ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТРБАНКЕТА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕВОГО МАССИВА НА КАРАХТАЙ-1

Исаев Е.А
ООО “OHANGARONSEMENT”, Адрес: 110300, Город Ахангаран, Ташкентскаяобласть, Республика Узбекистан
Tel: +998 90 016 86 58
Каримов Ш. В.
Филиал Национального исследовательского технологического университета "МИСИС" Адрес: 110100, Республика Узбекистан, Ташкентская область, город Алмалык, улица Амира Темура, дом 56
Туйчибоев Э. И.
Филиал Национального исследовательского технологического университета "МИСИС" Адрес: 110100, Республика Узбекистан, Ташкентская область, город Алмалык, улица Амира Темура, дом 56
E-mail: tei050599@gmail.com
Tel: +998935823263

Annotation. This article examines the technology of constructing a counter-berm to stabilize the landslide mass at the Karakhtay-1 deposit. It is shown that the existing marl counter-berm reduces deformation rates but does not ensure a normative stability coefficient. A modified Shakhunyants method, incorporating volumetric block characteristics, was used to calculate the resisting and driving forces. An inverse calculation method was applied to determine the required additional load. The results indicate that achieving a stability coefficient of 1.3–1.5 requires placing an additional 15–20 thousand m³ of material. The findings are applicable to the design of slope-stabilization measures in complex open-pit mines.

Keywords: counter-berm; slope stability; Shakhunyants method; landslide mass; stability coefficient; Karakhtay-1; geomechanics; slope stabilization measures.

Аннотация. В статье рассмотрена технология формирования контрбанкета для стабилизации оползневого массива месторождения Карахтай-1. Показано, что существующий контрбанкет из мергеля снижает скорость деформаций, однако не обеспечивает нормативный коэффициент устойчивости. На основе модифицированной методики Шахунянца, учитывающей объёмные характеристики блоков массива, выполнен детальный расчёт удерживающих и сдвигающих сил. Использован обратный метод определения требуемой дополнительной нагрузки. Установлено, что для достижения коэффициента устойчивости 1,3–1,5 необходима дополнительная отсыпка 15–20 тыс. м³ контрбанкетного материала.

ISSN 3030-3907

Результаты применимы для проектирования противооползневых мероприятий на сложных карьерах.

Ключевые слова: контрбанкет; устойчивость склонов; метод Шахунянца; оползневой массив; коэффициент устойчивости; Карахтай-1; геомеханика; противооползневые мероприятия.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение устойчивости деформирующихся склонов является ключевым условием безопасного и эффективного ведения горных работ. На горнотехнических объектах, где проявляются оползневые процессы, несвоевременная стабилизация массива приводит к невозможности отрабатывать нижележащие запасы полезного ископаемого, что приводит к потерям и росту геотехнических рисков [9]. Анализ мирового и отечественного опыта показывает, что устойчивость склонов зависит от взаимодействия структурных элементов массива, геологических условий и инженерных воздействий [4], [5].

На месторождении Карахтай-1 сформировался крупный оползневой массив, движение которого началось по контакту трещиноватых известняков и подстилающих песчаных пород. Анализ геомеханического состояния показал, что оползневое тело имеет комбинированную поверхность скольжения: верхний активный участок с углом наклона около 39° и нижний пологий участок порядка 6°. Несмотря на то что нижние зоны сами по себе могли бы находиться в устойчивом состоянии, передача нагрузки от подвижного верхнего блока приводит к общей потере устойчивости и развитию смещений во всём массиве.

Подобные механизмы соответствуют классическим геодинамическим моделям развития оползней, описанным в работах Тер-Степаняна [12] и Хатчинсона [11].

Для предотвращения дальнейшего сдвижения в нижней части борта на Карахтай-1 был сформирован контрбанкет в виде отвала мергеля. Его масса дала положительный эффект: активное смещение было остановлено, а скорость деформаций значительно снизилась. Однако результаты последующих расчётов устойчивости показали, что текущего объёма контрбанкета недостаточно для достижения нормативного коэффициента устойчивости 1,3. Массив остаётся в предельном состоянии, а при учёте производственных нагрузок (вибрации, БВР, осадки, транспортная нагрузка) его устойчивость может снижаться до критических значений.

МЕТОДЫ

ISSN 3030-3907

Для выполнения количественной оценки устойчивости и определения необходимого объёма контрбанкета была применена методика Шахунянца, адаптированная к условиям сложнопостроенных оползневых массивов [1], [2]. Ранее применявшийся метод кругло-цилиндрических поверхностей дал завышенные значения коэффициента устойчивости (2,3–2,4), что не соответствовало фактическим наблюдениям. Поэтому окончательный расчёт выполнялся по методу прислонённых отсеков, который учитывает реальные контуры поверхности скольжения и неоднородность пород. Математические основы методов разделения массива на элементы и анализа предельного состояния склонов изложены в работах Фоменко и соавт. [3], а также в международных руководствах по инженерной геомеханике [4], [6].

Однако классическая методика Шахунянца учитывает веса отсеков как плоские нагрузки и не включает влияние объёмной силы и трёхмерного давления, которое каждый блок оказывает на поверхность скольжения. Такой подход допустим для простых склонов, но недостаточен для массивов сложной структуры, что отмечено в современных геомеханических руководствах [5], [8]. В условиях месторождения Карахтай-1 такой подход приводит к потере части информации о влиянии реального объёма перемещающегося блока на напряжённо-деформированное состояние массива.

В исходной 3D-модели (рис 1) борт был разделён на **пять отсеков**, каждый из которых обладает:

- собственным объёмом,
- индивидуальной высотой и площадью основания,
- уникальным углом наклона поверхности скольжения,
- отличающейся механической ролью в развитии оползневого процесса.

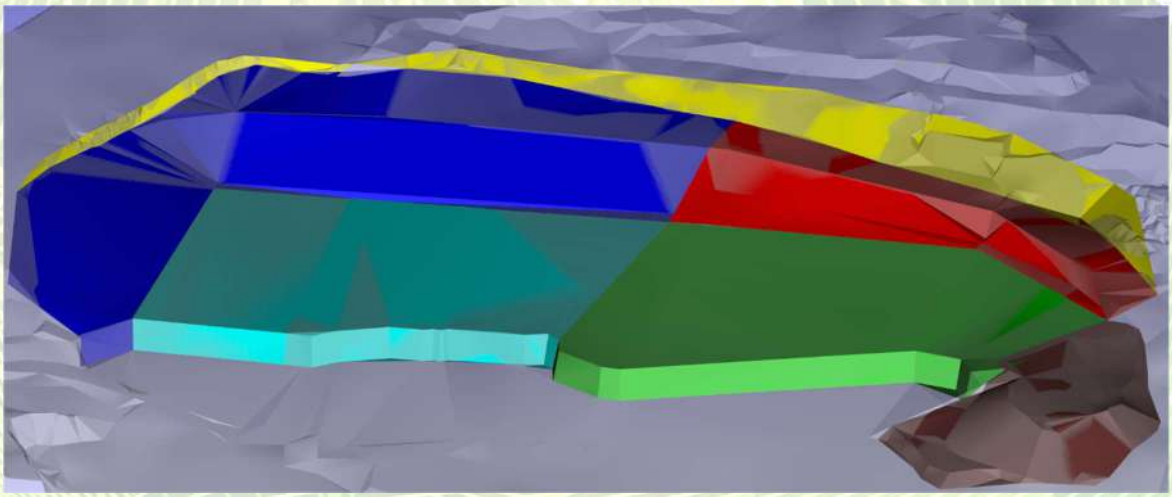


Рис. 1. Исходная 3D модель борта, разделенная на блоки

ISSN 3030-3907

Особенно существенным фактором является то, что первый, второй и четвёртый блоки располагаются под углом 39°, то есть имеют значительно большую проекцию веса на касательное направление. Это формирует повышенную сдвигающую нагрузку и инициирует развитие деформаций в верхней части борта. Напротив, третий и пятый блоки, залегающие под меньшими углами, обладают меньшим касательным весовым воздействием и играют в оползневом механизме вторичную роль — они принимают передаваемую нагрузку, но сами по себе не формируют условия для инициации смещения (рис 2).

Такое распределение нагрузок показало, что стандартная схема вертикальных отсеков не полностью отражает реальную пространственную механику массива. Это потребовало модификации метода Шахунянца путём введения объёмных характеристик блоков в расчёт нормальной и касательной составляющих нагрузки, что соответствует современным 3D-подходам к моделированию устойчивости склонов [7], [10]. Это позволило оценить реальное объёмное давление, которое каждый отсек оказывает на поверхность скольжения и нижележащие блоки.

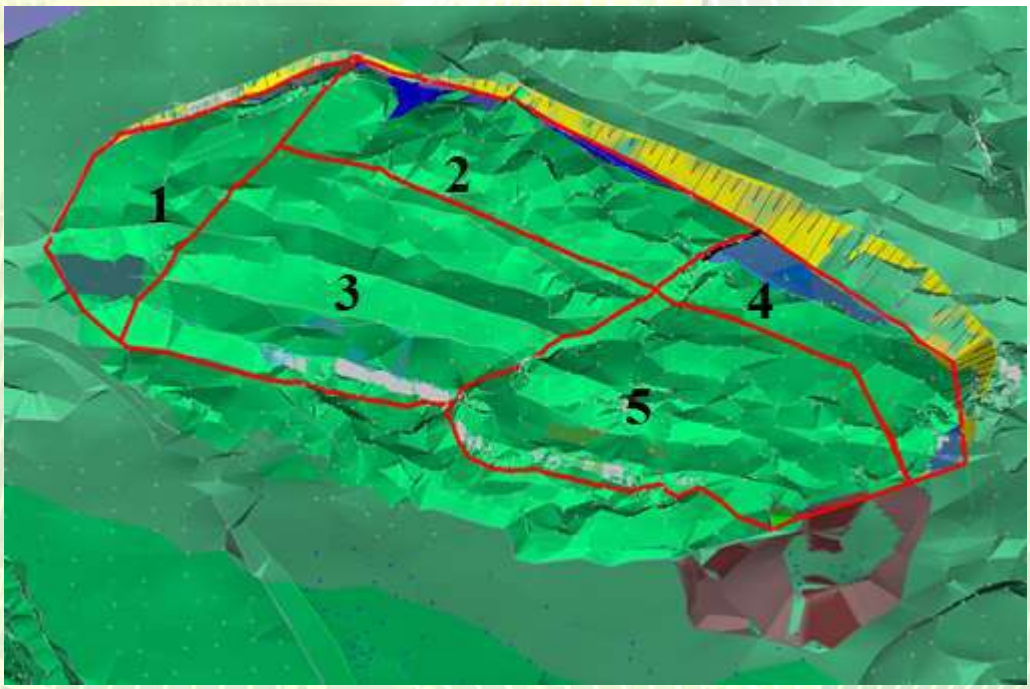


Рис. 2. Вид сверху: распределение массива на блок 1-5

Для каждого блока определялись:

вес блока

$$P = V_i \cdot \gamma$$

нормальная составляющая веса

$$N = P \cdot \cos\theta$$

касательная составляющая

ISSN 3030-3907

$$T = P \cdot \sin\theta.$$

коэффициент устойчивости массива

$$n = \frac{\mathrm{tg}(\varphi_{cp}) \cdot \sum N + B_1 + B_2}{\sum T}$$

B_1 и B_2 — дополнительное давление, создаваемое массой контрбанкета.

В момент проведения буровзрывных работ сейсмическое воздействие проявляется в виде временного роста сдвигающих усилий, что эквивалентно увеличению знаменателя выражения. Чтобы компенсировать этот эффект, необходимо повышение удерживающих сил в числителе, достигаемое за счёт дополнительной нагрузки.

В данном случае, поскольку борт карьера уже находится в устойчивом состоянии, необходимо определить дополнительный объём отвала, который обеспечит дальнейшее повышение коэффициента устойчивости массива до уровня, безопасного для проведения буровзрывных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчёты выполнялись с использованием данных физико-механических свойств массивов известняков, алевролитов и песков (таблицы 1, 2), а также 3D-геометрической модели участка, построенной в программных комплексах MineFrame (рис 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства алевролита, известняка и кварцевого песка

Название породы	C (т/м^2)	ɣ (т/м^3)	φ (град)	h(м)	a
Алевролит	173	1,8	31	14,6	39
Известняк	1500	2,37	39	15	
Кварцевые пески	713	2,5	35	8	

Таблица 2

Технико-геометрические характеристики массива

№		Угол падения, град	Азимут, град	Площадь, м^2	Объем известняка, м^3	Объем вскрыши, м^3	Масса известняка, т.	Масса вскрыши, т.
1	Блок№ 1	39	с-з 310	12 450	69 970	68 440	165 829	123 192
2	Блок№ 2	39	с-в 37	19 430	226 500	186 530	536 805	335 754

ISSN 3030-3907

3	Блок№ 3	6	с-в 37	28 630	424 530	271 490	1 006 136	488 682
4	Блок№ 4	39	с-в 37	12 050	135 300	47 270	320 661	85 086
5	Блок№ 5	6	с-в 37	26 360	386 550	168 340	916 124	303 012
6	Отвал мергеля	6	с-в 37		-	76 000	-	136 800

Расчёты показали следующие значения коэффициента устойчивости:

Таблица 3

Результаты расчёта коэффициента запаса устойчивости участков

Участки	n (без учета контрбанкта)	n (с учетом контрбанкта)
Блок 1-3	1,092	1,26
Блок 4-5	1,07	1,81
Весь борт	0,967	1,115

Результаты расчётов по модифицированному методу Шахунянца показали, что коэффициент устойчивости массива в его фактическом состоянии составляет n = 1,115, что соответствует предельному состоянию. Учитывая эксплуатационные динамические воздействия (вибрации, БВР, транспортную нагрузку), фактическое значение может снижаться до 0,9–1,0, что соответствует началу развития активных смещений. Подобный характер поведения склонов подробно описан в инженерных монографиях по оползневым процессам [9], [12].

При эксплуатации все перечисленные факторы неизбежно снижают устойчивость откосов, поэтому существующее значение коэффициента не обеспечивает достаточного запаса прочности и надёжности. Согласно инженерной практике и требованиям безопасности, коэффициент устойчивости должен составлять не менее 1,30, что позволит компенсировать возможные неопределённости в геомеханических параметрах пород, учесть долгосрочное влияние атмосферных и гидрогеологических процессов, а также минимизировать риски развития деформаций и обрушений.

Для достижения нормативного коэффициента устойчивости, составляющего 1,3–1,5, был применён обратный метод расчёта, основанный на преобразовании классической формулы коэффициента устойчивости по методу Шахунянца [1]. Поскольку увеличение нормальной силы N за счёт контрбанкета повышает удерживающую часть числителя, задача

ISSN 3030-3907

определения требуемого объёма была решена путём обратного вывода дополнительной нагрузки, компенсирующей дефицит устойчивости.

Отсюда выражаем искомую дополнительную нагрузку:

$$B_2 = \sum(\mathrm{T}) \cdot \mathrm{n} - \left[\mathrm{tg}(\varphi_{\mathrm{cp}}) \cdot \sum(\mathrm{N}) + B_1\right]$$

B_1 — дополнительное давление, создаваемое массой существующего контрбанкета.

Из этого уравнения можно определить величину дополнительного давления, необходимого для повышения устойчивости борта карьера до нормативных значений.

Далее переход к массе и объёму контрбанкета выполняется по зависимости [4], [6]:

$$V = \frac{B_2}{\gamma}$$

Использование объёмов блоков, их реального веса и пространственного давления позволило определить дефицит удерживающих сил и требуемый контрбанкетный объём.

Расчеты приведены в таблице 4.

Таблице 4

Требуемый объем контрбанкетного отвала для обеспечения требуемого коэффициента устойчивости борта в условиях месторождения «Карахтай-1»

Требуемый коэффициент устойчивости	Объем контрбанкетного отвала, м^3
1,3	74410
1,35	104557,6
1,4	159508,6
1,45	214459,6
1,5	269410,6

Принципиально важно, что при создании такого стабилизирующего отвала необходимо использовать однородный материал с контролируемым гранулометрическим составом, исключающим негабаритные включения. Крупные фрагменты могут создавать локальные очаги напряжений, нарушая равномерность распределения нагрузки и снижая эффективность пригрузки. Дополнительно требуется проведение непрерывного геотехнического мониторинга — контроль горизонтальных и вертикальных перемещений, оценка динамики скоростей сдвижений и реакции массива на буровзрывные колебания.

ISSN 3030-3907

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что технология формирования контрбанкета является ключевым элементом стабилизации оползневого массива на Карахтай-1. Благодаря ранее созданному отвалу мергеля удалось остановить активное смещение и снизить скорость деформаций. Однако существующий объём контрбанкета недостаточен для достижения нормативного уровня устойчивости, необходимого для безопасного продолжения добычных работ.

Расчёты, выполненные по методу Шахунянца, показали, что коэффициент устойчивости массива составляет всего 1,115, тогда как требуемое значение — не менее 1,30. Для доведения массива до безопасного состояния необходимо дополнительно разместить около **74410 м³ мергеля**, что обеспечит повышение удерживающих сил и стабилизацию массива на нормативном уровне.

Выполнение данных мероприятий позволит:

- обеспечить безопасность персонала и техники,
- исключить риск дальнейшей активизации оползневых процессов,
- обеспечить доступ к нижним горизонтом залежи
- предотвратить потерю значительных запасов полезного ископаемого.

Таким образом, формирование контрбанкета является оптимальным, инженерно-обоснованным и экономически целесообразным способом повышения устойчивости борта месторождения Карахтай-1 и необходимым условием продолжения работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахунянц Г.М. Устойчивость откосов и откосных сооружений. — М.: Недра, 1976.
2. Меркурьев Ю.С., Стоянович Г.М., Шехтман И.О. Анализ устойчивости насыпи по методу Г.М. Шахунянца…
3. Фоменко И.К., Сироткина О.Н., Горобцов Д.Н. О классификации математических методов оценки устойчивости склонов…
4. Duncan J.M., Wright S.G., Brandon T.L. Soil Strength and Slope Stability.
5. Hoek E., Bray J.W. Rock Slope Engineering.
6. Abramson L.W. Slope Stability and Stabilization Methods.
7. Rocscience Inc. RS2 — Theory and Verification Manual.
8. Минаев В.Г., Кузнецов Н.М. Инженерная геодинамика и устойчивость откосов карьеров.
9. Белоусов А.В. Оползни: механика, расчет, прогноз.
10. Трунов А.А. Геомеханический анализ устойчивости откосов…

ISSN 3030-3907

11. Hutchinson J.N. Morphological and geotechnical parameters of landslides…
12. Тер-Степанян Г.А. Сдвижение грунтов.

ISSN 3030-3907