

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТОВОГО ДРЕНАЖА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ТЕЛЕ ОТВАЛА

З.Г. Пименов¹, С.П. Бахаева¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия, e-mail: Zaxar-Pimenov@yandex.ru

Аннотация: В условиях мелкосопчатого рельефа большую часть внешних отвалов размещают в логах и долинах рек, русло которых отведено, но за счет стока атмосферных осадков со склонов сопок к долине бывшей реки, ввиду заиливания или сложения русла глинистыми грунтами, формируется техногенный водоносный горизонт. Вследствие насыщения основания внешнего отвала водой происходят подошвенные и подподошвенные оползни, приводящие к перемещению колоссальных объемов горной массы [1], что наносит экономический и экологический ущерб окружающей среде [2]. Представлена методика прогноза устойчивости приоткосной части обводненного отвала под действием активных сдвигающих сил и реактивных сил сопротивления сдвигу. Приведен алгоритм прогноза уровня техногенного водоносного горизонта в теле отвала и расчет конструкции и параметров комплекса дренажных сооружений (пластовый дренаж – дренажный банкет – дренажная траншея), обеспечивающего разгрузку техногенного водоносного горизонта. Рассмотрено решение вопроса по снижению обводнения отвальной массы за счет устройства в основании внешнего отвала пластового дренажа из скальной неразмокаемой породы. Показано влияние применения дренажных мероприятий на основной критерий риска развития деформаций и нарушения устойчивости отвала – расчетный коэффициент устойчивости. За счет формирования в основании внешнего отвала пластового дренажа коэффициент устойчивости горнотехнического сооружения увеличивается в зависимости от высоты отвала, угла наклона основания и характеристик сопротивления сдвигу грунтов основания в диапазоне от 10 до 18%.

Ключевые слова: обводнение отвальной массы, пластовый дренаж, устойчивость отвала, критерий риска развития деформаций, открытые горные работы, техногенный водоносный горизонт, осушение отвального массива, отвал вскрышной породы.

Для цитирования: Пименов З. Г., Бахаева С. П. Применение пластового дренажа для предотвращения аккумулирования атмосферных осадков в теле отвала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 10. – С. 43-55. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_10_0_43.

Strata drainage to prevent accumulation of atmospheric precipitations in rock dumps

Z.G. Pimenov¹, S.P. Bakhaeva¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia,
e-mail: Zaxar-Pimenov@yandex.ru

Abstract: In the areas of low bald mountains, external dumps are mostly located in small ravines and in valleys of deflected streams. Rainfalls flow from the shoulders of the mountains into the former river valleys, which, in combination with silting of the river bed composed of clayey rocks, result in formation of manmade aquifers. As a consequence of saturation of external dump bottom with water, landslides take place in the bottom and under it. Landsliding displaces colossal volumes of rocks [1], which inflicts ecological and economic damage [2]. The article presents a procedure of slope stability prediction in watered dumps under the action of active shearing forces and reactive shear resistance. The algorithm of the manmade aquifer level prediction in the body of a dump is described, and the structure and parameters of a drainage facility (strata drainage–drainage bank–drain trench) to ensure the aquifer unloading are calculated. The issue of dewatering of an external dump by strata drainage made of strong non-soaking rocks in the dump bottom is discussed. The drainage effect on the main criterion of dump instability and deformation risk-theoretical stability factor—is illustrated. Owing to the strata drainage in the dump bottom, the stability factor of the geotechnical facility grows by 10 to 18% subject to the dump height, bottom slope and shear resistance of the bottom rocks.

Key words: dump watering, strata drainage, dump stability, deformation risk factor, open pit mining, manmade aquifer, dump drainage, overburden dump.

For citation: Pimenov Z. G., Bakhaeva S. P. Strata drainage to prevent accumulation of atmospheric precipitations in rock dumps. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(10):43-55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_10_0_43.

Введение

В условиях полого холмистого рельефа местности, слаженного эрозионно-денудационными процессами и расчлененного в краевых частях оврагами и долинами рек, под площадки размещения отвалов вскрышных пород выделяют долины рек и ручьев, предварительно отведенных за пределы земельного отвода горного предприятия. Основание отвала в этом случае наклонное, представленное аллювиальными глинистыми грунтами, образует водоупорный слой пород, предотвращающий инфильтрацию атмосферных осадков. За счет стока атмосферных осадков со склонов сопок к старому руслу реки в теле отвала формируется техногенный водоносный горизонт. Поскольку в геологическом разрезе большинства месторождений верхний литологический слой представлен чехлом четвертичных отложений, нижний ярус отвала зачастую отсыпается

породами этого геохронологического периода. Скопление воды в теле отвала повышает риск развития деформаций, приводящих к аварийному состоянию горнотехнических сооружений, ставя под угрозу безопасность предприятия [3]. В этой связи возникает необходимость в обязательной инженерной подготовке основания отвалов, обеспечивающей беспрепятственный сток воды на контакте отвального массива с основанием и увеличивающей сопротивление грунтов основания сдвигу.

Введение международных санкций, связанных с событиями на Украине, повлияло на финансовое положение угледобывающих предприятий. В марте 2022 г., после введения пятого пакета санкций, экспорт российского угля сократился почти в два раза. В связи с этим предприятия по добыче угля вынуждены были перенастроить логистические цепочки и схемы поставки угля

азиатским контрагентам. Однако цены на грузоперевозки значительно повысились для регионов Сибирского федерального округа. В частности, для предприятий Кузбасса тариф на поставки угля возрос на 60% [4]. Таким образом, в настоящее время снижение себестоимости добычи каменного угля является приоритетной задачей угледобывающих компаний.

Один из способов снижения себестоимости – увеличение вместимости отвалов вскрышной породы за счет увеличения высоты на единице площади земельного участка, отведенного под отвал. В условиях обводнения отвальной массы величина допустимой высоты отвала значительно ниже по сравнению с дренированным отвалом, сложенным из тех же пород [5].

Методика прогноза устойчивости откоса внешнего отвала

Критерием риска нарушения устойчивости и развития деформаций отвала является расчетный коэффициент ус-

тойчивости по наиболее напряженной поверхности скольжения [6], функционал которого имеет вид

$$n = \frac{1}{\Delta l} \times \int_{l_1}^{l_2} \left[\frac{2Cl + \operatorname{tg} \varphi \sigma_n}{\tau} \right], \quad (1)$$

где Δl – приращение аргумента функции на рассматриваемом интервале, м; C, φ – соответственно сцепление, МПа, и угол внутреннего трения пород, градус, по поверхности скольжения $L, l \in L$; l – координата вдоль поверхности скольжения, м; σ_n и τ – нормальные и касательные компоненты напряжений вдоль поверхности скольжения, МПа.

Напряженно-деформируемое состояние обводненного отвала по наиболее напряженной поверхности скольжения обусловлено воздействием сверху гравитационных сил вскрышных пород, снизу гидростатическим давлением, вызванным низкой проницаемостью глинистых грунтов основания [7].

Схема воздействия активных и реактивных сил к расчету критерия риска развития деформаций отвала по потен-



Рис. 1. Схема к расчету устойчивости обводненного откоса

Fig. 1. Scheme for stability analysis of a watered slope

циальной поверхности скольжения приведена на рис. 1.

Устойчивость отвалов обеспечивается при условии преимущества реактивных сил сопротивления перед активными сдвигающими силами, действующими по наиболее напряженной поверхности скольжения в отвальном массиве [8]. Оценку устойчивости и определение максимальных параметров отвалов производят расчетами по методам и схемам, учитывающим инженерно-геологические условия основания отвала и напряженное состояние отвального массива [9].

Основными факторами, определяющими устойчивость отвала, являются характеристики сопротивления сдвигу пород основания и отвального массива, диапазон изменения которых обуславливается их структурой и вещественным составом, а также уровнем техногенного водоносного горизонта [10].

Наиболее неблагоприятные условия создаются при формировании отвалов в тальвеге лога, долине старого русла реки и на заболоченной территории, где аккумулируются воды атмосферных осадков, образующие техногенные напорные и безнапорные водоносные горизонты в теле отвального массива [11], а также приводящие к размягчению коренных пород и набуханию глинистых. Послед-

ние при полном водонасыщении способны переходить в текучее состояние [12].

Методика прогноза уровня техногенного водоносного горизонта

Инфильтрационное питание отвальной массы вызывает формирование техногенного водоносного горизонта на первом водоупоре от дневной поверхности (рис. 2). При этом процесс накопления воды на водоупоре сопровождается формированием купола грунтовых вод, максимальной высотой на оси полосообразного источника (или в центре, если его форма близка к окружной). Растекание купола происходит от оси (или центра) площадки расположения отвала на водоупоре, что замедляет процесс увеличения уровня техногенного водоносного горизонта. Поэтому в условиях ограничения площади растекания воды формирование верховодки происходит быстрее.

Наибольший ожидаемый подъем уровня воды h_{\max} в теле отвала для определения положения депрессионной кривой и учета сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления вычисляется по следующей формуле:

$$h_{\max} = \sqrt{\frac{\omega}{k}} \times I(t), \quad (2)$$

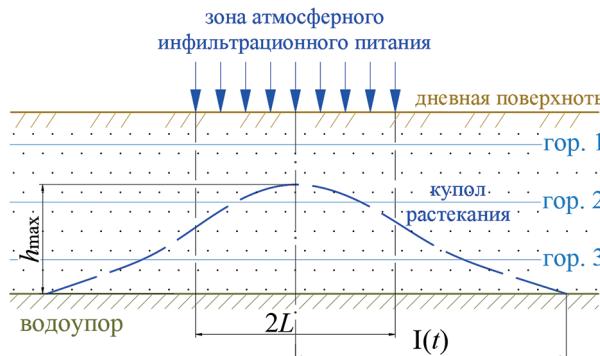


Рис. 2. Схема формирования техногенного водоносного горизонта на региональном водоупоре
Fig. 2. Scheme of the formation of technogenic aquifer at regional water barrier

$$I(t) = L \times \left[1 + \left(\frac{2\sqrt{\omega k} \times t}{nL} \right)^{2/3} \right]^{0.5}, \quad (3)$$

где $I(t)$ – ширина купола растекания, м; ω – интенсивность инфильтрации, м/сут; k – коэффициент фильтрации, м/сут; L – половина длины зоны инфильтрационного питания, м; t – время формирования верховодки, сут; n – коэффициент инфильтрации ($0,2 \div 0,4$).

Методика расчета параметров пластового дренажа

С целью снижения уровня техногенного водоносного горизонта в теле отвала, формируемого на глинистом основании, являющемся водоупором, в основании первого яруса отсыпается слой скальной неразмокаемой породы – пластовый дренаж (рис. 3). Высота слоя скальной породы принимается из расчета водопропускной способности, но не меньше ожидаемого уровня техногенного водоносного горизонта.

При расчете параметров пластового дренажа необходимо соблюдать условие обеспечения его водопропускной способности:

$$Q_l \geq Q, \quad (4)$$

где Q_l – водопропускная способность пластового дренажа, $\text{м}^3/\text{сут}$; Q – вероятный приток воды, $\text{м}^3/\text{сут}$.

С учетом отведения реки в новое русло, вероятный водоприток по старому руслу составит:

$$Q = S_r v - Q', \quad (5)$$



Рис. 3. Схема пластового дренажа в основании отвала
Fig. 3. Scheme of the drainage layer at the base of the dump

где S_r и v – соответственно средняя площадь в поперечном сечении, м^2 и скорость течения реки, $\text{м}/\text{сут.}$; Q' – расход воды в реке, измеренный на границе ее входа в зону водосборной площади, $\text{м}^3/\text{сут.}$

Площадь поперечного сечения пластового дренажа определяется из выражения:

$$S_l = \frac{Q_l}{k_l}, \quad (6)$$

где k_l – коэффициент фильтрации пород, слагающих пластовый дренаж, $\text{м}/\text{сут.}$

Исходя из вышеизложенного, минимальная площадь поперечного сечения пластового дренажа должна удовлетворять следующему условию:

$$S_l = \frac{Q}{k_l}. \quad (7)$$

Поскольку ширина площадки под отвал не подлежит изменению, площадь поперечного сечения пластового дренажа регулируется его высотой, минимальное значение которой определяется из выражения

$$H_l \geq \frac{b - \sqrt{b^2 - 4S_l \operatorname{ctg}\alpha}}{2 \operatorname{ctg}\alpha}, \quad (8)$$

где b , S_l , α – соответственно средняя ширина основания, м, минимальное значение площади поперечного сечения, м^2 , и угол естественного откоса скальной неразмокаемой породы, градус, используемой для пластового дренажа.

Выражение (8) получено путем преобразований системы математических уравнений (9):

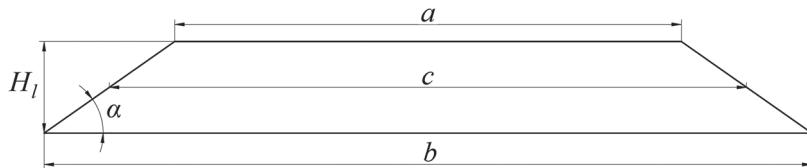


Рис. 4. Схема к определению минимальной высоты пластового дренажа

Fig. 4. Scheme for determining the minimum height of the drainage layer

$$\begin{cases} 1) S_l = cH_l; \\ 2) S_l = \frac{a+b}{2}H_l; \\ 3) H_l \leq 0,5b \operatorname{tg} \alpha, \end{cases} \quad (9)$$

где S_l — минимальное значение площади поперечного сечения пластового дренажа, м^2 ; a, b, c — размеры в поперечном сечении, м; α — угол откоса пластового дренажа, градус (рис. 4).

Для эффективной работы по отведению воды из основания отвала пластовый дренаж заканчивается дренажным банкетом, роль которого может выполнять предотвал из неразмокаемых скальных пород (рис. 5).

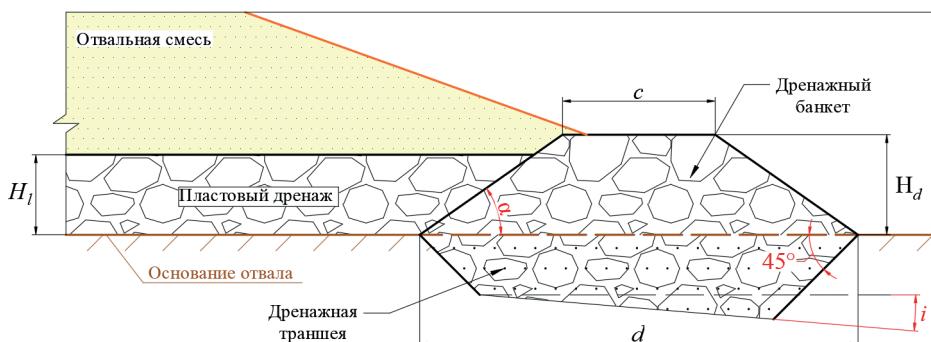
Сооружение дренажного банкета позволяет понизить уровень подземных вод при выходе из пластового дренажа. Его геометрические параметры обуславливаются конечными размерами пластового

дренажа: высота на 10–15% больше высоты пластового дренажа, а ширина основания равна удвоенной ширине вала выпирания, размеры которого зависят от мощности слоя слабых пород в основании отвала.

Практика применения пластового дренажа

Эффективность работы пластового дренажа рассмотрим на реальном примере. В условиях мелкосопочного рельефа большую часть внешних отвалов приходится размещать в логах и долинах рек (рис. 6), русло которых отведено, но за счет стока атмосферных осадков со склонов к бывшей долине реки, сложенной аллювиальными суглинками текучепластичной консистенции, формируется техногенный водоносный горизонт [13].

Величина суточного водопритока определяется по величине водосборной



Параметры дренажного банкета и траншеи: c — ширина верхней площадки; d — ширина основания; H_d — высота; α — угол естественного откоса насыпи скальных пород; i — уклон основания траншеи в направлении водосборника

Рис. 5. Схема поперечного сечения дренажного банкета, совмещенного с дренажной траншееей

Fig. 5. Cross-sectional scheme water-reducing dump combined with a drainage trench



Рис. 6. Основание внешнего отвала

Fig. 6. The base of the external dump

Таблица 1

Исходные данные к расчету подъема уровня грунтовых вод в теле отвала

Initial data for calculation of the rise of groundwater level in the body of external dump

Параметр	Обозначение	Величина
Площадь участка водосбора, тыс. м ²	$S_{в.сб.}$	970,9
Количество атмосферных осадков на 1 м ² , мм/сут	m	3
Объем водопритока к старому руслу реки, м ³ /сут	Q	2912,7
Интенсивность инфильтрации, м/сут	ω	0,0005
Коэффициент фильтрации отвальной смеси, м/сут	k	1,88
Половина протяженности рассматриваемой зоны подтопления, м	L	250
Коэффициент инфильтрации	n	0,3

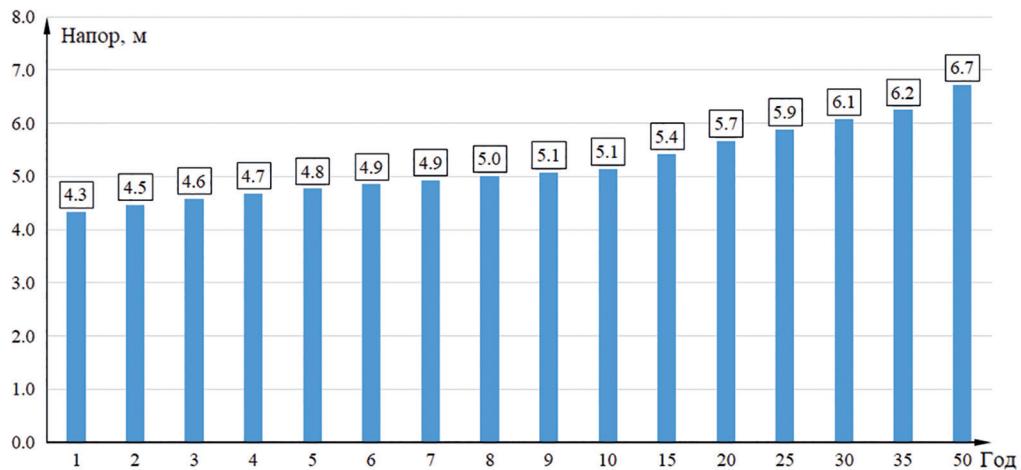


Рис. 7. Прогноз напора грунтовых вод в теле отвала по годам эксплуатации

Fig. 7. Forecast of technogenic groundwater level in the body of the external dump

Таблица 2

Физико-механические характеристики отвальных пород и контактов

Physical and mechanical characteristics of the dump mass and weak surfaces

Наименование пород (контактов)	Характеристики пород		
	γ , т/м ³	C , т/м ²	ϕ , град
Отвальная масса	1,81	0,78	32,1
Породы основания отвала в долине реки	1,88	1,80	14,0
Скальная неразмокаемая порода (для формирования пластового дренажа)	1,78	0,50	35,0
Контакт отвальной смеси с породами основания, слагающими долину реки	—	0,90	9,0
Контакт отвальной смеси с породами пластового дренажа	—	0,25	20,0

Условные сокращения: γ – объемный вес, т/м³; C – сцепление, т/м²; ϕ – угол внутреннего трения, град.

площади и количеству осадков из выражения

$$Q = S_c m, \quad (10)$$

где S_c – площадь участка водосбора, по которому атмосферные осадки стекают к старому руслу реки (границами являются водоразделы рельефа), м²; m – количество атмосферных осадков на единицу площади, выпадающих в районе ведения горных работ, мм/сут. В примере нужно ссылаться на формулы, которые даны в методике выше.

Для оценки влияния водопритока на устойчивость внешнего отвала определяется подъем уровня воды в теле отвала (2). Исходные данные к расчету представлены в табл. 1. Прогноз техногенно-

го уровня грунтовых вод в теле отвала по годам эксплуатации приведен на гистограмме (рис. 7).

Оценка влияния уровня техногенного водоносного горизонта на устойчивость отвала производится поверочными расчетами по наиболее напряженному участку [14], который проходит вдоль долины бывшей реки (рис. 8). Для поверочных расчетов намечено пять потенциальных поверхностей скольжения: элементы из двух, четырех, шести, восьми ярусов и на полную высоту отвала.

Физико-механические характеристики пород отвальной смеси, основания и контактов «отвал – основание» приведены в табл. 2.

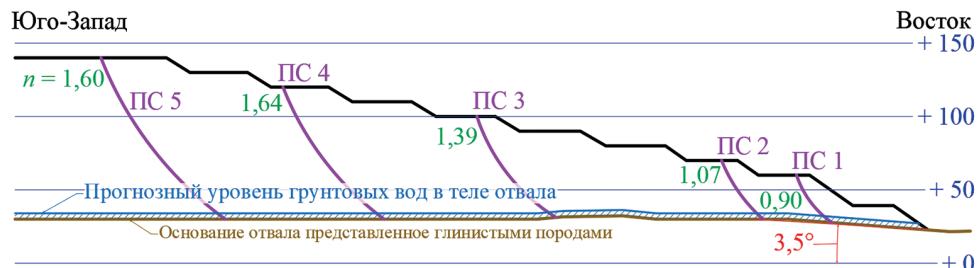


Рис. 8. Расчетное сечение внешнего отвала по долине реки с положением вероятных поверхностей скольжения и прогнозного уровня техногенного водоносного горизонта

Fig. 8. Stability analysis cross-section of the external dump along the river valley with the position of the probable sliding surfaces and the forecast level of the technogenic groundwater level

Таблица 3

Параметры пластового дренажа
Initial and calculated values of the drainage layer

Название параметра	Значение
Минимальная площадь поперечного сечения S_1 , м ²	297,2
Средняя ширина основания b , м	91,2
Коэффициент фильтрации скальной породы в разрыхленном состоянии k_{ck} , м/сут	9,8
Угол откоса α , град	35
Расчетная высота пластового дренажа $H_l = 4$ м	

В сцепление пород отвальной смеси и основания, представленных глинистыми грунтами и расположенных ниже уровня техногенного водоносного горизонта, вводится коэффициент размягчения пород.

Схема к поверочным расчетам по вероятным поверхностям скольжения приведена на рис. 8.

Для отвала песчано-глинистых и скальных (коренных) пород высотой 110 м и результирующим углом 13° , расположенного на слабом основании (слой пород мощностью больше 2 м), сопротивление сдвигу которого меньше, чем отвальной смеси, расчетное значение коэффициента устойчивости должно быть не меньше нормативного $n \geq 1,30$, согласно ФНиП «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов».

Поверочными расчетами по наиболее напряженному сечению, проходящему по старому руслу реки, расчетный ко-

эффициент устойчивости по ряду поверхностей скольжения: ПС1, ПС2 – получился меньше нормативного 1,30, по поверхности ПС1 даже меньше критического значения – 1,05. Следовательно, существует высокий риск развития деформаций – оползня нижних ярусов отвала.

С целью обеспечения устойчивости отвала рассмотрен вариант устройства пластового дренажа. Параметры, рассчитанные по формулам (7) – (9), для отвала высотой 110 м, сложенного смесью песчано-глинистых (30%) и полускальных (70%) пород, приведены в табл. 3. Фильтрационная проницаемость пластового дренажа уменьшается за счет влияния консолидации и кольматации отвальной массы [15, 16].

Результаты применения пластового дренажа

Поверочными расчетами по наиболее напряженному участку (долине бывше-

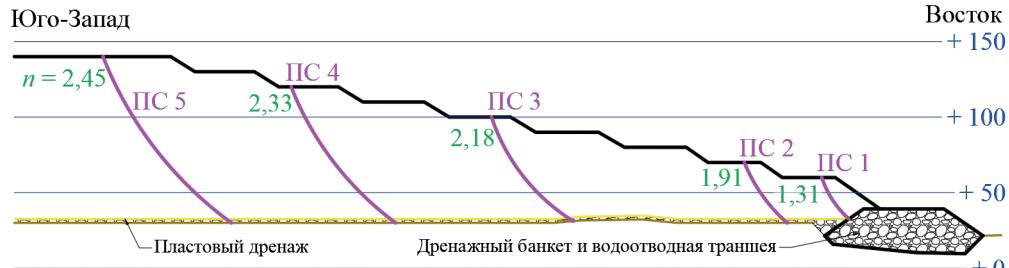


Рис. 9. Расчетное сечение отвала с устройством в основании пластового дренажа и дренажного банкета
Fig. 9. Stability analysis cross-section of the external dump in application of drainage activities

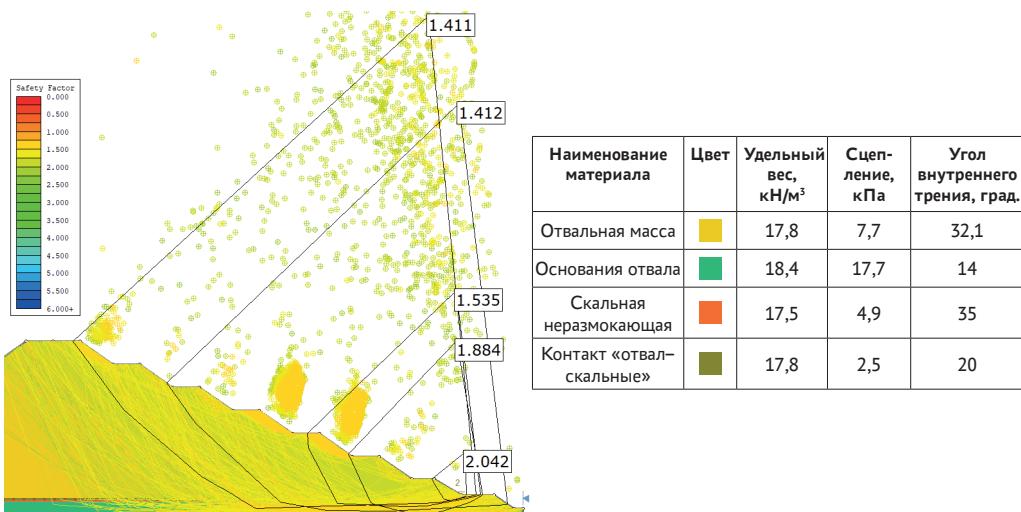


Рис. 10. Результаты расчета отвала высотой 165 м с использованием программы Slide2

Fig. 10. Stability analysis cross-section of the external dump high 165 m usage software Slide2

го русла реки) с учетом формирования пластового дренажа подтверждено увеличение расчетных коэффициентов устойчивости нижних ярусов отвала до нормативного значения и снижение вероятности возникновения деформации отвала. При этом на полную высоту отвала расчетный коэффициент устойчивости превышает нормативное значение в 1,5 раза (рис. 9). Следовательно, существует потенциальная возможность увеличения общей высоты отвала.

Геомеханическая оценка оптимальных параметров отвала, выполненная тремя методами: Spencer [17], Morgenstern-Price [18], Bishop [19], с использованием программы Slide2 [20] (рис. 10), показала, что устройство пластового дренажа в теле отвала позволяет увеличить его общую высоту со 110 м до 165 м при обеспечении нормативного коэффициента запаса устойчивости.

Вывод

Теоретическими расчетами и практическим опытом ведения отвальных работ подтверждено, что в условиях формирования отвалов из смеси песчано-глинистых пород на слабом наклонном основании снижение уровня техногенного водоносного горизонта за счет устройства пластового дренажа и дренажного банкета из скальных неразмокаемых пород позволяет значительно снизить риск нарушения устойчивости и увеличить высоту отвала в полтора раза (со 110 до 165 м).

Формирование отвалов на слабом водонасыщенном основании необходимо начинать с организации и подготовки дренажных сооружений в его основании, которые позволят значительно снизить уровень техногенного водоносного горизонта и увеличить вместимость отвала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананенко Е. В., Бахаева С. П. Геомеханическое обоснование устойчивой насыпи по тальвегу лога // Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – № 3 (107). – С. 35 – 39.

2. Миков Л. С., Счастливцев Е. Л., Андроханов В. А. Оценка эффективности рекультивации на участках разреза «Назаровский» с помощью данных дистанционного зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 1. – С. 70–83. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_70.
3. Зубов В. П., Ковальский Е. Р., Антонов С. В., Пачгин В. В. Повышение безопасности рудников при отработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 22–33. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.
4. Цивилева А. Е., Голубев С. С. Влияние санкций на работу предприятий угольной промышленности // Уголь. – 2022. – № 8. – С. 84–91. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-84-91.
5. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Васильева А. Д. Обоснование устойчивости внешних отвалов Кузбасса и мониторинг их состояния // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 109–120. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.
6. Бахаева С. П., Илюшкин В. Д., Тур К. А. Геомеханическое обоснование устойчивости отвала при совместном складировании вскрышных песчано-глинистых пород и отходов обогащения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 4. – С. 49–59. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-4-49-59.
7. Ananenko E. V., Bakhaeva S. P. The reason analysis of the overburden rock dumps deformation // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202131501001.
8. Жабко А. В. Критерии прочности горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 27–45. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_27.
9. Жабко А. В. Новая концепция оценки устойчивости откосов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10. – С. 104–124. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_104.
10. Жабко А. В., Жабко Н. М. Расчет критериев безопасности и критических значений контролируемых показателей при мониторинге безопасности намывных гидротехнических сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11-2. – С. 25–38. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_25.
11. Кутепов Ю. И., Мухина А. С. Оценка влияния гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах высоких отвалов на геоэкологические условия территорий их размещения // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 1-2(103). – С. 56–59. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.034.
12. Bakhaeva S. P., Gur'ev D. V. Stability prediction in earthfill dams with regards to spatial variability of strength properties of loamy soil // Journal of Mining Science. 2020, vol. 56, no. 1, pp. 20–28. DOI: 10.1134/S1062739120016442.
13. Семячков А. И., Почечун В. А., Семячков К. А. Гидрогеоэкологические условия техногенных подземных вод в объектах размещения отходов // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 168–179. DOI: 10.31897/RMI.2023.24.
14. Калашник Н. А. Оценка фильтрационной устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища на основе гидрогеомеханического 3D моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12-1. – С. 5–15. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_5.
15. Кутепова Н. А., Мосейкин В. В., Кондакова В. Н., Поспехов Г. Б., Страупник И. А. Особенности инженерно-геологических свойств отходов углеобогащения в связи с их складированием // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12. – С. 77–93. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_77.
16. Максимов Д. А. Кольматация пьезометров как индикатор развития фильтрационных нарушений в насыпных гидротехнических сооружениях // Горный информационно-

аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1. – С. 270 – 279. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_270.

17. Spencer E. A. Method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces // *Géotechnique*. 1967, vol. 17, pp. 11 – 26. DOI: 10.1680/geot.1967.17.1.11.

18. Morgenstern N. R., Price V. E. The analysis of the stability of general slip surfaces // *Géotechnique*. 1965, vol. 15, no. 1, pp. 79 – 93. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000987.

19. Bishop A. W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes // *Géotechnique*. 1955, vol. 10, pp. 129 – 150. DOI: 10.1680/geot.1955.5.1.7.

20. Глазунов В. В., Бурлуцкий С. Б., Шувалова Р. А., Жданов С. В. Повышение достоверности 3D-моделирования оползневого склона на основе учета данных инженерной геофизики // Записки Горного института. – 2022. – Т. 257. – С. 771 – 782. DOI: 10.31897/PMI.2022.86. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Ananenko E. V., Bahaeva S. P. Geomechanical justification of a stable levee along the thalweg of a ravine. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2020, no. 3 (107), pp. 35 – 39. [In Russ].
2. Mikov L. S., Schastlivcev E. L., Androkhhanov V. A. Reclamation efficiency assessment at Nazarovo open pit mine using remote sensing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 1, pp. 70 – 83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_70.
3. Zubov V. P., Kovalski E. R., Antonov S. V., Pachgin V. V. Improving the safety of mines in developing Verkhnekamsk potassium and magnesium salts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 5, pp. 22 – 33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.
4. Tsivileva A. E., Golubev S. S. The impact of sanctions on the work of coal industry enterprises. *Ugol'*. 2022, no. 8, pp. 84 – 91. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-84-91.
5. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Vasil'eva A. D. External dump stability substantiation and monitoring in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 4, pp. 109 – 120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.
6. Bakhaeva S. P., Ilyushkin V. D., Tur K. A. Geomechanical substantiation of the dump stability during joint storage of overburden sandy-clayey rocks and beneficiation waste. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020, no. 4, pp. 49 – 59. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-4-49-59.
7. Ananenko E. V., Bakhaeva S. P. The reason analysis of the overburden rock dumps deformation. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 315, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202131501001.
8. Zhabko A. V. Rock failure criteria. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11-1, pp. 27 – 45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_27.
9. Zhabko A. V. A new concept of slope stability design. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 10, pp. 104 – 124. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_104.
10. Zhabko A. V., Zhabko N. M. Calculation of safety criteria and critical values of controlled indicators during safety monitoring filling hydrotechnical structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 11-2, pp. 25 – 38. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_25.
11. Kutepov Yu. I., Mukhina A. S. An assessment of the influence of hydro-geomechanical processes in anthropogenic masses of high stockpiles on the geoecological conditions. *International Research Journal*. 2021, no. 1-2(103), pp. 56 – 59. [In Russ]. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.034.
12. Bakhaeva S. P., Gur'ev D. V. Stability prediction in earthfill dams with regards to spatial variability of strength properties of loamy soil. *Journal of Mining Science*. 2020, vol. 56, no. 1, pp. 20 – 28. DOI: 10.1134/S1062739120016442.
13. Semyachkov A. I., Pochechun V. A. Hydrogeoecological conditions of technogenic groundwater in waste disposal sites. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260. pp. 168 – 179. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.24.

14. Kalashnik N. A. Assessment of filtration stability of tailings dam on the basis of hydrogeomechanical 3D modeling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 12-1, pp. 5–15. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_5.
15. Kutepova N. A., Moseykin V. V., Kondakova V. N., Pospehov G. B., Straupnik I. A. Specificity of properties of coal processing waste regarding their storage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, vol. 12, pp. 77–93. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_77.
16. Maksimov D. A. Clogging of piezometer filters as indicator of impaired permeability of rock-fill embankments. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-1, pp. 270–279. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_270.
17. Spencer E. A. Method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. *Géotechnique*. 1967, vol. 17, pp. 11–26. DOI: 10.1680/geot.1967.17.1.11.
18. Morgenstern N. R., Price V. E. The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*. 1965, vol. 15, no. 1, pp. 79–93. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000987.
19. Bishop A. W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*. 1955, vol. 10, pp. 129–150. DOI: 10.1680/geot.1955.5.1.7.
20. Glazunov V. V., Burlutsky S. B., Shuvalova R. A., Zhdanov S. V. Improving the reliability of 3D modelling of a landslide slope based on engineering geophysics data. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 257, pp. 771–782. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пименов Захар Геннадьевич¹ – младший научный сотрудник,
e-mail: Zaxar-Pimenov@yandex.ru,

Бахаева Светлана Петровна¹ – д-р техн. наук,
профессор, зав. лабораторией,
e-mail: bsp.mdg@kuzstu.ru,

¹ Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева.

Для контактов: Пименов З.Г., e-mail: Zaxar-Pimenov@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Z.G. Pimenov¹, Junior Researcher,
e-mail: Zaxar-Pimenov@yandex.ru

S.P. Bakhaeva¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: bsp.mdg@kuzstu.ru,

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Kemerovo, Russia.

Corresponding author: Z.G. Pimenov, e-mail: Zaxar-Pimenov@yandex.ru.

Получена редакцией 01.02.2023; получена после рецензии 20.06.2023; принята к печати 10.09.2023.
Received by the editors 01.02.2023; received after the review 20.06.2023; accepted for printing 10.09.2023.

