

---

---

УДК 622.271+622.693.25

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИШТАМБЕРДЫ

**Кожогулов Б.К., Кудрякова Е.Н., Чернова Е.П., Тишурова В.С.**  
Учреждение проектно-исследовательский центр «Кен-Тоо»

В данной статье рассматриваются три способа укладки хвостового материала флотационного обогащения ОФ месторождения Иштамберды, в связи с изменением технологии извлечения золота и введением в технологический процесс переработку хвостов методом «Carbon in pulp» или «уголь в пульпе». Это повлечет за собой и изменение объема вместимости чаши хвостохранилища за счет перехода от наливного складирования к сухому. Основным показателем для выбора одного из способов укладки хвостов, а, следовательно, и оценки устойчивости конструкции хвостохранилища, служит коэффициент устойчивости, рассчитанный для каждого отдельного расчетного случая с учетом всех связей и взаимодействий, а не для отдельных участков. Двумерный анализ устойчивости склонов проводился в соответствии с методом предельного равновесия SRM с использованием программного обеспечения MIDAS GTS NX в статических и псевдостатических (сейсмическая нагрузка) условиях.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, хвостовое хозяйство, коэффициент устойчивости, запас прочности, полусухие хвостовые отложения.

## ИШТАМБЕРДИ КЕНИНИН КОЛДОНУУ ЖАЙЛАРЫНЫН ТУРУКТУУлугуна баа берүү

**Кожогулов Б.К., Кудрякова Е.Н., Чернова Е.П., Тишурова В.С.**  
«Кен-Тоо» долборду изилдөө борбору

Бул макалада алтынды казып алуу технологиясынын өзгөрүшүнө жана калдыктарды кайра иштетүүдө көмүртектин же алтынды кайра иштетүү технологиясы көмүрдүн технологиялык процеске

киргизилишине байланыштуу Иштамберди кенин флотациялык байытуунун калдыктарын үймөктөп коюунун үч жолу каралат. Бул ошондой эле калдыктарды сактоочу жайдан кургак сактоого өтүүгө байланыштуу калдык сактоочу жайдын сыйымдуулугунун өзгөрүшүнө алып келет. Калдыктарды топтоо ыкмаларынын бирин тандоонун, демек, калдыктарды сактоочу жайдын структурасынын туруктуулугун баалоонун негизги көрсөткүчү болуп, айрым участкалар үчүн эмес, бардык байланыштарды жана өз ара аракеттенүүлөрдү эске алуу менен ар бир жеке долбоордук учур үчүн эсептелген туруктуулуктун коэффициенти саналат. Эки өлчөмдүү эңкейиштин туруктуулугун талдоо SRM чектик тең салмактуулук ыкмасына ылайык MIDAS GTS NX программасын колдонуу менен статикалык жана псевдостатикалык (сейсмикалык жүктөө) шарттарда жүргүзүлгөн.

**Баштапкы сөздөр:** гидротехникалык курулуштар, калдык сактоочу жайлар, туруктуулук коэффициенти, коопсуздук чеги, жарым-жартылай кургак калдыктар.

## **SSESSMENT OF THE STABILITY OF THE ISHTAMBERDY TAILINGS DAM STRUCTURE**

**Kozhogulov B.K., Kudryakova E.N., Chernova E.P., Tishurova V.S.**

Institute design and research center «Ken-Too»

This article discusses three ways of stacking the flotation enrichment tailing material of the Ishtamberdy field's coaxial factory, in connection with the change of gold extraction technology and introduction of the «Carbon in pulp» method into the process of tailing processing or «coal in pulp». This would also entail a change in the capacity of the tailing basin from bulk storage to dry storage. The stability factor calculated for each individual calculation, taking into account all the links and interactions, is the main indicator for choosing one of the tailings management techniques and therefore for assessing the stability of the tailing management facility design rather than for individual sites. The two-dimensional stability analysis of the slopes was carried out in accordance with the SRM extreme balance method using the MIDAS GTS NX software under static and pseudo-static (seismic load) conditions.

**Keywords:** hydraulic structures, tail farms, factor of safety, strength storage, semi-dry tailings deposits.

Золоторудное месторождение Иштамберды расположено в центральной части Кассанского блока Чаткал-Кураминской складчатой

области. Кассанский блок представляет собой часть среднего массива с общей антиклинальной структурой [1].

Хвостохранилище расположено на северо-востоке от обогатительной фабрики в сухом логу, в правом притоке р. Иштамбердысай. На участке под хвостохранилище, расположенный в долине U-образного лога шириной 40 м в его нижней части и 180 м – по верху, то результатом проходки шурфов глубиной до 3 м, бурения скважин глубиной до 75,0 м и геофизическим данным (ВЭЗ, СЭЗ) в геолого-литологическом строении принимаются участие скальные породы. Они представлены в обнажениях и в коренном залегании: сланцами, гранитами и гранодиоритами, песчаниками, алевролитами, известняками, конгломератами, трещиноватыми, выветрелыми, а также перекрывающими их элювиальными и делювиальными отложениями верхнечетвертичного – современного возраста. Физико-механические свойства пород приведены в [2].

Створ существующей дамбы хвостохранилища расположен на месте сужения сая. Ширина сая в нижней части – 30-40 м, в верхней части – 180-200 м. В месте сужения сая борта с углом 45-50°, с выходом в них коренных пород и глыбовых отложений. Поверхность левого и правого борта большей частью задернована, также с выходами скальных образований и глыбовых отложений.

К настоящему времени было выполнено два проекта для складирования отходов производства рудника «Иштамберды»: Проект 1 – «намывное складирование», выполненный в 2009 г. и Проект 2 – «сухое складирование», выполненный Учреждением Проектно-исследовательский центр (ПИЦ) «Кен-Тоо» в 2016 г. Связано это с изменением технологии извлечения золота и введением в технологический процесс переработку хвостов флотации обогатительной фабрики по методу «Carbon in pulp» или «уголь в пульпе» на гидрометаллургическом цехе, который включает и изменение метода

складирования хвостов флотации. От намывного складирования (по Проекту 1) переходят к сухому (по Проекту 2) с увеличением объема чаши хвостохранилища. В хвостохранилище будут складировать полусухие (20% влажности) хвосты флотационного обогащения ОФ Иштамберды. При этом для увеличения объема хвостохранилища должны нарезаться полки по чаше с выколаживанием откосов.

Хвостохранилище было сформировано до отметки 2023 м. согласно Проекта 1, а в последующем уже по Проекту 2.

Оценку устойчивости хвостохранилища производили по трем расчетным схемам с разным способом формирования хвостовых отложений:

1. Выше отметки 2032 м наполнение хвостохранилища происходит послойно, совместно со строительством дамб обвалования высотой по 3 м на каждом слое (рис. 1). Данная расчетная схема создавалась для рассмотрения возможности существенного увеличения объема складирования в связи с производственной необходимостью.

2. Наполнение хвостохранилища происходит путем чередования способов складирования: послойно, совместно со строительством дамб (рис. 2) и послойно совместно со строительством дамб обвалования высотой по 3 м, и способом отвалообразования с уклоном откоса  $m = 7,0$ .

3. Выше отметки 2032,0 м наполнение хвостохранилища происходит только способом отвалообразования с уклоном откоса  $m = 2,0$ , высота каждого слоя 10 м (рис. 3).

При этом, конечная отметка заполнения сухими хвостами (отметка 2080 м) остается без изменений.

В ходе расчета оценки устойчивости каждой расчетной схемы, проведенной с помощью программного обеспечения, рассматривалась конечная конфигурация хвостового хозяйства, которая включает в себя пионерную дамбу, дамбы обвалования, упорную призму, хвостовые отложения, грунтовое основание. Двумерный анализ устойчивости

склонов проводился в соответствии с методом предельного равновесия SRM с использованием программного обеспечения MIDAS GTS NX [3] в статических и псевдостатических (сейсмическая нагрузка) условиях.

Для поиска наиболее опасной поверхности сдвига и определения коэффициентов устойчивости применялся метод SRM – предельное равновесие по методу снижения прочности (метод конечных элементов) [4], при котором используются сдвиговые и прочностные характеристики модели Мора-Кулона. В основе метода лежит последовательное, пропорциональное одновременное снижение прочности ( $c$  – удельное сцепление и  $\varphi$  – угол внутреннего трения) и перерасчет напряженно-деформированного состояния (НДС) массива. НДС на заключительном этапе – наиболее вероятный сценарий разрушения массива.

Необходимо также отметить, что оценка устойчивости выполняется для всей конструкции хвостохранилища в целом, с учетом всех связей и взаимодействий, а не для отдельных участков.

В результате проведения расчетов по устойчивости по трем расчетным схемам, определено, что:

- Расчетная схема №1. Конструкция хвостохранилища статически не устойчива.

- Расчетная схема №2. Конструкция хвостохранилища будет находиться в устойчивом состоянии и в статических условиях, и при сейсмическом воздействии.

- Расчетная схема №3. Конструкция хвостохранилища не устойчива при сейсмическом воздействии.

Выводы:

1. Конструкция хвостохранилища по расчетной схеме №2 имеет запас прочности и устойчивости. Рассчитанные коэффициенты запаса прочности превышают минимально необходимые нормативные значения как в статических, так и в псевдостатических условиях.

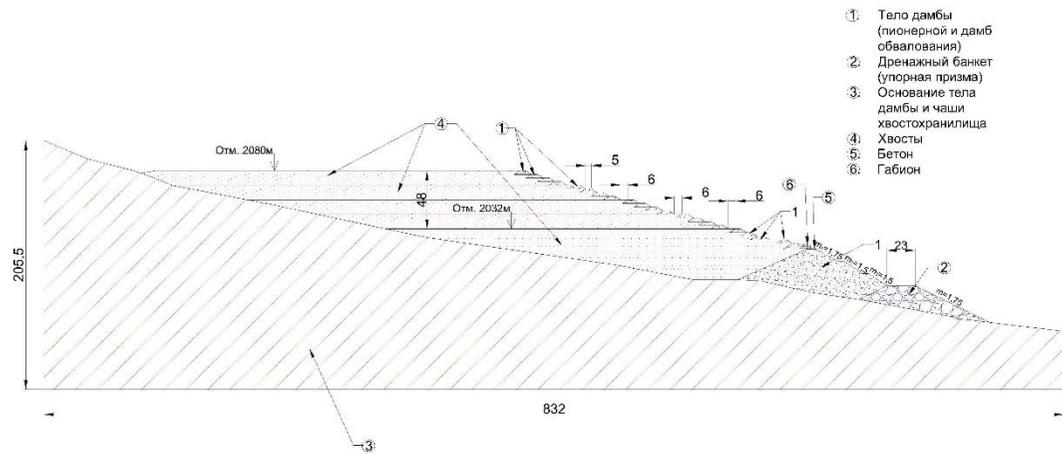


Рис. 3. Наполнение хвостохранилища совместно со строительством дамб обвалования

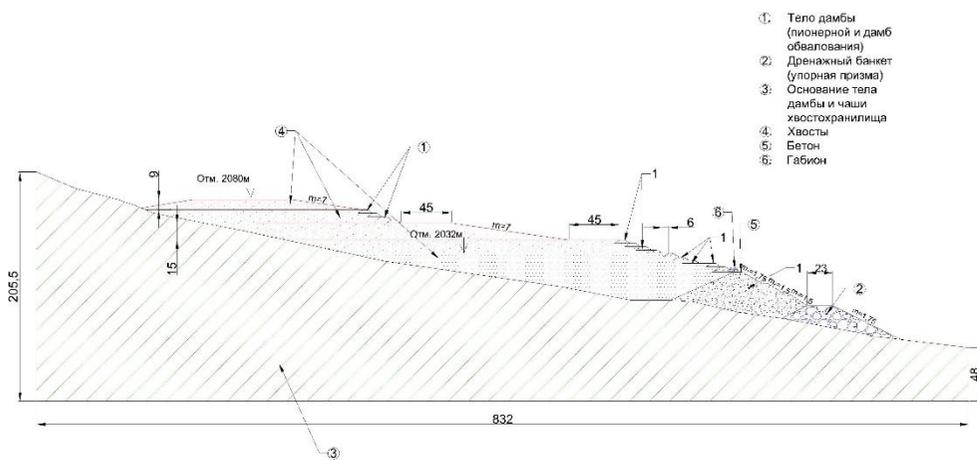


Рис. 5. Наполнение хвостохранилища путем чередования способов формирования

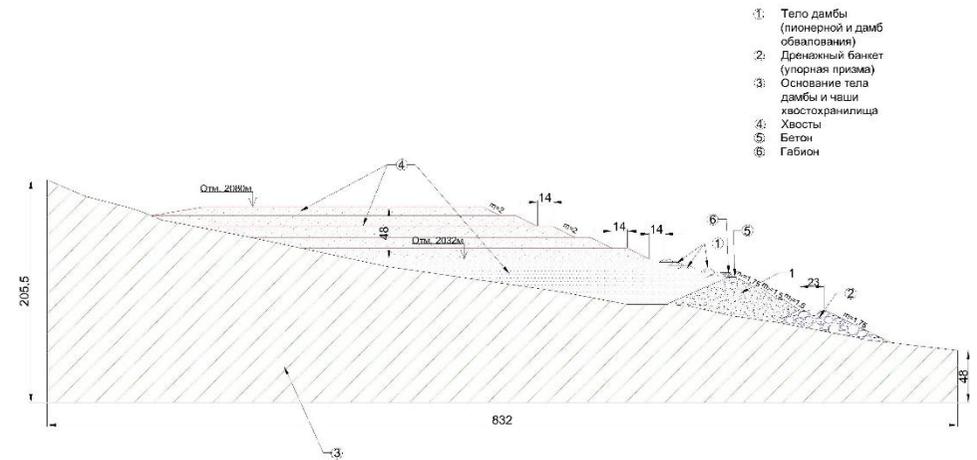


Рис. 4. Наполнение хвостохранилища с помощью способа отвалообразования

2. Проектная конструкция хвостохранилища учитывает существующее положение на данный момент и спроектирована таким образом, чтобы выдерживать потенциальное динамическое смещение во время максимального землетрясения.

3. Установлено, что наиболее опасные поверхности деформаций находятся в пределах хвостовых отложений без оставления бермы достаточной ширины, как по расчетной схеме №1, когда дамбы обвалования возводятся каскадом одна над другой на всю высоту до конечной отметки (2080,0 м) складирования хвостов.

4. С целью уменьшения концентрации сдвиговых усилий, дальнейшее наполнение хвостохранилища производить с обязательным оставлением ширины бермы не менее 45м.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дженчураева Р.Д. Золоторудные месторождения Кыргызстана / Р.Д. Дженчураева, Н.Т. Пак, В.В. Никоноро, Е.А. Ивлева. Бишкек: 2020. 534 с.
2. Кожогулов К.Ч. Физико-механические свойства руд и вмещающих пород месторождения Иштамберды / К.Ч. Кожогулов, Ж.М. Ганиев // Современные проблемы механики сплошных сред. 2014. Вып. 19. С. 30–38.
3. Программный продукт MIDAS GTS NX / Москва. URL: <https://midasoft.ru/products/midas-gts-nx/>
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. М.: Недра, 1987. 168 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. М.: Мир, 1979.