расчеты удерживающих сооружений.

УДК 622.2

DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-32-42

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА КОТЛОВАНА ПОД ПРОМЫШЛЕННУЮ ПЛОЩАДКУ ШАХТЫ

С.П. Бахаева¹, Д.В. Гурьев²

¹ АО «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела — Межотраслевой научный центр ВНИМИ», Сибирский филиал, Прокопьевск, Россия ² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия, e-mail: gurevdv@gmail.com

Аннотация: Описано проявление долговременных деформаций (с 2018 г.) участка борта котлована, вырытого под промышленную площадку шахты. Для оценки фактического состояния борта котлована произведен отбор проб глинистых пород с поверхности искусственных обнажений. Приведены результаты лабораторных изысканий физико-механических характеристик глинистых грунтов, слагающих борт котлована. На основании лабораторных исследований грунтов, изучения графической документации и проведенного натурного обследования участка деформаций рассмотрено влияние естественного и техногенного рельефа на состояние глинистых пород. Произведена оценка причин деформаций борта котлована. Определено сопротивление сдвигу по контактам слоев методом обратных расчетов. Представлены результаты расчета рекомендуемых по условию устойчивости параметров борта и уступов котлована под промышленную площадку шахты. Разработаны мероприятия по удержанию борта котлована в устойчивом состоянии в условиях малой ширины берм между уступами. Приведены примеры расчета сооружений, удерживающих борт глинистых пород в равновесии: упорная призма и сооружение из габионных сетчатых изделий (габионов). Исходя из расчетов обоснована эффективность использования габионов, позволяющих уменьшить ширину площадки под размещение удерживающих сооружений для предотвращения деформаций откосов глинистых пород. Ключевые слова: глинистые породы, борт котлована, уступы, устойчивость, деформация,

Для цитирования: Бахаева С. П., Гурьев Д. В. Оценка устойчивости борта котлована под промышленную площадку шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 32–42. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-32-42.

Slope stability analysis of pit wall meant for mine infrastructure site

S.P. Bakhaeva¹, D.V. Gur'ev²

Abstract: Long-term deformation monitoring (since 2018) of a pit wall area meant for accommodation of a mine infrastructure site is reported. The actual condition of the pit wall is assessed, and clay rocks are sampled in exposures. The lab-scale studies into physical and mechanical properties of clay composing the pit wall are described. Based on the laboratory tests, review of graphic documentation and in-situ observations of the deformation area, the influence

of the natural and manmade geometry on the state of clay rocks is analyzed. The causes of the pit wall deformations are evaluated. The shear resistance at bedding interfaces is estimated using the back-calculation. The calculated pit wall parameters based on the slope stability criterion are recommended for the mine infrastructure site. The pit wall stability maintenance activities are developed for small width berms of benches. Designs of structures to maintain the clay rock pit wall stability are presented: a retaining wall and a gabion wire mesh. Based on the calculations, efficiency of gabions is justified as they allow decreasing the width of an area for a retaining structure to prevent deformations of clay rock slope.

Key words: clay rocks, pit wall, benches, stability, deformation, retaining structure designs. *For citation:* Bakhaeva S. P., Gur'ev D. V. Slope stability analysis of pit wall meant for mine infrastructure site. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):32-42. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-32-42.

Введение

С целью максимального извлечения запасов угля в последнее время в Кузбассе активно развивается комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых. Для снижения степени риска аварий при отработке запасов последовательно или одновременно в одной вертикальной плоскости возникает необходимость решения ряда геомеханических задач.

Вариант последовательной отработки открыто-подземным способом осложнен тем, что откосы погашенной открытой горной выработки длительноевремя находятся без обновления. Верхняя часть борта сложена слабыми глинистыми породами, мощность которых в центральной части Кузбасса может достигать 60 м. Основными свойствами этих пород является склонность к пластическим деформациям. Под воздействием атмосферных осадков или фильтрации воды из водных объектов глинистые породы размокают до текучего состояния и полностью теряют несущую способность [1-6].

В работе [7] по экспериментальных данным установлена регрессионная зависимость уменьшения прочностных характеристик грунта от увеличения его естественной влажности.

При оттаивании мерзлые глинистые грунты могут переходить в текучую консистенцию [8].

Для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений промплощадки шахты и устьев наклонных стволов, располагаемых в котловане открытой горной выработки, сложенной глинистыми грунтами, возникает необходимость возвращаться к вопросу обеспечения устойчивости бортов погашенных горных выработок карьера.

Объект исследований

Борт котлована, сложенный глинистыми породами.

Методы исследований

Лабораторные испытания и обратные расчеты определения физико-механических характеристик грунтов, прогноз устойчивости откосных сооружений графоаналитическими методами.

Характеристика объекта исследований

При строительстве промышленной площадки наклонного путевого ствола шахты, расположенной на дне котлована открытой горной выработки (рис. 1), в прибортовой зоне погашенного карьера весной 2018 г. в период обильно-

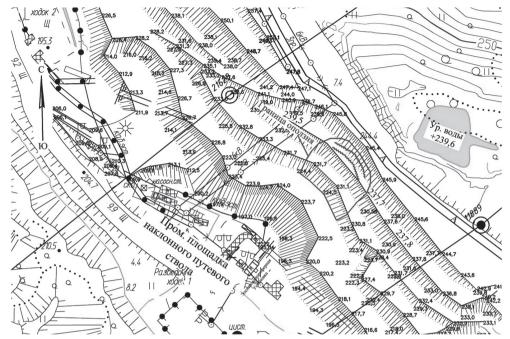


Рис. 1. Совмещенный план открытой горной выработки и промышленной площадки шахты Fig. 1. Combination layout of open pit mine and its industrial infrastructure site

го таяния снегов на локальном участке (протяженностью около 200 м) были обнаружены деформации в виде оползня глинистых пород, смещающегося в сторону промплощадки.

Основными причинами деформаций явились:

- недостаточная изученность состояния грунтового массива, слагающего борт котлована, в расчеты закладывались физико-механические характеристики грунтов, полученные на этапе геологоразведки;
- в прибортовой зоне карьера отсыпана насыпь под технологическую автодорогу, перекрывшая лог, в результате образовалась котловина, в которой аккумулировались атмосферные осадки с прилегающей водосборной площади;
- в проектной документации по строительству промплощадки не выполнялись гидрологичекие расчеты, и в этой связи не было предусмотрено строительство водоотводных сооружений.

На основании анализа исходной информации и выполненных геотехнических расчетов в 2018 г. были разработаны рекомендации по приведению борта котлована в устойчивое положение, заключающиеся в его выполаживании и организации стока атмосферных осадков. Однако реализации указанных мер оказалось недостаточно — осенью 2018 г. на изучаемом участке вновь произошли деформации.

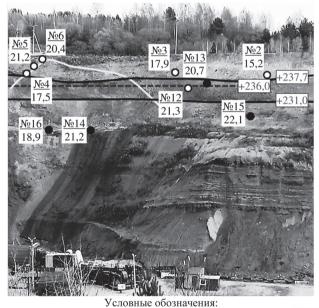
По результатам повторного визуального обследования были зафиксированы трещины, оконтуривающие призму активного давления. На первом (от поверхности) уступе выявлены три ряда трещин, говорящие о цикличности развития оползневого процесса. Ширина раскрытия трещин от 0,1 до 0,5 м, видимая глубина — более 1 м. Осенние деформационные явления по масштабу были значительно меньше весенних, вместе с тем указывали на то, что причина этих явлений не была устранена.

При натурном обследовании прилегающей территории установлено, что насыпью под технологическую автодорогу была перекрыта часть лога. Между склоном естественного рельефа и насыпью под автодорогу образовалась котловина. Отметка дна котловины (236,0 м) соответствовала отметке откоса второго уступа (отметка верхней бровки — 237,5 м; нижней — 232,0 м) борта котлована под промплощадку наклонных стволов. По результатам обследования высказана гипотеза — причиной оползневых явлений являются дождевые и талые воды, которые весной и осенью аккумулировались в котловине. Разгрузка воды происходила в сторону котлована под промплощадку, что способствовало насыщению водой глинистых пород борта и вызывало оползневые деформации. С целью подтверждения этой гипотезы СФ АО ВНИМИ проведены лабораторные испытания физико-механических свойств грунтов, отобранных с обнажений борта (рис. 2).

Результаты лабораторных испытаний грунтов с ненарушенной и нарушенной структурой показали, что борт котлована сложен суглинками:

- от тугопластичной до твердой консистенции, в основном, полутвердой;
- нормативные показатели естественной влажности 19,5%, коэффициента водонасыщения 0,65, коэффициент пористости 0,83;
- при длительном насыщении исследуемых грунтов водой их влажность увеличивается в 1,2-1,8 раза, при этом снижаются сцепление в 1,6-5,0 раз и угол внутреннего трения в 1,3-2,4 раза.

Проведенные исследования по изучению физико-механических характеристик грунтов показали, что в естественном состоянии суглинки имеют достаточно



Проба грунта с ненарушенной (**○**) и нарушенной (**○**) структурой; ——+237,7 верхняя бровка откоса и ее отметка (м);——+236,0 — проекция на откос уровня дна котловины, м

Рис. 2. Схема расположения проб грунта по борту котлована (в «числителе» — номер пробы; в «знаменателе» — естественная влажность, %)

Fig. 2. Physical layout of sample points on pit wall (numerator — sample number, denominator — natural moisture content, %)

высокие прочностные характеристики, но при длительном водонасыщении эти характеристики значимо (в пять раз!) снижаются.

Распределение естественной влажности суглинка (см. рис. 2) показывает, что пробы (12-15), отобранные вблизи участка деформаций и ниже уровня дна котловины, имеют влажность от 21 до 22%; пробы, расположенные выше дна и за пределами участка — около 15%. Это объясняется тем, что происходит разгрузка подземных и поверхностных вод, которые аккумулируются в котловине, в нижних горизонтах борта котлована, за счет чего происходит длительное водонасыщение глинистых отложений и, соответственно, снижение характеристик прочности (сцепление и угол внутреннего трения) в 1,3-5,0 раз.

Результаты и обсуждение

Проявление деформаций на исследуемом участке показывает, что борт котлована перед началом деформации находился в состоянии предельного равновесия, следовательно его устойчивость можно охарактеризовать коэффициентом, близким к 1,0. Воспользовавшись маркшейдерской съемкой участка опол-

зания глинистых пород, определили характеристики сопротивления сдвигу глинистых грунтов по контакту с коренными породами методом обратных расчетов, который в случае произошедших деформаций дает достаточно надежные результаты [11–14].

Метод обратных расчетов основан на том, что до момента обрушения равновесие пород в откосе описывается соотношением:

$$\sum_1 T_i \ge f \sum_1 N_i + C \sum_1 l_i$$
, (1) где T_i , N_i — касательная и нормальная составляющие веса отдельного блока на единицу длины вдоль откоса, H ; f — коэффициент внутреннего трения; C — сцепление пород, Π a; l_i — длина отрезков вероятной поверхности скольжения, м.

После деформации равновесие обрушившихся масс обеспечивается только силами трения, так как в этом случае силы сцепления перестают действовать, т.е. выполняется уравнение

$$\sum_{i} T_{i} \ge f \sum_{i} N_{i} . \tag{2}$$

Из совместного решения двух уравнений определены характеристики сопротивления сдвигу по контактам слоев: угол внутреннего трения $\phi'=6^\circ$ и сцепление C'=5 кПа.

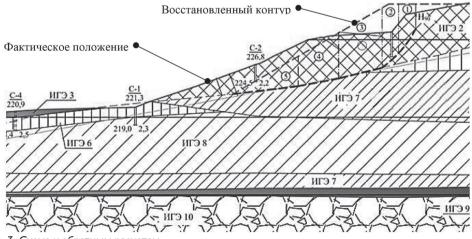


Рис. 3. Схема к обратным расчетам Fig. 3. Back-calculation flow chart

Параметры борта и уступов котлована Parameters of pit wall and benches

Высота борта	Квазиизо- тропный откос	Угол наклона $lpha$ борта (градус) при падении контакта в массив при углах eta (градус)				
(уступа), м		β = +4	β = +3	β = +2	β = +1	β = 0
1	2	3	4	5	6	7
5	45,0	28,0	27,0	25,5	24,5	23,0
10	30,5	16,5	16,0	15,0	14,0	13,5
20	_	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0
30	-	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0

Примечание: Угол наклона в колонках 3—7 приведен для борта на полную высоту и нижнего уступа, расположенного на коренных породах; второй и последующие уступы принимать как для квазиизтропного откоса (колонка 2).

Схема к обратным расчетам сопротивления сдвигу по контакту глинистых грунтов с основанием приведена на рис. 3.

Углы наклона, при которых обеспечивается длительная устойчивость борта котлована, в зависимости от его высоты и угла наклона контакта «глинистые — коренные грунты», представлены в таблице.

Из анализа параметров, приведенных в таблице, следует, что при мощности глинистых отложений от 5 до 30 м в зависимости от угла падения контакта потребуется выполнить разнос борта на расстояние от 40 до 150 м.

В непосредственной близи от верхней бровки борта котлована расположены эксплуатируемые инженерные коммуникации — технологическая автодорога, линии электропередачи, энергоэстакада, воздуховод и МТЭУ-ВНУ (модульная тепловая энергоустановка — воздухонагревательная установка). Поэтому для обеспечения устойчивости откоса котлована и сохранения инфраструктуры, расположенной в прибортовой зоне массива, возникает необходимость создания в основании откоса упорного сооружения, обеспечивающего его устойчивость с учетом дополнительной нагрузки от объектов жизнеобеспечения шахты.

Наиболее простым и универсальным способом увеличения удерживающих усилий в призме упора является формирование упорной призмы из неразмокаемых скальных пород.

Для определения предварительных параметров упорной призмы по каждому расчетному сечению определяют величину дополнительного удерживающего усилия ΔF :

ющего усилия $\Delta F_{_{yд}}$: $\Delta F_{_{yд}} = (n-n_{_{\varphi}}) \; \Sigma T_{_{CДB}}$ (3) где n- нормативный коэффициент устойчивости; $n_{_{\varphi}}-$ расчетный коэффициент устойчивости; $\Sigma T_{_{CДB}}-$ суммарные сдвигающие силы по расчетному сечению.

Высоту и результирующий угол откоса упорной призмы определяют расчетом исходя из условия обеспечения устойчивости откоса на полную высоту, а также устойчивости отдельных участков откоса, расположенных выше упорной призмы. Рекомендуемый по условию устойчивости профиль упорной призмы приведен на рис. 4.

Сооружение упорной призмы получило довольно широкое применение в практике открытых горных работ для повышения устойчивости борта либо отвала. Однако в анализируемых здесь условиях вследствие длительного стояния борта без обновления ширина бер-

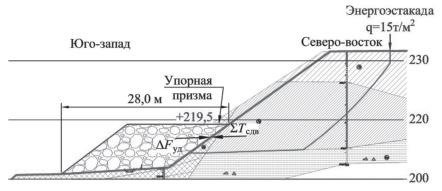


Рис. 4. Укрепление борта котлована упорной призмой из скального грунта Fig. 4. Pit wall reinforcement with retaining wall made of hard rocks

мы между уступом коренных пород, на котором необходимо расположить упорную призму, и откосом глинистых отложений всего около 10-15 м. Ширина упорной призмы для обеспечения расчетного удерживающего усилия около 28,0 м. В этой связи использование упорной призмы здесь невозможно.

В практике дорожного строительства хорошо показали себя удерживающие сооружения с применением габионов. Заполненные неразмокаемым скальным грунтом и скрепленные между собой габионные сетчатые изделия работают как единый элемент против сдвигающих и опрокидывающих сил; создают дополнительные удерживающие усилия в призме упора, одновременно выполняя функцию дренажных сооружений [15, 16].

При проектировании удерживающего сооружения с применением габионов возникает необходимость расчета его устойчивости против сдвига по подошве (плоский сдвиг) и опрокидывания.

В общем виде условие устойчивости против сдвига по подошве (плоский сдвиг) выражается неравенством

$$\gamma_{lc} F_{sa} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma} F_{sr}$$
 (4)

 $\gamma_{lc}F_{sa} \leq rac{\gamma_c}{\gamma_n}F_{sr}$ (4) где γ_{lc} — коэффициент сочетания нагрузок; F_{sa} — сдвигающая сила, равная сумме проекций всех сдвигающих сил

на горизонтальную плоскость, H; γ_c – коэффициент условий работы; ү _ ткоэффициент надежности по ответственности сооружения; F_{cr} — удерживающая сила, равная сумме проекций всех удерживающих сил на горизонтальную плоскость, Н.

Сдвигающая сила F_{ij} определяется по формуле:

$$F_{sa} = \frac{h}{2} (p_{h1} + p_{h2}),$$
 (5)

где h — высота удерживающего сооружения, м; $p_{\rm hi}$ — горизонтальное давление грунта на глубине у, Па.

Горизонтальное давление грунта на глубине у

 $p_h = (\rho y + q)\lambda_h - 2\sqrt{\lambda_h}C$ где ρ — плотность грунта, к H/m^3 ; q равномерно распределенная нагрузка на поверхности, примыкающей к удерживающему сооружению, к Π а; C — сцепление грунта, кПа; $\lambda_{\rm h}$ — коэффициент горизонтального давления.

Удерживающая сила $F_{\rm sr}$ при расчете устойчивости против сдвига по подошве

$$F_{sr} = F_{v}f + AC + E_{hr}$$
 (7) где F_{v} — сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость, $H; f$ — коэффициент трения подошвы по грунту основания, принимаемый по результатам испытаний, но не более 0,65; A — площадь подошвы удерживающего соору-

жения, м²; С – сцепление подошвы удерживающего сооружения по грунту основания, принимаемое по результатам испытаний, но не более 5 кПа; $E_{\rm hr}$ — пассивное сопротивление грунта, Па.

Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость $F_{_{\mathrm{V}}} = P_{_{\mathrm{P}}} + E_{_{\mathrm{B}}}$

$$F_{\perp} = P^{\prime} + E_{p} \tag{8}$$

где P — вес удерживающего сооружения, $H; E_{_{\rm B}}$ — вертикальное давление грунта, Па.

Вертикальное давление грунта

$$E_{B} = \frac{h}{2} (p_{h1} + p_{h2}) tg(\varepsilon + \delta), \qquad (9)$$

где ε — угол наклона задней грани удерживающего сооружения к вертикали, град.; δ — угол трения грунта на контакте с удерживающим сооружением, град.

Соблюдая условие устойчивости (3) удерживающего сооружения против сдвига по подошве определены его оптимальные размеры (рис. 5).

Условием устойчивости удерживающего сооружения против опрокидывания служит неравенство:

$$\gamma_{lc} M_t \le \frac{\gamma_c}{\gamma} M_r \tag{10}$$

где $M_{\rm t}$ — сумма моментов сил, стремящихся опрокинуть сооружение, Н · м; M - сумма моментов сил, стремящихся удержать сооружение, $H \cdot M$.

Моменты сил, стремящихся опрокинуть сооружение

$$M_{\rm t} = F_{\rm sa} y_0$$
 (11) где y_0 — плечо силы $F_{\rm sa}$ относительно

точки 1, м. Моменты сил, стремящихся удер-

жать сооружение

$$M_r = Px_1 + E_B x_2$$
 (12)

где x_1 , x_2 — плечи сил P и $E_{\rm B}$ относительно точки 1, м.

При расчете удерживающих сооружений из габионов необходимо также

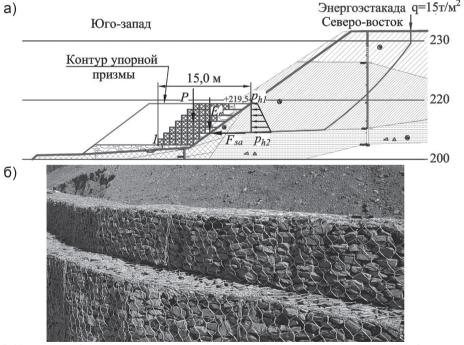


Рис. 5. Укрепление борта котлована глинистых пород габионами: расчетная схема (а); формирование упорной призмы (б)

Fig. 5. Reinforcement of clayey pit wall with gabions: (a) design; (b) retaining wall construction

выполнять расчеты устойчивости против сдвига по подошве (плоский сдвиг) и опрокидывания, соблюдая выполнения условий устойчивости (4) и (10).

Выполненные расчеты показали, что при одинаковой величине удерживающего усилия ширина площадки под размещение удерживающих сооружений из габионов может быть уменьшена в 1,9 раз по сравнению с призмой из скальных пород.

Пример укрепления откоса габионами приведен на рис. 5.

Заключение

Анализ деформации, приведенный в статье, а также анализ ряда других подобных инженерно-геологических явлений позволяет сформулировать следующие выводы:

 нение нагрузок и воздействий на грунтовый массив.

Проектирование откосных сооружений необходимо дополнять научным сопровождением в части геомеханического обоснования устойчивости бортов и уступов с учетом статических и динамических нагрузок на массив.

- 2. Основной причиной деформирования бортов котлована явилось длительное водонасыщение дисперсных глинистых грунтов за счет инфильтрации из водного источника, вследствие чего произошло снижение характеристик прочности (сцепление и угол внутреннего трения) в 1,3–5,0 раз.
- 3. Характеристики сопротивления сдвигу глинистых отложений по контакту с коренными породами с достаточной для инженерных расчетов точностью определяются обратными расчетами.
- 4. Расчетным и экспериментальным путем обоснована эффективность использования габионов, позволяющих в 1,9 раз уменьшить ширину площадки под размещение удерживающих сооружений, предназначенных для предотвращения деформаций откосов глинистых пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Гридина Е.Б., Кузнецова О.А. Анализ причин возникновения и тенденций развития оползневых явлений при ведении открытых горных работ на горнодобывающих предприятиях России // Маркшейдерия и недропользование. -2018. -№ 3. -C. 49-51.
- 2. Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Щекочихина Е.В., Кузьменко И.Ю., Тихонова Т.М. Особенности изменений состава и свойств лессовых грунтов при длительном взаимодействии с водой вследствие техногенеза (на примере междуречья Прута и Днестра) // Инженерные изыскания. 2016. № 14. С. 24 34.
- 3. Опарин В. Н., Адушкин В. В., Юшкин В. Ф., Потапов В. П. О влиянии природно-климатических и техногенных факторов на развитие механо-эрозионных и сейсмоэмиссионных процессов в окрестностях угольных разрезов Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 9. С. 72—101. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-090-72-101.
- 4. Sivakumar G. L., Mukesh M. D. Effect of soil variability on reliability of soil slopes // Geotechnique. 2004. Vol. 54. No 5. Pp. 335 337.
- 5. Cho S. E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability // Engineering Geology. 1992. Vol. 92. Pp. 97 109.
- 6. Бахаева С.П., Гурьев Д.В. Прогноз устойчивости насыпных дамб с учетом пространственной изменчивости прочностных свойств суглинистых грунтов // ФТПРИ. 2020. № 1. C. 23-33. DOI: 10.15372/FTPRPI20200103.

- 7. Prostov S., Karablin M., Gurev D. Automated stability analysis of soil slopes // E3S Web of conferences. IVth International Innovative Mining Symposium. 2019. Vol. 105. Article 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/ 201910501015.
- 8. Bakhaeva S., Chernykh E. Study of the conditions for construction of the haulage berm in the deposit ledger-wall // E3S Web of Conferences. IVth International Innovative Mining Symposium. 2019. Vol. 105. Article 01034. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501034.
- 9. Sokolov M., Karablin M. Prediction of the Geomechanical State of the Fixed Ground Basis of a Mining Building // E3S Web of Conferences. IVth International Innovative Mining Symposium. 2019. Vol. 105. Article 01034. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501036.
- 10. Polovov B., Valiev N., Volkov M., Lebzin M. Assessment practice of geomechanical risks for slopes and retaining walls // E3S Web of Conferences. XVIII Scientific Forum «Ural Mining Decade». 2020. Vol. 177. Article 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/202017701003.
- 11. Патачаков И. В., Боос И. Ю., Фуртак А. А. Определение прочностных свойств горных пород методом обратных расчетов в условиях Горевского свинцово-цинкового месторождения // Маркшейдерия и недропользование. -2018. -№ 1. C. 41-44.
- 12. Шпаков Л. Н. Метод обратных расчетов при оценке устойчивости карьерных откосов // Горный информационно-аналитический бюллетень. -1997. № 1. С. 88-92.
- 13. Zhang T. D., Tang W. H., Zhang L. M. Efficient probabilistic back-analysis of slope stability model parameters // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2010. Vol. 136. No 1. Pp. 99 109.
- 14. *Павлович А.А.* Методы определения прочностных свойств массива горных пород применительно к открытым горным работам // Записки Горного института. -2010. − № 185. -C.127-131.
- 15. Тищенко А. И., Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д., Челахов В. Ц. Расчет устойчивости подпорной стены из габионов по защите берегов Цимлянского водохранилища от разрушений // Экология и водное хозяйство. 2019. № 2(02). С. 81 99. DOI: 10.31774/2658-7890-2019-2-81-99.

REFERENCES

- 1. Gridina E. B., Kuznetsova O.A. Analysis of landslide causes and possible evolution in open pit mining in Russia. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2018, no 3, pp. 49 51. [In Russ].
- 2. Olyanskiy Yu. I., Bogomolov A. N., Shchekochikhina E. V., Kuz'menko I. Yu., Tikhonova T. M. Features of change in composition and properties of loess soil during long-term interaction with water consequent on technogenesis: A case-study of the Prut and Dniester interstream area. *Inzhenernye izyskaniya*. 2016, no 14, pp. 24–34. [In Russ].
- 3. Oparin V. N., Adushkin V. V., Yushkin V. F., Potapov V. P. Influence of natural climate and mining-induced impact on mechanical erosion and seismic noise in the areas of open pit coal mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 9, pp. 72–101. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-090-72-101.
- 4. Sivakumar G. L., Mukesh M. D. Effect of soil variability on reliability of soil slopes. *Geotechnique*. 2004. Vol. 54. No 5. Pp. 335 337.
- 5. Cho S.E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability. *Engineering Geology*. 1992. Vol. 92. Pp. 97 109.
- 6. Bakhaeva S. P., Gu'rev D. V. Filling dam stability prediction with regard to special variability of strength of loamy soil. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopaye-mykh.* 2020, no 1, pp. 23 33. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20200103.
- 7. Prostov S., Karablin M., Gurev D. Automated stability analysis of soil slopes. *E3S Web of conferences. IVth International Innovative Mining Symposium.* 2019. Vol. 105. Article 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/ 201910501015.

- 8. Bakhaeva S., Chernykh E. Study of the conditions for construction of the haulage berm in the deposit ledger-wall. *E3S Web of Conferences. IVth International Innovative Mining Symposium.* 2019. Vol. 105. Article 01034. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501034.
- 9. Sokolov M., Karablin M. Prediction of the Geomechanical State of the Fixed Ground Basis of a Mining Building. *E3S Web of Conferences. IVth International Innovative Mining Symposium.* 2019. Vol. 105. Article 01034. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501036.
- 10. Polovov B., Valiev N., Volkov M., Lebzin M. Assessment practice of geomechanical risks for slopes and retaining walls. *E3S Web of Conferences. XVIII Scientific Forum «Ural Mining Decade»*. 2020. Vol. 177. Article 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/202017701003.
- 11. Patachakov I.V., Boos I.Yu., Furtak A.A. Determination of strength characteristics of rocks by back-calculation in terms of the Gorevka lead-zinc deposit. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2018, no 1, pp. 41 44. [In Russ].
- 12. Shpakov L. N. Back-calculation in slope stability assessment in open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 1997, no 1, pp. 88 92. [In Russ].
- 13. Zhang T. D., Tang W. H., Zhang L. M. Efficient probabilistic back-analysis of slope stability model parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2010. Vol. 136. No 1. Pp. 99 109.
- 14. Pavlovich A.A. Methods of strength determination in rock mass in open pit mining. *Journal of Mining Institute*. 2010, no 185, pp. 127 131. [In Russ].
- 15. Tishchenko A. I., Senchukov G. A., Gostishchev V. D., Chelakhov V. Ts. Gabion retaining wall stability design to protect the Tsimlyansk Reservoir banks from wearing away. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*. 2019, no 2(02), pp. 81 99. [In Russ]. DOI: 10.31774/2658-7890-2019-2-81-99.
- 16. Komarov A. K., Ivanov I. A., Lundenbazar B. Gabion-based protective structures: Theory and practice. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2019, no 1 (28), pp. 78–89. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бахаева Светлана Петровна — д-р техн. наук, зав. лабораторией, AO «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела — Межотраслевой научный центр ВНИМИ», Сибирский филиал, Прокопьевск, e-mail: baxaevas@mail.ru, Гурьев Дмитрий Витальевич — канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, e-mail: gurevdv@gmail.com. Для контактов: Гурьев Д.В., e-mail: gurevdv@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.P. Bakhaeva, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, JSC «Scientific-research Institute of mining geomechanics and mine surveying — Intersectoral scientific center VNIMI», Siberian branch, 653004, Prokopyevsk, Russia, e-mail: baxaevas@mail.ru, D.V. Gur'ev, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: gurevdv@gmail.com, T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia.

Corresponding author: D.V. Gur'ev, e-mail: gurevdv@qmail.com.

Получена редакцией 20.08.2020; получена после рецензии 02.10.2020; принята к печати 10.12.2020. Received by the editors 20.08.2020; received after the review 02.10.2020; accepted for printing 10.12.2020.