

Исследование устойчивости хвостохранилища угольной обогатительной фабрики «Восточная» (Центральный Казахстан) для оценки его безопасной консервации и ликвидации

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-57-62>

Целью исследования является изучение инженерно-геологических условий грунтов основания и тела дамбы хвостохранилища с дальнейшим расчетом параметров устойчивости дамбы для выбора мероприятий, направленных на оценку возможности эксплуатации хвостохранилища с последующей его консервацией (ликвидацией) при достижении расчетных значений.

Разработаны рекомендации и мероприятия по выводу из эксплуатации и переводу хвостохранилища на консервацию с последующей его ликвидацией при обеспечении промышленной и экологической безопасности для окружающей среды. С учетом физико-механических свойств грунтов и пород основания, погодно-климатических условий, результатов моделирования обоснована методика расчета для проведения инженерно-строительных работ, направленных на обеспечение устойчивости внешних откосов дамбы.

Ключевые слова: устойчивость дамбы, шлам, откосы, грунты, консервация, ликвидация, хвостохранилище, методика расчета, моделирование.

Для цитирования: Исследование устойчивости хвостохранилища угольной обогатительной фабрики «Восточная» (Центральный Казахстан) для оценки его безопасной консервации и ликвидации / С.О. Рыжков, В.С. Портнов, Н.Х. Хуанган и др. // Уголь. 2021. № 12. С. 57-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-57-62.

ВВЕДЕНИЕ

В Казахстане насчитывается большое число обогатительных фабрик и горно-обогатительных комплексов, занимающихся переработкой и обогащением руд, однако фабрик по обогащению углей – единицы, и одной из них является крупная Центральная обогатительная фабрика (далее – ЦОФ) «Восточная», которая расположена в восточной части Шерубай-Нурунского угленосного района Карагандинского угольного бассейна. Основным ее назначением является глубокое обогащение мокрым про-

РЫЖКОВ С.О.

Докторант *phD* кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета, 100000, г. Караганда, Казахстан, e-mail: ice2@inbox.ru

ПОРТНОВ В.С.

Доктор техн. наук, профессор кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета, 100000, г. Караганда, Казахстан,

ХУАНГАН Н.Х.

Доктор *phD*, проректор по научной работе Карагандинского технического университета, 100000, г. Караганда, Казахстан,

РАХИМОВ М.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии» Карагандинского технического университета, 100000, г. Караганда, Казахстан,

ХМЫРОВА Е.Н.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Карагандинского технического университета, 100000, г. Караганда, Казахстан,

цессом труднообогатимых, высокозольных, низкосернистых и хорошо спекающихся коксующихся углей Карагандинского угольного бассейна.

В связи с заполнением хвостохранилища до проектного уровня сброс хвостов в него остановлен. И в этой связи возникла необходимость оценки устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища на предмет его безопасного для окружающей среды содержания с оценкой возможности продления срока эксплуатации при проведении необходимых работ по укреплению бортов дамбы с разработкой системы наблюдений за ее устойчивостью с перспективой ее консервации и ликвидации при условии проведения комплекса мероприятий по рекультивации территории хвостохранилища [1, 2, 3, 4].

Таким образом, объектом исследования является ныне неэксплуатируемое хвостохранилище ЦОФ «Восточная».

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

По способу заполнения хвостохранилище – наливного типа. Флотохвосты к хвостохранилищу подавались с главного корпуса ЦОФ по двум трубопроводам длиной ~5,0 км.

Конструкция дамбы была выполнена без организации дренажа в связи с водонепроницаемым основанием и отсутствием выхода кривой депрессии на поверхность низового откоса. Она проходит ниже границы промерзания грунта, равного 1,7 м.

В 2017 г. по проекту была создана дополнительная емкость хвостохранилища путем наращивания части существующей дамбы и перемычек в сторону верхового откоса на +1,5 м. Тело наращиваемой дамбы выполнено из намытого шлама, крепление гребня и откосов выполнено наброской несортированного скального грунта толщиной 0,2 м по слою обратного фильтра из гравийного грунта толщиной 0,2 м. В теле дамбы предусмотрен глиняный экран толщиной 0,5 м, примыкающий к основанию существующей дамбы при помощи глиняного зуба шириной 1,1 м. Дополнительная к существующей емкость наращиваемой части хвостохранилища обеспечила возможность эксплуатации хвостохранилища в течение еще трех лет.

В настоящее время все карты хвостохранилища заполнены «хвостами» и находятся на просушке. Вопрос о дальнейшей эксплуатации путем наращивания дамб хвостохранилища или безопасной консервации и ликвидации должен решаться при проведении комплекса исследований, включающих моделирование, при условии, что натурными наблюдениями и проведенными изысканиями установлена фильтрация воды с восточной части хвостохранилища через дамбу, отчего происходила ее осадка, так называемое «сползание» дамбы (секция № 3). План-схема хвостохранилища на фактическое положение и расположение расчетных сечений и разрезов приведены на рис. 1.

при проведении комплекса исследований, включающих моделирование, при условии, что натурными наблюдениями и проведенными изысканиями установлена фильтрация воды с восточной части хвостохранилища через дамбу, отчего происходила ее осадка, так называемое «сползание» дамбы (секция № 3). План-схема хвостохранилища на фактическое положение и расположение расчетных сечений и разрезов приведены на рис. 1.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

По данным изысканий, площадка хвостохранилища сложена четвертичными аллювиальными отложениями р. Сокур, которые литологически представлены двумя горизонтами: верхним – глинистым и нижним – песчано-гравийным. Верхний горизонт представлен в основном суглинками, реже – песками мелкими, содержащими линзы супесей, нижний – песчано-гравийный горизонт – песками средней крупности, крупными и гравелистыми.

В стратиграфическом отношении основание дамбы представлено породами карагандинской свиты, незначительной по мощности частью разреза надкарагандинской свиты, третичными и четвертичными отложениями.

Четвертичные отложения до глубины 2,5-3,0 м представлены чередова-



Рис. 1. План-схема хвостохранилища на фактическое положение и расположение расчетных сечений и разрезов

нием мелкозернистых грунтов: суглинков, супесей, глинистых и пылеватых песков, редко глин.

Ниже залегают аллювиальные отложения р. Шерубай-Нуры: водоносные пески с большим содержанием гравия и гальки. Мощность четвертичных отложений, в зависимости от уклона поверхности третичных глин, постепенно уменьшается с запада на восток от 13 до 2-4 м.

В геологическом строении фундамента принимают участие отложения карбонового, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов.

Карбоновые отложения представлены полным разрезом продуктивной карагандинской и частью надкарагандинской свит, которые представлены переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов. На размытой поверхности карбона залегают палеогеновые пески мощностью до 7 м в пониженных частях древнего карбона, неогеновые глины и четвертичные пески и суглинки.

Неогеновые глины, мощность которых изменяется от 25 до 60 м, распространены по всей площади и служат водопором для вышележащих водоносных четвертичных аллювиальных отложений, возможных фильтраций основания дамбы.

Инженерно-геологические разрезы по линиям 3-3, 4-4 и 6-6 в северной и восточной частях сооружения, характеризующиеся как наиболее «опасные» части хвостохранилища с точки зрения возможности нарушения устойчивости, представлены на *рис. 2 (а, б, в)*.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СООРУЖЕНИЯ

В соответствии с классификацией, приведенной в СП РК 3.04-101-2013 «Гидротехнические сооружения», грунты основания относятся к двум категориям – Б и В.

Согласно СП РК 3.04-105-2014 «Плотины из грунтовых материалов» и СП РК 3.04-101-2013 «Гидротехнические сооружения», хвостохранилище ЦОФ «Восточная» относится к основным гидротехническим сооружениям III класса, так как фактическая высота ограждающей дамбы хвостохранилища не превышает 17 м.

На основании вышеизложенного расчеты устойчивости рассматриваемого сооружения производились для проектного состояния хвостохранилища с учетом данных эксплуатационных наблюдений с соответствующим классом и нормативным коэффициентом устойчивости. В качестве расчетных были выбраны инженерно-геологические разрезы 3-3, 4-4 и 6-6. Схема их расположения представлена на *рис. 1*.

Физико-механические свойства грунтов основания, отложений хвостов и грунтов первичной дамбы хвостохранилища принимались на основании анализа данных, полученных в ходе изысканий (*табл. 1*). Цветовые обозначения грунтов, задействованных в расчете, показаны в предпоследнем и последнем столбцах.

Оптимальные параметры гидротехнических сооружений, обеспечивающие его безопасную эксплуатацию, определяются расчетом устойчивости внешних откосов ограждающего сооружения при условии обеспечения коэффициента запаса устойчивости.

Таблица 1

Принятые физико-механические характеристики грунтов дамбы и основания хвостохранилища

Наименование	Плотность, г/см ³		Угол внутреннего трения, град		Сцепление, кН/м ²		Цветовое обозначение	Условное обозначение
	Ест.	Нас.	Ест.	Нас.	Ест.	Нас.		
ИГЭ-1. Техногенные намывные грунты пульпы супесчано-суглинистого состава (шлам)	1,46	1,51	22,4	22,4	23,7	23,7		
ИГЭ-2. Техногенный грунт тела первичной дамбы и дамбы наращивания супесчано-суглинистого состава	1,88	1,92	20,5	20,5	30,6	20,5		
ИГЭ-3. Техногенные грунты глины противofiltrационного экрана наращенной части дамбы (глиняный экран)	1,70	1,75	15	15	30	15		
ИГЭ-4. Супесь	1,85	2,09	24	24	25,9	25,9		
ИГЭ-5. Песок гравелистый	1,8	1,99	28,8	28,8	32,4	0		
ИГЭ-6. Гравийный грунт	1,9	2,06	38	38	0	0		
ИГЭ-7. Суглинок	1,98	2,1	18,5	18,5	21	20		
ИГЭ-8. Глина	1,9	2,03	18	18	33,3	6,9		

Критерием устойчивости откоса является соблюдение (для наиболее опасной поверхности сдвига) неравенства:

$$\gamma_{jc} \cdot F(\gamma_f) \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot R \left(\frac{1}{\gamma_k} \right) \quad (1)$$

где $F(\gamma_f)$ – значение обобщенного силового воздействия, определяемое с учетом коэффициента надежности по нагрузке (в зависимости от метода расчета устойчивости откосов F – равнодействующая сил или моментов этих сил

относительно оси поверхности сдвига); $R \left(\frac{1}{\gamma_k} \right)$ – значение

обобщенной несущей способности системы «сооружение – основание», определяемое с учетом коэффициента безопасности по грунту γ_g , то есть обобщенное расчетное значение сил предельного сопротивления сдвигу по рассматриваемой поверхности; $\gamma_{jc}, \gamma_f, \gamma_n$ – коэффициенты надежности по нагрузке, ответственности сооружения, сочетания нагрузок; γ_g – коэффициент надежности по грунту; γ_c – коэффициент условий работы.

В расчетах устойчивости откосов грунтовых сооружений коэффициент устойчивости k_p , определяется по формуле:

$$k_s = \frac{R}{F} \quad (2)$$

При поиске наиболее опасной поверхности сдвига для разнообразных положений поверхностей сдвигов вычисляются значения k_s и определяется его минимальное значение, которое сравнивается с нормативным:

$$k_s \geq \frac{\gamma_n \gamma_{jc}}{\gamma_c} \quad (3)$$

Для хвостохранилища ЦОФ «Восточная» приняты следующие значения коэффициентов в вышеприведенных формулах:

- $\gamma_g = 1,0$;
- $\gamma_n = 1,15$ для сооружений III класса;
- $\gamma_{jc} = 1,00$ (основное сочетание нагрузок);
- $\gamma_{jc} = 0,90$ (при особой нагрузке, кроме сейсмической, годовой вероятностью 0,001 и менее);
- $\gamma_c = 0,95$ коэффициент условий работы.

Коэффициент γ_g учитывается при определении расчетных показателей свойств грунтов ($\gamma_g = 1,0$).

Полученные расчетом коэффициенты устойчивости откосов для сооружения II класса должны быть не менее:

$$\frac{\gamma_n \gamma_{jc}}{\gamma_c} = \frac{1,15 \cdot 1,0}{1,0} = 1,15 \text{ – при основном сочетании нагрузок}$$

для периода эксплуатации;

$$\frac{\gamma_n \gamma_{jc}}{\gamma_c} = \frac{1,15 \cdot 0,9}{1,0} = 1,04 \text{ – при особом сочетании нагрузок}$$

для периода эксплуатации.

Согласно СП РК 3.04-105-2014 «Плотины из грунтовых материалов», расчеты устойчивости откосов грунтовых плотин всех классов следует выполнять для круглоцилиндрических поверхностей сдвига. В рамках проекта расчет произведен для круглоцилиндрических поверхностей сдвига методом Бишопа (Bishop simplified), который достаточно точен и дает возможность получать результаты, используя все три условия статики массива. Оценка устойчивости выполнена в программном комплексе Slide 7.0, который позволяет выполнять расчеты согласно вышеприведенным методикам.

Выполнена оценка фактического состояния сооружения для принятия решений о перспективах его эксплуатации. По сечениям 3-3, 4-4, 6-6 положение депрессионной кривой было определено по данным инженерно-геологических изысканий. Результаты расчета при основном сочетании нагрузок приведены в табл. 2 и на рис. 2 (а', б', в').

Расчетный коэффициент устойчивости во всех разрезах превышает минимальное нормативное значение, следовательно, при соблюдении особых требований и рекомендаций ограждающие дамбы хвостохранилища будут находиться в устойчивом состоянии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Заполнение хвостохранилища в данный момент достигло своей проектной отметки, и проектировать наращивание дамбы является нецелесообразным, так как близкое к минимальному нормативному значению устойчивости имеет сечение 6-6 (см. рис. 2), расположенное в восточной части хвостохранилища, где, согласно натурным наблюдениям, дамба «сползает». Следовательно, при дополнительном наращивании может случиться гидротехническая авария, которая может повлечь глобальную для региона экологическую катастрофу.

Исходя из вышесказанного, а также учитывая близость наличия водоохранной зоны и, следовательно, неустойчивых аллювиальных грунтов (ИГЭ-4 супесь, ИГЭ-5 песок гравелистый, ИГЭ-6 гравийный грунт), предлагается проводить мероприятия по консервации с последующей ликвидацией хвостохранилища.

В этой связи разработаны мероприятия по консервации хвостохранилища, предусматривающие:

- перекрытие откосов секций № 3 и № 6 глинистым грунтом – для предотвращения негативного влияния на компоненты окружающей среды – пыление и эндогенные пожары;

Таблица 2

Результаты оценки устойчивости проектного профиля ограждающей дамбы

Расчетное сечение	Высота ограждающей дамбы, м	Расчетный коэффициент устойчивости	Нормативный коэффициент устойчивости	Сочетание нагрузок
3-3	7,8	2,64	1,15	Основное
4-4	8,4	2,48	1,15	Основное
6-6	16,1	1,17	1,15	Основное

– срезка разделительной дамбы между секциями № 3 и № 2 – для организации пологого рельефа в емкости хвостохранилища;

– планировочные работы – для организации пологого рельефа в емкости хвостохранилища путем проведения планировки поверхности уложенных хвостов в секциях № 4, № 5, № 6, № 7 и № 1;

– перекрытие пылящих поверхностей хвостохранилищ глинистым слоем толщиной не менее 0,3 м после всех вышеупомянутых работ;

– установка не менее четырех наблюдательных скважин за температурным фоном заскладированного угольного шлама (хвостов) – для предупреждения возможного возникновения эндогенного пожара в массиве хвостов;

– посев трав (житняк, люцерна) на перекрытых секциях хвостохранилища – для предотвращения водной и ветровой эрозии, а также обеспечения перехвата и испарения атмосферных осадков в емкостях хвостохранилищ;

– установка предупреждающих знаков и информационных щитов по периметру всего объекта с указанием названия консервируемого объекта и даты консервации, а также возможных рисков, связанных с нахождением людей внутри огороженной территории.

После проведения работ по консервации и вывода из эксплуатации необходимо проводить периодические натурные и инструментальные наблюдения за состоянием объекта и прилегающих территорий вплоть до выемки шламов из хвостохранилища и окончательной ликвидации объекта:

– контроль состояния гребня и откосов дамб обвалования на предмет выхода фильтрационных вод, суффозии, трещинообразования, просадки, смещения гребня дамбы, появления промоин в дамбе, разрушения крепления;

– контроль температуры хвостовых отложений с помощью погружного термометра в наблюдательные скважины.

Консервационные работы можно провести за два года и дополнительно два года необходимы на рекультивационные мероприятия.

Как показывает многолетняя практика, наиболее эффективной мерой снижения отрицательного влияния хвостохранилищ на окружающую среду является их ликвидация, предусматривающая своевременную рекультивацию нарушенных земель для создания оптимальных ландшафтов с соответствующей организацией территории, флорой и фауной, и охраной воздушного бассейна и водных ресурсов. При этом техническая рекультивация рассматривается как неотъемлемая часть процесса горного производства и консервации, а качество и организация рекультивационных работ – как один из показателей культуры производства.

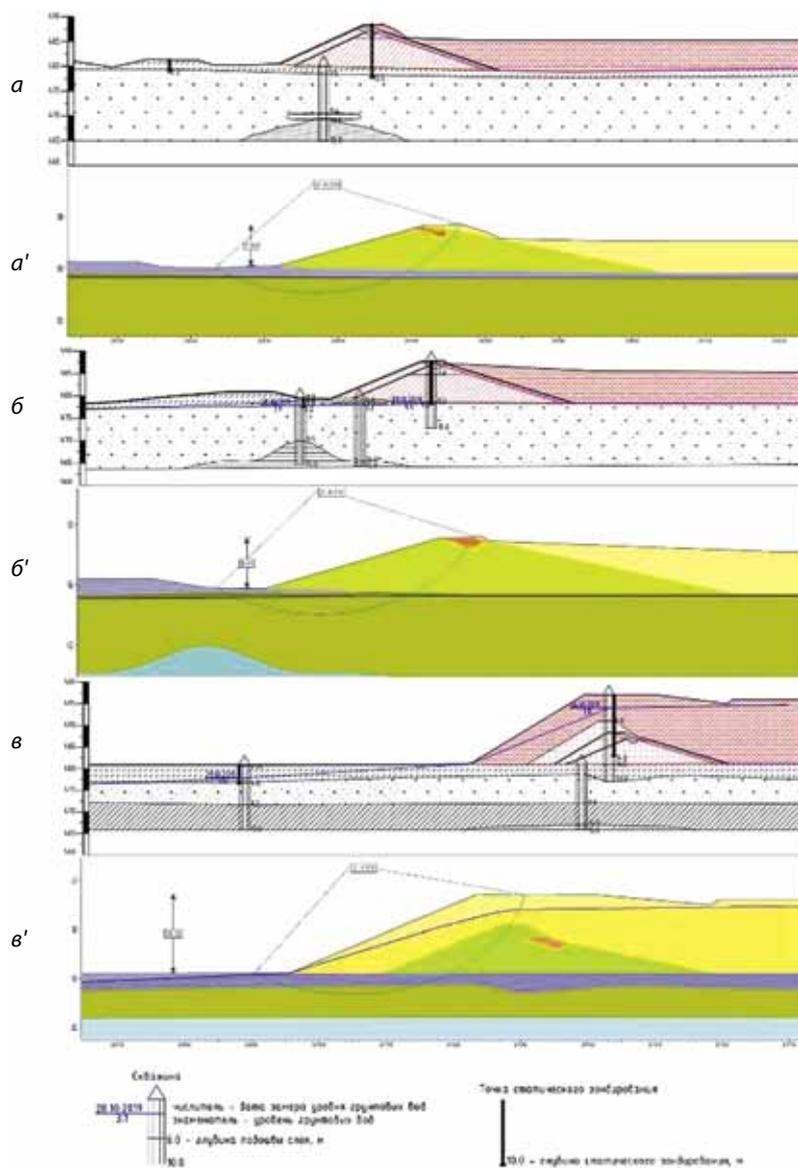


Рис. 2. Инженерно-геологические разрезы по линиям: 3-3 (а), 4-4 (б), 6-6 (в) и расчетные сечения устойчивости по линиям: 3-3 (а'), 4-4 (б'), 6-6 (в')

При проведении рекультивации нарушенных хвостохранилищем ЦОФ «Восточная» земель предусмотрено два последовательных этапа: технический и биологический.

В составе ликвидационных работ, помимо рекультивации, для предотвращения самовозгорания отходов углеобогащения, необходимо выполнить сушку секций, выемку шлама, просушку дна секций после выемки шлама.

В состав технического этапа рекультивации включены следующие виды работ: нарезка съездов на дно ликвидируемых секций, изоляция дна ликвидируемых секций путем нанесения слоя глинистых пород, засыпка ликвидируемых секций потенциально плодородной породой, грубая и чистовая планировка отсыпанных площадей.

На ликвидационные работы будет затрачено время: сушка каждой из пяти секций – два года, выемка шлама – четыре года, всего 30 лет.

При проведении биологического этапа рекультивации создается корнеобитаемый слой, предотвращающий пыление и эрозию почв, снос мелкозема с восстановленной поверхности.

ВЫВОДЫ

На основании результатов изучения физико-механических свойств насыпных грунтов, пород основания и отложений хвостов обогащения обосновано их использование в инженерно-строительных работах по укреплению профиля ограждающей дамбы хвостохранилища для безопасной ее консервации.

Обоснована методика расчета устойчивости откоса дамбы хвостохранилища ЦОФ «Восточная», определен нормативный коэффициент устойчивости внешних откосов дамбы на основе натурных наблюдений в соответствии с нормативными требованиями и климатическими условиями консервации хвостохранилища в Центральном Казахстане, физико-механическими характеристиками грунтов дамбы и пород основания.

Выполнена оценка фактического состояния сооружения, получена модель депрессионной кривой в ситуации выпадения осадков, обосновано принятие решения о нецелесообразности наращивания дамбы для дальнейшей эксплуатации хвостохранилища, которое может привести к «сползанию» (потере устойчивости) дамбы с возможной экологической катастрофой.

Установлен перечень комплексных мероприятий, включающий наблюдения за состоянием сооружения, по консервации хвостохранилища с последующей его ликвидацией и рекультивацией.

Список литературы

1. Кириченко Ю.В., Зайцев М.П., Кравченко А.Н. Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. № 7. С. 116-126.
2. Мониторинг состояния дамбы хвостохранилища намывного типа / О.Г. Бисембаева, Е.Н. Хмырова, А.В. Логинов и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. № 1. Т. 1.
3. Калашник А.И., Калашник Н.А. Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия // Вестник Кольского научного центра Российской академии наук. 2013. № 1. С. 27-30.
4. Geotechnical modeling and numerical analysis of the tailing dam stability in the permafrost region / A.B. Lolaev, M.N. Sumin, E.Kh. Oganessian et al. / Proceedings of the 2-nd International Conference «Geotechnics for Sustainable Development». Hanoi, VIETNAM, 2013.

Original Paper

UDC 624.131.3:626-3 © S.O. Ryzhkov, V.S. Portnov, N.Kh. Huangan, M.A. Rakhimov, E.N. Khmyrova, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 12, pp. 57-62
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-57-62>

Title

RESEARCH INTO STABILITY OF TAILINGS STORAGE AT VOSTOCHNAYA COAL PROCESSING PLANT (CENTRAL KAZAKHSTAN) TO ASSESS ITS SAFE CONSERVATION AND ABANDONMENT

Author

Ryzhkov S.O.¹, Portnov V.S.¹, Huangan N.Kh.¹, Rakhimov M.A.¹, Khmyrova E.N.¹
¹Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan

Authors Information

Ryzhkov S.O., Ph.D. Student, Department of Geology and Exploration of Mineral Resources, e-mail: ice2@inbox.ru

Portnov V.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Geology and Exploration of Mineral Resources

Huangan N.Kh., Ph.D., Vice Rector for Research

Rakhimov M.A., PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Construction Materials and Technologies

Khmyrova E.N., PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy

Abstract

The investigation aimed at studying engineering and geological conditions of soils in the foundation and the body of a tailings dam with further calculation of the dam stability parameters to select measures aimed at assessing the possibility of operation of the tailings dam with its subsequent conservation (abandonment) when the calculated values are reached. Recommendations and measures have been developed for decommissioning and conservation of the tailings storage with its subsequent abandonment while ensuring industrial and environmental safety. A calculation methodology for engineering and construction works aimed at ensuring stability of the exterior slopes of the dam has been justified with account of physical and mechanical properties of foundation soils and rocks, weather and climatic conditions, and the modeling results.

Keywords

Dam stability, Tailings, Slopes, Soils, Conservation, Abandonment, Tailings Dam, Calculation methodology, Modeling.

GEOLOGY

References

1. Kirichenko Yu.V., Zaitsev M.P. & Kravchenko A.N. Specific engineering and geological features of tailing dumps formation. *Gornyj informacionno-analiticheskiy bülleten'*, 2006, (7), pp. 116-126. (In Russ.).
2. Bisembaeva O.G., Khmyrova E.N., Loginov A.V. et al. Condition monitoring of a hydraulically filled tailings dam. *Interèkspo GEO-Sibir'*, 2017, (1), Vol. 1,
3. Kalashnik A.I. & Kalashnik N.A. Investigations of the enclosing hydraulic engineering embankment as a prototype of a tailings dam for a mining and processing facility. *Vestnik Kol'skogo naučnogo centra RAN*, 2013, (1), pp. 27-30. (In Russ.).
4. Lolaev A.B., Sumin M.N., Oganessian E.Kh. et al. Geotechnical modeling and numerical analysis of the tailing dam stability in the permafrost region / Proceedings of the 2-nd International Conference «Geotechnics for Sustainable Development». Hanoi, VIETNAM, 2013.

For citation

Ryzhkov S.O., Portnov V.S., Huangan N.Kh., Rakhimov M.A. & Khmyrova E.N. Research into stability of tailings storage at Vostochnaya coal processing plant (Central Kazakhstan) to assess its safe conservation and abandonment. *Ugol'*, 2021, (12), pp. 57-62. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2021-12-57-62](http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-57-62).

Paper info

Received October 10, 2021

Reviewed October 18, 2021

Accepted November 18, 2021