

УДК 624.131

## УСТОЙЧИВОСТЬ УПОРНОЙ ПРИЗМЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ОТВАЛОВ НА СКЛОНАХ

**Джакупбеков Б.Т., Кадыралиева Г.А.**

Институт машиноведения, автоматике и геомеханики НАН КР.

В рамках данной задачи проводился расчёт устойчивости отвала с упорной призмой, расположенного на месторождения «Куру-Тегерек» Чаткальского района Джалал-Абадской области Кыргызской Республики. Для оценки устойчивости использовались два основных подхода: GeoStudio (SLOPE/W) и RQD (Rock Quality Designation).

**Ключевые слова:** GeoStudio, анализ устойчивости откоса, Сейсмическое ускорение, Сейсмическое нагрузка, RQD, упорная призма

## ПРИЗМАСЫНЫН ТУРУКТУУЛУГУ ЖАНА КООПСУЗ ТӨГҮНДҮКТӨРДҮН ДОЛБООРУ

**Джакупбеков Б.Т., Кадыралиева Г.А.**

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Машина куруу, автоматика жана геомеханика институту

Бул изилдөө Кыргыз Республикасынын Жалал-Абад облусунун Чаткал районундагы Куру-Тегерек кенинде жайгашкан сүрүүчү призмасы бар таштанды төгүүчү жайдын туруктуулугун талдоону камтыган. Туруктуулукту баалоо үчүн эки негизги ыкма колдонулду: GeoStudio (SLOPE/W) жана RQD (Тек сапаттын белгилөө).

**Баштапкы сөздөр:** GeoStudio, жантаюунун туруктуулугун талдоо, сейсмикалык тездетүү, сейсмикалык жүк, RQD, тартуу призмасы

# STABILITY OF A THROW PRISM AND DESIGN OF SAFE DUMPS ON SLOPES

**Djakupbekov B.T., Kadyralieva G.A.**

Institute of Mechanical Engineering, Automation, and Geomechanics,  
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic.

This study involved analyzing the stability of a dump with a thrust prism located at the Kuru-Tegerek deposit in the Chatkal district of the Jalal-Abad region of the Kyrgyz Republic. Two main approaches were used to assess the stability: GeoStudio (SLOPE/W) and RQD (Rock Quality Designation).

**Keywords:** GeoStudio, slope stability analysis, seismic acceleration, seismic load, RQD, thrust prism

## **Ведения.**

Расчёт устойчивости отвала с упорной призмой с использованием GeoStudio и физико-механических свойств с учётом RQD основаниям под отвалом. При расчёте устойчивости отвала с упорной призмой на основе программного комплекса GeoStudio с учётом физико-механических свойств горных пород и использования RQD (Rock Quality Designation) важно учитывать ряд факторов. RQD — это индекс, который отражает качество горных пород, и может существенно повлиять на точность расчётов устойчивости, особенно в горных районах с выраженной тектонической активностью и переменной геологической обстановкой.

GeoStudio (SLOPE/W): Метод предельного равновесия, позволяющий оценить коэффициент безопасности (SF) отвала на основе анализа сил, действующих на склон, и учёта различных параметров грунта, таких как угол трения, коэффициент сцепления, плотность материалов, уровень грунтовых вод и др.

RQD (Rock Quality Designation): Оценка качества и прочности горных пород, что важно при моделировании устойчивости склонов и отвала. RQD используется для понимания структуры горных пород, их прочности и склонности к разрушению. Важно учитывать этот показатель, поскольку он непосредственно влияет на способность материала выдерживать механические нагрузки, включая давление от верхних слоёв и сдвиг в нижней части отвала.[1]

**Цель расчётов** — заключается в том, чтобы оценить вероятность влияния основания под отвал и его взаимодействие с упорной призмой.

**Отвал с упорной призмой** — это конструкция, состоящая из материала (обычно горной породы или шлама), отложенного в виде конуса или слоя, в основании которого формируется "упорная призма" — критическая зона склона, в которой может произойти сдвиг или обрушение.

Месторождение расположено на территории Чаткальского района Джалал-Абадской области Кыргызской Республики на южном склоне Чандалашского хребта, в верховьях правых притоков реки Чаткал: Чакмаксу и Куру-Тегерек.

Абсолютные отметки площади месторождения колеблются от 2500 до 3100м; относительные превышения составляют 400-500 м. Рельеф участка проектируемых работ высокогорный, резко расчленённый, скалистый.

Также выполнялась оценка качества массива горных пород по скважинам, по которым были отобраны и испытаны пробы горных пород. Качество массива оценивается путем подсчета фрагментов керна, размер которых был равен или больше 100мм по всей длине скважины. Затем суммируется общая длина таких кусков керна и разделяется на общую длину скважины. Оценку качества массива проводили по показателю качества пород RQD.

$$RQD (\%) = 100 * \frac{\text{длина кусков керна} \geq 100 \text{ мм}}{\text{длина скважины}}$$

Качество массива пород (основания под призмы и отвала), определили по классификации З. Бенявского, представленный в таблице 1.

Таблица 1. - Класс массива горных пород по З. Бенявскому

Класс	Качество массива	Значения
I	Очень хороший	RQD = 81 - 100
II	Хороший	RQD = 61 - 80
III	Удовлетворительный	RQD = 41 - 60
IV	Слабый	RQD = 21 - 40
V	Очень слабый	RQD < 20

Данные фрагментов керна по месторождению Куру-Тегерек, размер которых был равен или больше 100мм по всей длине скважины. Оценка качества массива по керну приведена в таблице 2.

Таблица 2. - Оценка качества массива пород месторождения Куру-Тегерек.

п.н керн №	Длина скважины, м	Показатель качества породы RQD, %
1	74,00	51
2	183,60	49
3	156,00	65
4	103,20	40
5	63,50	36
6	60,60	45

На основании анализа данных (таблица 4) и руководствуясь классом массива пород (таблица 5), качество породного массива следует принять в среднем как - удовлетворительное.

Результаты физико-механических свойств представленных проб горных пород полученные путем лабораторных исследований на образцах были пересчитаны на массив с учетом трещиватости и качества массива. Для дальнейших расчетов устойчивости были приняты свойства пород представленные в таблице 3.

Определение физико-механических свойств горных пород месторождения «Куру-Тегерек».[2,3]

Таблица 3. Значения прочностных характеристик пород

№	Название скважины	Интервал отбора, м	Название пород	RQD, %	Объемный вес кН/м <sup>3</sup>	В сухом состоянии			В водопоглощенном состоянии		
						Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	Сцепление С, МПа	Угол внутреннего трения $\phi$ , град	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	Сцепление С, МПа	Угол внутреннего трения $\phi$ , град
1	ZK 2-1	38-41	скарны	51	38,43	115,51	0,588	43,1	81,21	0,498	40,5
2	ZK 2-1	58-59	известняк	51	24,79	63,12	0,314	36,5	60,39	0,306	36,1
3	Для поперечного разреза 1,2,3 из-за отсутствия инженерно-геологических данных были взяты свойства среднего значения из всех пород				29,51		0,481	41,1		0,436	39,3
4	Отвал 1-1 для расчета устойчивости данные были взяты с лабораторных				14,70		0,313	42,25			

	данных по свойствам вскрышных пород карьера						
5	Упорный вал	24,51		0,436	37,46		
6	Сейсмическая нагрузка задавалась по СН КР 20-02:2024, среднее значения по району 7 балл, по нипу район находится 9 балл	Расчеты велись с сейсмическим ускорением 0,25g (7-8 балл)					

Процесс **отвалообразования** часто включает **поэтапное наращивание** площади и высоты отвала до проектных значений. Это важно для обеспечения стабильности, предотвращения внезапных обрушений и эффективного использования пространства. При этом необходимо учитывать влияние **упорной призмы**, которая играет критическую роль в устойчивости отвала, особенно в зоне основания, где возникают основные сдвиговые силы. Отвалы отсыпаются последовательно ярусами высотой не более 90 м, предохранительный вал высотой не менее 0,5 высоты колеса автосамосвала и обратный уклон разгрузочной площадки не менее  $3^{\circ}$ .

Для обеспечения большей устойчивости первого яруса отвала проектом предусматривается строительство дополнительного упорного вала – трапециевидная призма, выполненная из горных пород с шириной в гребне 15,5 метров, высотой по оси около 12,7 метров и крутизной откоса 1:2. Применение упорного вала для удержания от сползания отвалов и бортов карьера имеет положительный опыт в нескольких месторождениях Кыргызской Республики. Общий объем пород для сооружения упорного вала составляет 51,2 тыс. м<sup>3</sup> (рис. 2).

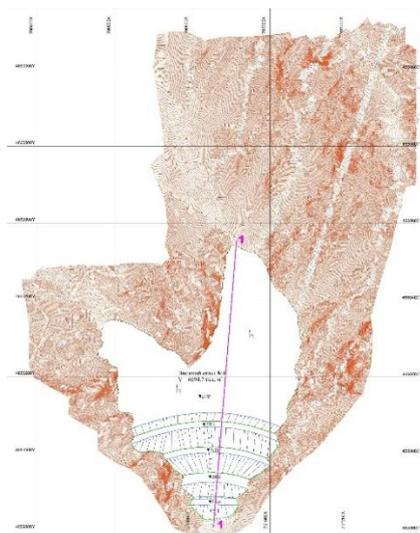


Рис. 1 – План расположения внешнего

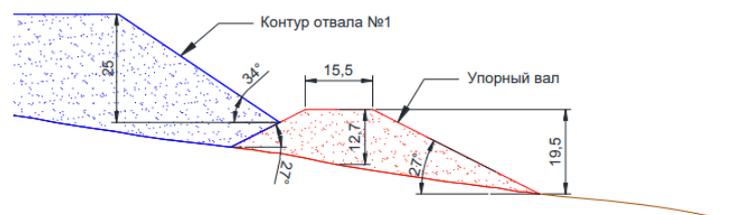
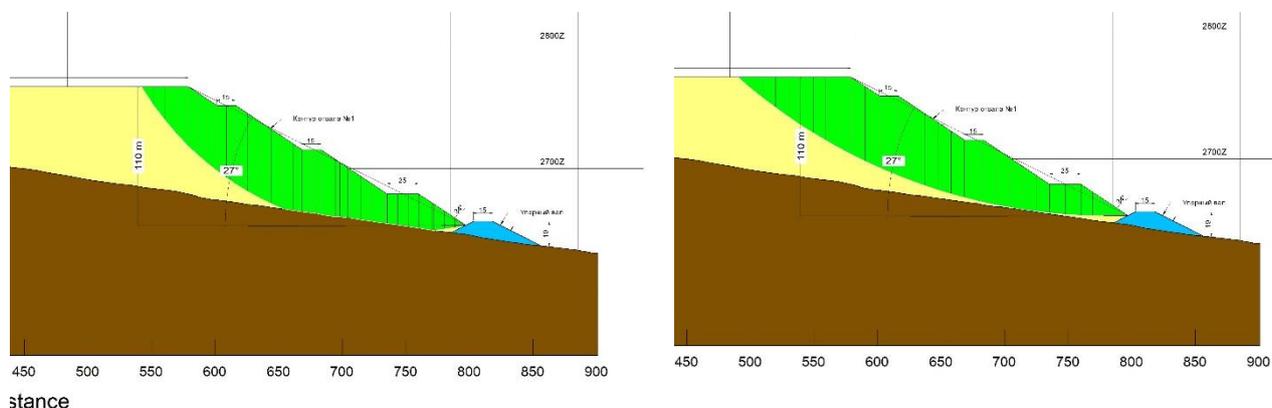


Рис. 2 – Схема упорной призмы под отвалом

отвала с упорной призмой  
№1 с указанием  
продольного разреза 1-1  
взятый за основу для  
расчетов устойчивости



В воздушно-сухом состоянии  
горных пород,  $K_u=2,151$

В воздушно-сухом состоянии  
горных пород с учетом  
сейсмичности,  $K_u=1,538$

Рис. 3– Результаты расчета устойчивости отвала по разрезу 1-1

## Выводы

На основании проведенного расчёта устойчивости отвала по разрезу 1-1 можно сделать следующие выводы:

- **Отвал является устойчивым:** Коэффициент безопасности (SF) превышает нормативное значение  $K_u=1,3$  и составляет  $K_u=2,151$ , что подтверждает, что отвал находится в пределах устойчивости. Коэффициент безопасности (SF) является основным критерием оценки устойчивости, где:

$SF > 1,3$  — отвал считается безопасным и устойчивым.

$SF < 1,3$  — отвал потенциально нестабилен и требует усиления или корректировок.

- **Представленные параметры отвала являются рациональными:** Устойчивость конструкции подтверждается не только расчётом SF, но и оптимальными геометрическими характеристиками, которые учитывают все особенности местности и используемых материалов.

- **Сейсмическая нагрузка:** Для данного района с сейсмической активностью средним 6-7 баллов результаты показали  $K_u=1,538$ .

- **Прочность основания:** Основание должно быть достаточно прочным, чтобы выдерживать дополнительную нагрузку от

увеличивающегося объема отвала. Оценка прочности основания с использованием RQD (Rock Quality Designation) позволяет более точно определить качество и прочность под основания занемаемой отвалом. RQD является важным индикатором для оценки целостности и прочности горных пород. Чем выше значение RQD, тем менее вероятны разрушения основания под действием нагрузок. Низкие значения RQD могут свидетельствовать о слабости основания и потребовать дополнительных мер для укрепления.

- **Давление на упорную призму:** Увеличение высоты отвала приводит к увеличению давления на основание, и, следовательно, на упорную призму в нижней части конструкции. На каждом этапе наращивания высоты отвала необходимо учитывать постепенное увеличение нагрузки на основание и призму. Это давление может привести к образованию сдвиговых деформаций или даже разрушению основания и призмы, если не учтены все параметры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Основание фундаменты и подземные сооружения. Под общей редакцией д.т.н., проф. Б.А. Сорочана и к.т.н. Ю.Т. Трофименкова. 1985г

2. В.Д. Ломтадзе Физико-механические свойства горных пород Методы лабораторных исследований. Учебное пособие для вузов. -2-е изд., перераб. и доп.-Л.: Недра, 1990. -328 с.: ил.

3. Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш Свойства горных пород и методы их определения. Под редакцией проф. д.т.н. М.М. Протодьяконова. Изд. «Недра», Москва 1969