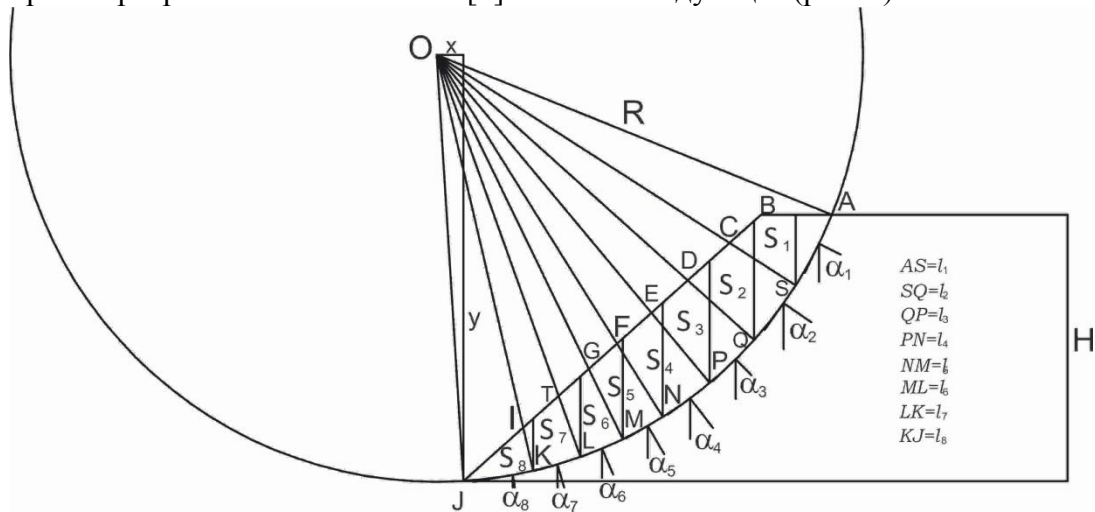


Рис.1 – Расчетная схема оценки запаса устойчивости борта карьера методом Ямбу-Бишопа.

Расчетные данные по оценке коэффициента запаса устойчивости показаны в табл.1.

Таблица 1. - Расчет устойчивости по методу Ямбу-Бишопа

№ блоков	ψ_i , (в градусах)	L_i , (в метрах)	α_i , (в градусах)	S_i , (м ²)	P_i , (кН)	N_i , (кН)	Q_i , (кН)	$F_{\text{уд}i}$, (кН)	$F_{\text{сдв}i}$, (кН)
1	11	3,38	63	7,18	143,6	65,19	127,95	212,18	127,95
2	9	2,76	56	8,98	179,6	100,43	148,9	192,63	148,9
3	8	2,46	44	8,55	171	123,01	118,79	184,86	118,79
4	8	2,46	38	7,94	158,8	125,14	97,77	182,85	92,23
5	6	1,84	30	5,82	116,4	100,81	58,2	142,1	58,2
6	6	1,84	23	5,16	103,2	95	40,32	139,75	40,32
7	7	2,15	16	3,34	66,8	64,21	18,41	144,21	18,41
8	10	3,07	10	2,79	55,8	54,95	9,69	191,15	9,69

$$K = \frac{\sum_{i=1}^8 F_{\text{уд}i}}{\sum_{i=1}^8 F_{\text{сдв}i}} \Rightarrow K = 2,26 \approx 2$$

Теперь для сравнения решим эту же задачу методом Г.М. Шахунянца. Для этого воспользуемся формулой (5) и чертим как минимум три поверхности скольжения (рис. 2), после чего произведем расчет по этим поверхностям скольжения.

Примечание: по методу Шахунянца, L_i – не является дугой i -ого блока, а прямой плоской поверхности скольжения см. рис.2.

$$K_{\text{зап}} = \frac{\sum F_{\text{уд}}}{\sum F_{\text{сд}}} = \frac{\sum (P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + C_i L_i b) \frac{\cos \varphi}{\cos (\alpha_i - \varphi)}}{\sum P_i \sin \alpha_i \frac{\cos \varphi}{\cos (\alpha_i - \varphi)}} \quad (5)$$

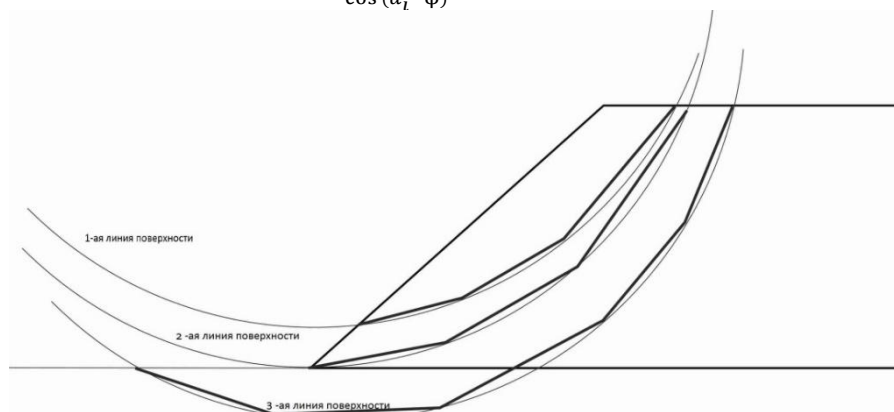


Рисунок 2 – Расчетная схема по оценке запаса устойчивости методом Шахунянца

Расчетные данные по трем линиям плоской поверхности скольжения показаны в таблицах 2, 3 и 4 соответственно.

Таблица 2 – Расчет устойчивости по 1-й линии поверхности скольжения

Кол-во блоков	L_i , (в метрах)	α_i , (в градусах)	S_i , (м^2)	P_i , (кН)	N_i , (кН)	Q_i , (кН)	$F_{\text{уд}i}$, (кН)	$F_{\text{сд}vi}$, (кН)
1	3,38	58	5,65	113	59,88	95,83	210,04	95,83
2	3,07	47	6,49	129,8	88,52	94,93	204,71	94,93
3	3,07	39	6,15	123	95,59	77,41	207,57	77,41
4	2,76	29	4,18	83,6	73,12	40,53	181,59	40,53
5	2,46	20	1,58	31,6	29,69	10,81	147,16	10,81
Коэффициент запаса устойчивости							2,98 \approx 3	

Таблица 3 – Расчет устойчивости по 2-й линии поверхности скольжения

Кол-во блоков	L_i , (в метрах)	α_i , (в градусах)	S_i , (м^2)	P_i , (кН)	N_i , (кН)	Q_i , (кН)	$F_{\text{уд}i}$, (кН)	$F_{\text{сд}vi}$, (кН)
1	3,38	63	7,18	143,6	65,19	127,95	260,67	157,19
2	2,76	56	8,98	179,6	100,43	148,9	215,43	166,52
3	2,46	44	8,55	171	123,01	118,79	184,86	118,79
4	2,46	38	7,94	158,8	125,14	97,77	176,37	88,96
5	1,84	30	5,82	116,4	100,81	58,2	133,04	54,49
6	1,84	23	5,16	103,2	95	40,32	129,59	37,39
7	2,15	16	3,34	66,8	64,21	18,41	134,44	17,17
8	3,07	10	2,79	55,8	54,95	9,69	181,19	9,18
Коэффициент запаса устойчивости							2,18 \approx 2	

Таблица 4 – Расчет устойчивости по 3-й линии поверхности скольжения

Кол-во блоков	L_i , (в метрах)	α_i , (в градусах)	S_i , (м^2)	P_i , (кН)	N_i , (кН)	Q_i , (кН)	$F_{\text{уд}i}$, (кН)	$F_{\text{сд}vi}$, (кН)
1	2,46	70	6,30	126	43,09	118,4	236,95	164,06
2	2,46	62	12,28	245,6	115,3	216,85	242,28	262,47
3	2,76	53	13,07	261,4	157,31	208,76	255,65	225,82
4	3,07	43	15,84	316,8	231,69	216,06	283,64	214,58
5	3,07	34	14,49	289,8	240,26	162,05	274	153,61
6	2,46	25	11,20	224	203,01	94,67	218,76	87,89

7	3,07	15	11,87	237,4	229,31	61,44	265,89	57,4
8	3,38	5	7,51	150,2	149,63	13,09	263,37	12,69
9	3,38	7	2,84	56,8	56,38	6,92	224,58	6,64
10	2,46	17	0,86	17,2	16,45	5,03	149,13	4,68
Коэффициент запаса устойчивости							2,03 \approx 2	

Как видно из вычисленных коэффициентов запасов устойчивости по методу Шахунянца, минимальное значение принимает $K = 2,03 \approx 2$, а по круглоцилиндрической поверхности скольжения (Бишопа-Ямбу) – $K = 2,26 \approx 2$. Анализируя, полученный результат мы можем делать вывод о том, что данный уступ устойчив.

При достижении поставленной задачи выявлено дополнительный важный фактор в решения инженерных задачах – фактор погрешности: 1-если сравнить измерительную часть основания рассматриваемого блока, то погрешность длины прямой и кривой линией варьируется в интервале 0.1–0.3; 2-если в литературах площадь i -ого блока вычисляют путем нахождения площади трапеции или же треугольника, то в данном случае погрешность колеблется в интервале 0.2–0.4;

Для достижения наименьшей погрешности при решении поставленной задачи углы секторов, длины дуги, углы между вектором веса блока и нормальной составляющей, площади блоков, применил передовую инженерную программу AutoCAD 2010. Что касается остальных параметров, то они были рассчитаны путем составления алгоритма и автоматического вывода данных в программном пакете Mathcad 14.

Исходя из проведенных расчетов, можно сделать вывод о том, что при изучении двух методов выявлено, что метод Бишопа-Ямбу не учитывает реакции между блоками и исходит из того, что призма возможного обрушения смещается как единое целое, хотя не соответствует практике. А метод Шахунянца учитывает контакты. Как показала практика, что результаты двух методов достаточно приблизились. Но, если показатели коэффициента запаса устойчивости бортов нагорных карьеров по выше названным методам варьируются в интервале 1 – 1,5, то каждая 0,1-ая часть играет большую роль.

Литературы:

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. (Оползни и борьба с ними). - М.: Стройиздат, 1977
2. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения (теоретические основы расчета). - Л.: Энергия, 1967.
3. Гольдштейн М.Н. Вариационный метод решения задач об устойчивости грунтов. //Вопросы геотехники: Тр./ДИИТ. -Киев,1969, № 16.
4. Гинзбург Л.К. Методы определения оползневого давления. –Промышленное строительство и инженерные сооружения,1980, № 3
5. Г.Л. Фисенко Устойчивость бортов карьеров и отвалов, Изд. «Недра», Москва 1965г.
6. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок. Минтрансстрой СССР, Гос. всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт Москва 1966.
7. Фоменко И.К. Общая классификационная схема методов расчета устойчивости склонов.
8. Scientific researches their practical application. Modern state and ways of development 2012.