




## СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-31-41>**Определение технологических параметров призмы обрушения уступов, отвалов и дорог**И. К. Чунуев<sup>1</sup>  , Ю. М. Левкин<sup>2</sup> , Ж. Болотбеков<sup>1</sup><sup>1</sup> Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У.А. Асаналиева (КГГУ), г. Бишкек, Киргизия<sup>2</sup> Союз маркшейдеров России, г. Москва, Россия lev5353@bk.ru**Аннотация**

Маркшейдерские работы при производстве горных работ имеют особое значение, так как от их качества, оперативности и достоверности зависят все технологические процессы полного жизненного цикла горного предприятия и в конечном итоге его конкурентоспособность. Организации самостоятельно определяют структуру маркшейдерских служб с учетом реализуемых технологий и масштабов добычи полезных ископаемых. Для обеспечения безопасной добычи полезного ископаемого открытым способом необходимо постоянно осуществлять оценку и контроль состояния массива горных пород уступов и бортов карьера. Недооценка физико-механических свойств горных пород, несоблюдение технологического цикла добычи и транспортировки полезных ископаемых, изменение климатических условий и другие приводят к нарушению устойчивости горных пород на всех участках карьера, в том числе на участках добычи и движения горнотранспортного оборудования. Существующая практика показывает, что эффективность расчёта устойчивости бортов и уступов карьеров достигается благодаря методике, которая должна учитывать механизм разрушения и деформации откосов, а также характер напряжённо-деформированного состояния массива пород карьера. Исследования, представленные в работе, основываются на сравнительном анализе параметров призмы обрушения уступов, отвалов и дорог на карьерах аналитическим и графическим методами с помощью компьютерных программ, а также с учетом статической нагрузки от самосвалов. Результаты исследования позволили установить, что: определение устойчивости откосов уступов и ширины призмы обрушения, выполненные аналитическим методом, дает более высокие результаты точности, чем полученные графическим методом; устойчивость откосов уступов и ширина призмы обрушения зависят не только от физико-механического состояния горных пород, но также от высоты уступа, веса автосамосвала и его груза, приходящегося на 1 п. м площадки размещения, расстояния от бровки откоса и других факторов; массив горных пород находится в спокойном состоянии, не подвержен оползневым явлениям, до тех пор, пока суммы удерживающих сил больше или равны сумме сдвигающих сил; при использовании на открытых горных работах крупногабаритного транспортного оборудования нестандартного веса необходимо производить расчеты безопасной ширины призмы обрушения с учетом нагрузок от них из расчёта на 1 п. м, величины которых могут быть в 1,5–2,0 раза выше расчетных по кругло-цилиндрической поверхности скольжения.

**Ключевые слова**


горное дело, карьер, открытые горные работы, уступ, призма обрушения, откос, отвал, самосвал, нагрузки, устойчивость

**Для цитирования**

Чунуев И. К., Левкин Ю. М., Болотбеков Ж. Определение технологических параметров призмы обрушения уступов, отвалов и дорог. *Горные науки и технологии*. 2021;6(1):31–41. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-31-41>

## MINING ROCK PROPERTIES. ROCK MECHANICS AND GEOPHYSICS

Research article

**Determination of bench, dump and road sliding wedge technological parameters**I. K. Chunuev<sup>1</sup>  , Yu. M. Levkin<sup>2</sup> , Zh. Bolotbekov<sup>1</sup><sup>1</sup> The Asanaliev Kyrgyz State University of Geology, Mining and Development of Natural Resources (KGGU), Bishkek, Kyrgyzstan<sup>2</sup> Union of Surveyors of Russia, Moscow, Russian Federation lev5353@bk.ru**Abstract**

Mine surveying in mining operations is of particular importance, since all technological processes of the full life cycle of a mining enterprise and, ultimately, its competitiveness depend on the surveying quality, efficiency and reliability. Organizations independently determine the structure of mine surveying services,



taking into account the methods applied and the scale of mining. To ensure safe open-pit mining of minerals, it is necessary to permanently assess and monitor the pit bench and wall rock mass condition. Misjudgement of rock physical and mechanical properties, non-observance of the minerals mining and transportation process cycle, changes in climatic conditions and other problems lead to loss of stability of rocks in all parts of an open pit, including in the areas of ore production and mining and transport equipment operation. The existing practice shows that the effectiveness of an open pit wall and bench stability calculation can be achieved using a technique that should take into account the slope deformation and failure mechanism, as well as the nature of the stress-strain state of the open pit rock mass. The studies presented in the paper are based on comparative analysis of the sliding wedge parameters for benches, dumps and roads at open pits using analytical and graphical software packages, and taking into account the static load produced by dump trucks. The study findings allow to establish that: determination of the bench slope stability and the sliding wedge width, performed by the analytical method, gives higher accuracy results than those obtained by the graphical method; the bench slope stability and the sliding wedge width depend not only on the rock physical and mechanical condition, but also on the bench height, the dump truck (plus its freight load) weight per 1 linear meter of the placement area, the distance from the slope edge and other factors; the rock mass is stable and not subject to landslide phenomena for as long as the sum of the holding forces is greater than or equal to the sum of the shearing forces; when using large-sized transport equipment of non-standard weight in open-pit mining, it is necessary to calculate the safe width of the sliding wedges, taking into account the loads on them (per 1 linear meter), the values of which can be 1.5–2.0 times higher than those calculated for the circular-cylindrical sliding surface.

**Key words**

mining, open pit, open-pit mining, bench, sliding wedge, slope, dump, dump truck, loads, stability

**For citation**

Chunuev I. K., Levkin Yu. M., Bolotbekov Zh. Determination of bench, dump and road sliding wedge technological parameters. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(1):31–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-31-41>

**Введение**

Маркшейдерские работы при производстве горных работ имеют особое значение, так как от их качества, оперативности и достоверности зависят все технологические процессы полного жизненного цикла горного предприятия и в конечном итоге его конкурентоспособность.

Основные этапы и технологические требования к производству маркшейдерских работ формализуются в нормативно-методических материалах, таких, например, как «Инструкции по производству маркшейдерских работ», утвержденные Федеральным горным и промышленным надзором России.

В соответствии с этим документом маркшейдерские работы относятся в Российской Федерации к лицензируемому виду деятельности, а также предусматривают:

- пространственно-геометрические измерения горных разработок и подземных сооружений, определение их параметров, местоположения и соответствия проектной документации;
- наблюдение за состоянием горных отводов и обоснование их границ; ведение горной графической документации;
- учет и обоснование объемов горных разработок; определение опасных зон и мер охраны горных разработок, зданий, сооружений и природных объектов от воздействия работ, связанных с использованием недрами [1, 2].

Организации самостоятельно определяют структуру маркшейдерских служб и технологии их реализации с учетом масштабов добычи полезных ископаемых.

**Использование маркшейдерских измерительных систем****на современных карьерах для обеспечения безопасного ведения работ**

Значительный прогресс, достигнутый в последние десятилетия в новых технологиях производства маркшейдерских работ, сформировал большой рынок эффективных технических решений для их качественного выполнения. Все эти решения используют технологии производства измерений спутниковым геодезическим оборудованием.

Спутниковые системы «ГЛОНАСС» и GPS, в состав геодезической аппаратуры которых входят базовая станция и две передающие антенны (роверы), позволяют определять координаты базовой станции от пунктов триангуляции. Измерения производят передающими антеннами путем установки их на заранее определённые точки в карьере, нажимают на пуск и передают сигнал на базовую станцию, с базовой станции сигнал поступает на спутник и возвращается с координатами ровера. Данные полученных измерений накапливаются в карте-памяти базовой станции (рис. 1). Именно таким образом можно представить в первом приближении общую структуру маркшейдерских измерений на основе спутниковых технологий. Их очевидные преимущества (высокая производительность, точность и помехоустойчивость работ, возможность реализации непрерывных измерений практически в реальном масштабе времени, независимость от оптических характеристик земной атмосферы и оптической наблюдаемости объектов измерения и т.д.) не исключают наличия определенных сложностей (погрешности при измерении верти-

кальных и горизонтальных координат, слабая помехозащищённость от электромагнитных возмущений, сложность наблюдения при ведении подземных горных работ; высокая стоимость оборудования и т.д.), которые необходимо учитывать при составлении проектов ведения соответствующих работ.

Открытые горные работы на горных предприятиях реализуются в разных климатических зонах, в том числе таких, где погодные условия могут изменяться в широком диапазоне не только в зависимости от времени года, но и в течение рабочих смен предприятия. Обильные осадки и частые перепады температур являются одними из самых существенных факторов, влияющих на устойчивость мест карьера, опасных по сходу оползней. Наблюдения показали, что при наличии обильных осадков деятельность предприятия может быть нарушена или полностью прекращена на участках залегания глин, склонных к сползанию, в связи с чем необходима разработка мероприятий, обеспечивающих укрепление участков грунта, содержащего глины и провоцирующие оползни.

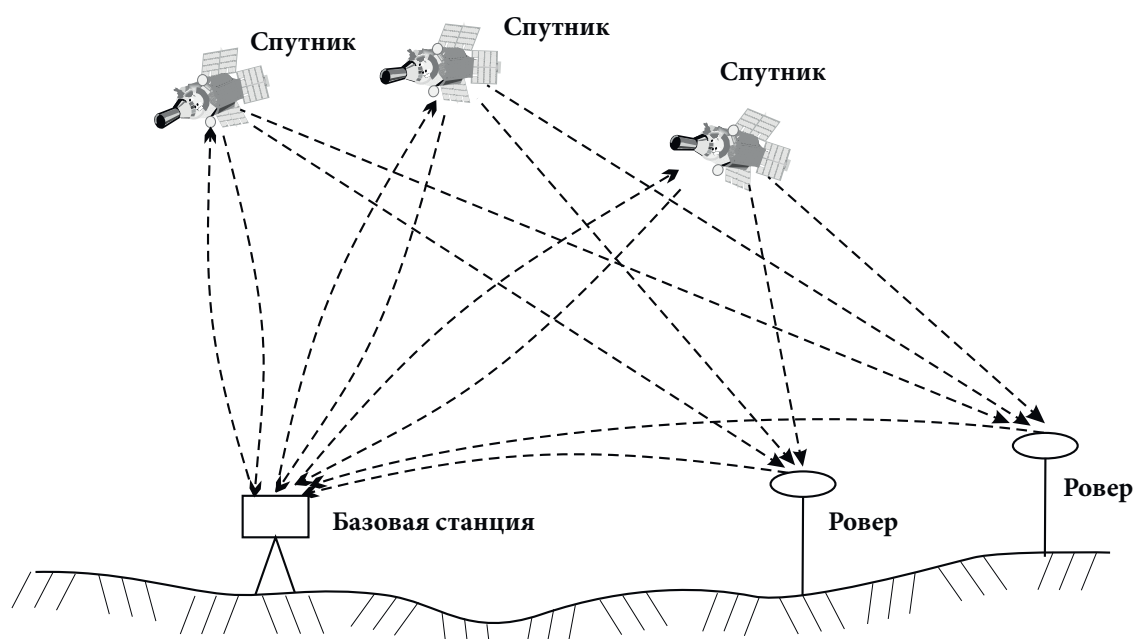
Для обеспечения безопасной добычи полезного ископаемого открытым способом на карьерах необходимо постоянно осуществлять оценку и контроль состояния массива горных пород уступов и бортов карьера [3–9]. Недооценка физико-механических свойств горных пород, несоблюдение технологического цикла добычи и транспортировки полезных ископаемых, изменение климатических условий и другие приводят к нарушению устойчивости горных пород на всех участках карьера, в том числе участках добычи и движения горнотранспортного оборудования.

Изменения физико-механических свойств пород откосов и уступов в зависимости от технологических параметров приводят к проявлению деформационных явлений (оползни, обрушения, осыпи,

просадки), что вызывает снижение объёмов добычи полезного ископаемого, выход из рабочего процесса добычного и транспортного оборудования, увеличение дополнительных расходов на работы по их восстановлению [9–13]. Основными причинами деформационных явлений на карьере, как правило, являются: неполноценный учёт водопритокков, вызванных осадками, гидрогеологических и инженерно-геологических условий карьера при составлении плана добычи полезного ископаемого; несоблюдение проектных параметров добычи; динамическое воздействие горнотранспортного оборудования и взрывных работ. Немаловажную роль в устойчивости бортов и уступов карьера играет фактор времени, позволяющий снижать прочностные характеристики горных пород по природным и горнотехническим условиям.

Обвалы и осыпи характерны для уступов и бортов карьера, по строению и составу массива горных пород, состоящих из полускальных и скальных пород [14]. На величину и скорость осыпания горных пород оказывают влияние: петрографический состав, трещиноватость, обводненность и температурный режим пород; динамические воздействия (взрывные работы и движение горнотранспортного оборудования).

Качественные и направленные маркшейдерские наблюдения на карьерах позволяют построить предельную поверхность скольжения и определить условия движения сползающей части уступа. Инклинометрические измерения, проводимые через пробуренные скважины в оползневом массиве, показывают глубину и величину изменения положения поверхности скольжения оползня. Наибольшему искривлению в оползневом массиве подвергается отрезок скважины, расположенный на территории формирования поверхности скольжения [2, 15, 16].



**Рис. 1.** Схема общей структуры маркшейдерских измерительных систем на основе спутниковых технологий

**Fig. 1.** General arrangement of surveying measuring systems based on satellite technology



### Механизм деформации карьерных откосов

Существующая практика показывает, что эффективность расчёта устойчивости бортов и уступов карьеров достигается благодаря методике, которая должна учитывать механизм разрушения и деформации откосов, а также характер напряжённо-деформированного состояния массива пород карьера [17].

Можно выделить четыре кинематические формы разрушения откоса:

- стационарное неравновесное разрушение (развитие поверхности скольжения в откосе под воздействием постоянных гравитационных сил, достигших критического значения за счёт превышения параметров откоса (высоты и угла наклона откоса), при которых обеспечивалась его устойчивость);

- стационарное равновесное разрушение (наблюдается при отсыпке отвала в непосредственной близости от верхней бровки откоса);

- нестационарное неравновесное разрушение (наблюдается при интенсивном выветривании горных пород или в откосах, сложенных глинистыми породами с ярко выраженными реологическими свойствами);

- нестационарное неравновесное динамическое разрушение (наблюдается при воздействии на массив нагрузок массовых взрывов и горнотранспортного оборудования) [9].

Считается, что процесс разрушения откоса может протекать как в связи с последовательным проращением поверхности скольжения от точки к точке, так и в виде параллельного формирования площадок скольжения в нижней и верхней частях откоса [9].

Обеспечение долговременной и безопасной эксплуатации карьера закладывается правильным выбором методики расчёта углов наклона его бортов, которая должна учитывать:

- устойчивость уступов и бортов карьера;
- размещение на бортах необходимых съездов и берм;
- экономичность работ (целесообразный коэффициент вскрыши, выбор контура откоса) [9].

Существующие методы оценки устойчивости бортов карьеров условно делятся на строгие и приближённые группы. В строгих методах расчёта применяется математический аппарат механики сплошных сред. На практике применяются приближённые методы расчёта, которые определяют, что устойчивость горных пород в откосах может быть обеспечена, если сумма сил, удерживающих откос от сдвига по наиболее слабой поверхности, больше суммы сдвигающих сил по этой поверхности. Коэффициент запаса устойчивости обеспечивается, если отношение суммы удерживающих сил к сумме сдвигающих – наибольшее. Поверхность, на которой это отношение наименьшее, считается слабой. На устойчивость откосов большое влияние оказывает наличие в окрестностях карьера открытых и подземных водостоков, водоносных горизонтов, водоёмов.

Разработка моделей определения и прогнозирования призм обрушения уступов на контуре карьера является достаточно известным направлением

[2–5, 10, 11, 15, 18–24]. При этом рассматривались разные горно-геологические и технологические условия

Форма и расположение поверхности скольжения в неослабленном массиве, прилегающем к откосу, определяются основными положениями теории предельного равновесия сыпучей среды, основы которой были заложены еще в XVIII в.

К. Кулон определил основные положения теории равновесия сыпучих сред, а также применил их для определения состояния массивов из сыпучих сред, ограниченных горизонтальной плоскостью, на вертикальную подпорную стенку [25].

Дальнейшие работы позволили на основе уже выработанных принципов получить решения для разной геометрии подпорных стенок с разными характеристиками скольжения этих стенок. В XIX в. В. Ренкин исследовал предельное равновесие бесконечного массива, ограниченного наклонной плоскостью [26]. Последующие экспериментальные исследования В. И. Курдюмова позволили установить, что нарушение равновесия происходит путем сползания по некоторым криволинейным поверхностям [27]. Дальнейшие исследования в этой области велись многими учеными, и они были направлены на решение как фундаментальных, так и прикладных задач. Российская инженерная школа опирается на фундаментальные труды В. В. Соколовского, которые дают наиболее полное описание явлений и направлений технических решений в части формализации состояния сыпучих сред в статике и определения устойчивости массивов сыпучих сред [28]. Известные в области горного дела ученые также внесли свой вклад в развитие этого направления, создавая комплексное научное и методическое обеспечение для решения горнотехнических задач. Примером таких работ стали работы М.М. Протодяконова, К. В. Руппенейта, С. Г. Авершина [29–31].

Перейдем к практике определения размеров призмы обрушения рабочих и нерабочих уступов карьера с учетом конкретных условий и технологических параметров [18–23].

### Определение устойчивости откосов уступов и ширины призмы обрушения на карьере «Кумтор»

Определение размеров призмы обрушения рабочих и нерабочих уступов, а также на отвалах, выполнено по известной методике ВНИМИ [19, 22]. Форма и расположение поверхности скольжения в неослабленном массиве, прилегающем к откосу уступа, определяются основными положениями теории предельного равновесия сыпучей среды:

а) элементарные площадки скольжения в неоднородном массиве горных пород возникают лишь при напряжении  $\sigma_1$ , не менее:

$$\sigma_0 = \sigma_1 = 2k \cdot ctg\varepsilon, \quad (1)$$

где  $k$  – сцепление породы;  $\varepsilon = 45^\circ - \varphi/2$ ;  $\varphi$  – угол внутреннего трения породы;

б) в массиве однородного откоса площадки скольжения возникают с глубины:





$$H_{90} = \frac{\sigma_0}{\gamma} = \frac{2k}{\gamma} \operatorname{ctg} \varepsilon, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – объемный вес пород.

Определение ширины призмы обрушения выполнено двумя методами – графическим и аналитическим [1, 19, 22–24]. Параметры графического определения ширины призмы возможного обрушения в породах отражены в табл.1:

– по заданным физико-механическим характеристикам пород определяется глубина, на которой формируется площадка скольжения –  $H_{90}$ ;

– затем определяется условная высота откоса  $H'$  как отношение

$$H' = \frac{H}{H_{90}};$$

– действительная ширина призмы обрушения  $a$  определяется умножением условной ширины призмы обрушения  $a'$  на величину глубины, на которой формируется площадка скольжения –  $H_{90}$ .

Аналитическое определение ширины призмы возможного обрушения выполнялось по следующей формуле:

$$a = \frac{2H \left[ 1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \varphi}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\operatorname{ctg} \varepsilon + \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \varphi}{2} \right)}. \quad (3)$$

Сравнительный анализ результатов расчёта параметров призмы возможного обрушения для уступов карьера показал, что использование аналитического метода расчета даёт более высокую точность, чем результаты, полученные графическим методом (табл. 1).

Кроме того, ширина призмы обрушения различна для различных типов пород, слагающих уступы. Поэтому при значении условной высоты откоса встроенного уступа в моренах 45,67 м, которая вышла за пределы **графического расчёта**, что соответствует наибольшему из значений, полученных аналитическим расчётом, ширина призмы обрушения для пород морены составляет 2,17 м, а для коренных пород 3,07 м. При условной высоте откоса рабочего уступа в моренах 22,83 м ширина призмы обрушения для пород морены составляет 2,43 м, а для коренных пород 1,28 м.

Для пород отвалов (табл. 2) при условной высоте откоса пород морены 30,49 м значение ширины призмы возможного обрушения в породах морены составляет 2,21 м. Но так как из расчёта принимается наибольшее значение ширины призмы обрушения, необходимо считать, что принятое значение с запасом перекрывает величину призмы возможного обрушения в горной породе морена. Определение ширины призмы возможного обрушения с учётом характеристик пород, приведенных в табл. 1 и 2, выполнено с использованием метода кругло-цилиндрической поверхности с применением компьютерных программ [20, 21].

Таблица 1 / Table 1

## Расчетная ширина призмы возможного обрушения для уступов карьера

Estimated width of the possible sliding wedge for open pit benches

Наименование, параметр	Встроенный уступ в предельном положении						Рабочий уступ					
	Графический расчет			Аналитический расчет			Графический расчет			Аналитический расчет		
Тип породы	Породы коренные	Морена	Породы отвала	Породы коренные	Морена	Породы отвала	Породы коренные	Морена	Породы отвала	Породы коренные	Морена	Породы отвала
Высота уступа $H$ , м	24	24	24	24	24	24	8	8	8	8	8	8
Угол откоса $\alpha$ , град.	63,4	35	37	63,4	35	37	80	60	60	80	60	60
Угол внутреннего трения пород $\varphi$ , град.	32	28	32	32	28	32	32	28	32	32	28	32
Сцепление пород $K$ , т/м <sup>2</sup>	5	0,3	0,5	5	0,3	0,5	3	0,2	0,3	3	0,2	0,3
Объемный вес породы $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	2,85	1,9	2,2	2,85	1,9	2,2	2,85	1,9	2,2	2,85	1,9	2,2
Глубина $H_{90}$ , с которой возникают площадки скольжения, м	6,33	0,53	0,82	6,33	0,53	0,82	3,80	0,35	0,49	3,80	0,35	0,49
Условная высота откоса $H'$ ( $H/H_{90}$ )	3,79	45,67	29,27				2,11	22,83	16,26			
Условная ширина призмы обрушения $a'$ (по графику на рис.)	0,46	1,92*	1,32				0,28	1,42	0,99			
<b>Ширина призмы обрушения <math>a</math>, м</b>	<b>2,91</b>	<b>1,01</b>	<b>1,08</b>	<b>3,07</b>	<b>2,17</b>	<b>1,04</b>	<b>1,06</b>	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>	<b>1,28</b>	<b>2,43</b>	<b>1,92</b>

Таблица 2 / Table 2

Расчетная ширина призмы возможного обрушения для отвалов различной высоты

Estimated width of the possible sliding wedge for dumps of different heights

Наименование, параметр	Отвал породы					
	Графический расчет			Аналитический расчет		
Высота отвала $H$ , м	25	50	90	25	50	90
Угол откоса $\alpha$ , град.	37	37	37	37	37	37
Угол внутреннего трения пород $\varphi$ , град.	32	32	32	32	32	32
Сцепление пород $K$ , т/м <sup>2</sup>	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
Объемный вес породы $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Глубина $H_{90}$ , с которой возникают площадки скольжения, м	0,82	1,64	2,46	0,82	1,64	2,46
Условная высота откоса $H'$ ( $H/H_{90}$ )	30,49	30,49	36,58			
Условная ширина призмы обрушения $a'$ (по графику на рис. 1)	1,35	1,35	1,49			
Ширина призмы обрушения $a$ , м	1,11	2,21	3,67	1,11	2,21	4,38

Определение влияния большегрузного транспорта на устойчивость откосов уступов и ширину призмы обрушения на карьере «Кумтор»

Расчёт ширины призмы возможного обрушения на встроенных и рабочих уступах, а также отвалах позволил выполнять оценку их устойчивости при воздействии на эти уступы и отвалы нагрузки горного оборудования. Наиболее тяжелым горным оборудованием на карьере «Кумтор» является автосамосвал Cat 785C, полная масса которого с грузом составляет 250 т [21].

Для расчёта влияния веса автосамосвала, проходящего на 1 п. м уступа высотой 24 м, на устойчивость откосов уступов и ширину призмы обрушения при движении автосамосвала вдоль бровки транспортной бермы по всей протяженности кромки откоса вдоль колеи, расположенной ближе к кромке откоса, на расстоянии, равном ширине призмы обрушения – 3,5 м, используется выражение:

$$\Delta P = \frac{P}{a_k + 2 \times \frac{1}{3} \times c_i}, \quad (4)$$

где  $a_k$  – расстояние между колесами автомобиля (база);  $P$  – вес гружёного автомобиля, приходящийся на одну

колею;  $c_i$  – расстояние от самосвала до края призмы обрушения (рис. 2, 3).

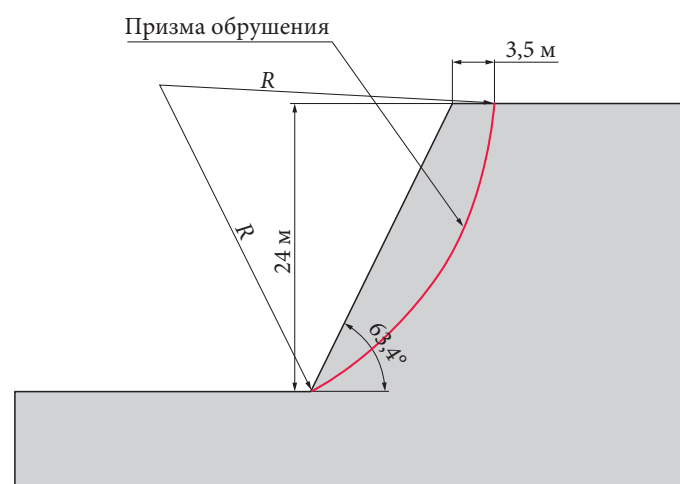


Рис. 2. Определение влияния веса груженого автосамосвала, приходящегося на 1 п. м встроенного и рабочего уступа и отвала высотой уступа 24 м

Fig. 2. Determination of the dump truck loaded weight effect on working bench and dump bench (per 1 linear meter) at the bench height of 24 m

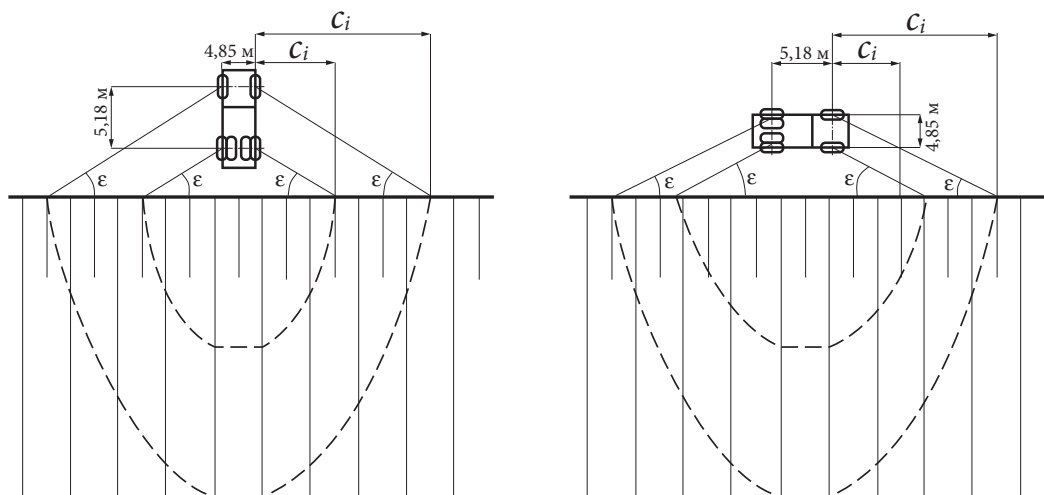
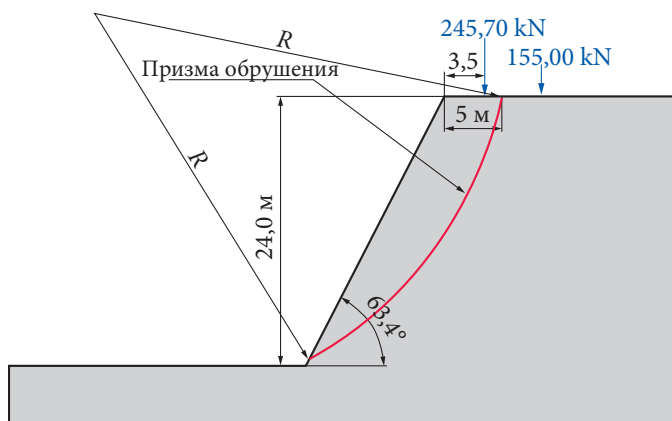


Рис. 3. Схема расчета влияния веса самосвала с грузом на уступ

Fig. 3. Pattern of calculation of the dump truck loaded weight effect on the bench

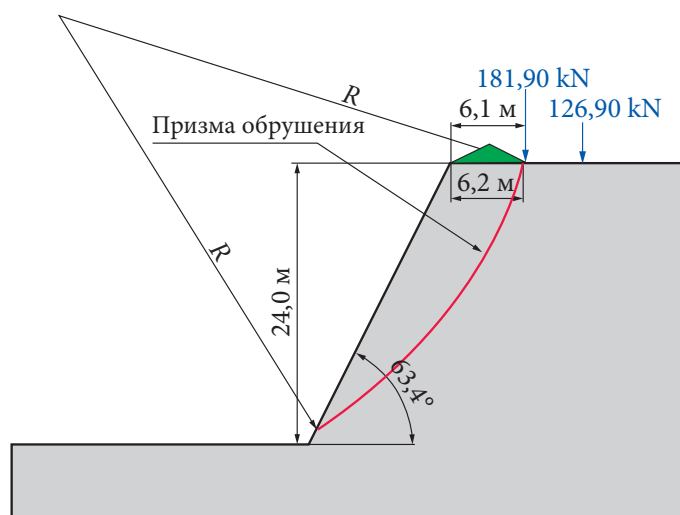
Расчёты устойчивости откосов уступов высотой 24,0 м и ширины призмы обрушения под воздействием веса гружёного автосамосвала, расположенного на расстоянии 3,5 м от бровки откоса вдоль колеи, показали (рис. 4), что:

- на 1 п. м протяженности откоса нагрузка от веса самосвала составит 25,08 т/п. м, или 245,7 кН/п. м;
- вдоль колеи, удаленной от кромки откоса (на расстоянии  $3,5 + 4,85 = 8,35$  м), нагрузка составит 15,81 т/п. м, или 155 кН/п. м, при этом расчетное значение ширины призмы обрушения увеличится до 5 м.



**Рис. 4.** Определение устойчивости откосов уступов и ширины призмы обрушения под воздействием веса гружёного автосамосвала, расположенного на расстоянии 3,5 м от бровки откоса

**Fig. 4.** Determination of the bench slope stability and the sliding wedge width under the influence of dump truck loaded weight located at a distance of 3.5 m from the slope edge



**Рис. 5.** Определение устойчивости откосов уступов и ширины призмы обрушения в зависимости от веса гружёного автосамосвала, расположенного на расстоянии 6,4 м от бровки откоса, находящегося за пределами вала безопасности

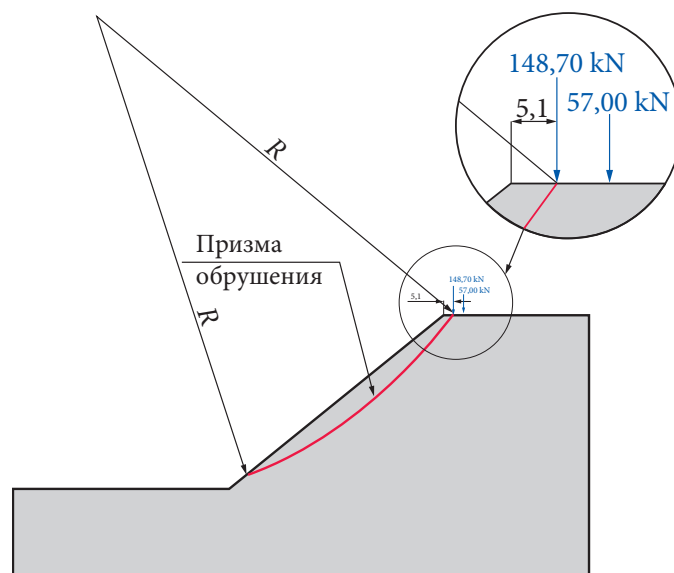
**Fig. 5.** Determination of the bench slope stability and the sliding wedge width under the influence of dump truck loaded weight located at a distance of 6.4 m from the slope edge outside the safety windrow

Определение устойчивости откосов уступов высотой 24,0 м и ширины призмы обрушения в зависимости от веса гружёного автосамосвала Cat 785С, расположенного на расстоянии 6,4 м от бровки откоса, находящегося за пределами вала безопасности, показало (рис. 5), что:

- нагрузка вдоль колеи составит 18,56 т/п. м, или 181,9 кН/п. м;
- нагрузка вдоль колеи, удаленной от кромки откоса на расстояние  $6,4 + 4,85 = 11,25$  м, составит 12,95 т/п. м, или 126,9 кН/п. м, при этом расчетное значение ширины призмы обрушения увеличилось до 6,2 м;
- окончательно значение ширины призмы возможного обрушения с учетом нагрузки от самосвала Cat 785С принимается равным 6,2 м.

Результаты расчетов устойчивости откосов отвалов [18, 20, 21] при ширине призмы обрушения размером 5,1 м (рис. 6) при размещении на них гружёного автосамосвала показали:

- нагрузка задней оси, расположенной на расстоянии, равном ширине призмы обрушения 5,1 м, с весом задней оси автосамосвала, приходящимся на 1 п. м протяженности откоса вдоль бровки (рис. 6 и формула (4)), составит 15,18 т/п. м, или 148,7 кН/п. м;
- нагрузка передней оси, расположенной на расстоянии  $5,1 + 5,18 = 10,28$  м от кромки отвала, составит 5,82 т/п. м, или 57 кН/п. м;
- параметры вала безопасности на отвале принимаются в соответствии с едиными правилами безопасности, применяемыми при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, и равны: высота – 1,5 м; ширина (откосы 1:2) – 6 м.



**Рис. 6.** Определение устойчивости откосов отвалов и ширины призмы обрушения в зависимости от веса гружёного автосамосвала, расположенного на расстоянии 5,1 м от бровки откоса отвала

**Fig. 6.** Determination of the dump slope stability and the sliding wedge width under the influence of dump truck loaded weight located at a distance of 5.1 m from the dump slope edge







### Выводы

Расчёты, проводимые в соответствии с методическими указаниями ВНИМИ и СНиП 2.05.07-91, показали:

– маркшейдерское обеспечение работ для безопасного ведения горных работ при добыче полезного ископаемого открытым способом, будет настолько эффективно, насколько точно и правильно будут проводиться работы по контролю за физико-механическим состоянием горных пород как на добычных участках, так и на участках транспортировки полезного ископаемого;

– определение устойчивости откосов уступов и ширины призм обрушения, выполненные аналитическим методом, дает более высокие результаты точности, чем полученные графическим методом;

– устойчивость откосов уступов и ширина призм обрушения зависят не только от физико-механического состояния горных пород, но также от высоты уступа, веса автосамосвала и его груза, приходящегося на 1 п. м площадки размещения, расстояния от бровки откоса и других факторов;

– массив горных пород находится в спокойном состоянии, не подвержен оползневым явлениям, до тех пор, пока суммы удерживающих сил больше или равны суммедвигающих;

– при использовании на открытых горных работах крупногабаритного транспортного оборудования нестандартного веса необходимо производить расчеты безопасной ширины призм обрушения с учетом нагрузок от них из расчета на 1 п. м, величины которых могут быть в 1,5–2,0 раза выше расчетных по кругло-цилиндрической поверхности скольжения.

### Список литературы

1. Гордеев В. А. Сравнительный анализ расчетных поверхностей скольжения в однородных откосах. Маркшейдерское дело и геодезия. В: *Методы и результаты: межвуз. сб. науч. тр. СПбГИ. СПб.*; 1999. С. 17–21.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ. Утв. Госгортехнадзором СССР 20 февр. 1985 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026592>
3. Hoek E. *Practical Rock Engineering*. URL: <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
4. Liu Y., Wang X., Gao J. Stability Analysis and Reinforcement Treatment of Open Pit Slope. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;283(1):012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/283/1/012009>
5. Liu J., Zhao X.-D., Lu Z.-X. Mining scheme optimization and slope stability analysis for transition from open pit to underground mining. *Dongbei Daxue Xuebao. Journal of Northeastern University*. 2013;34(9):1327–1329+1334.
6. Chen J., Li K., Chang K.-J., Sofia G., Tarolli P. Open-pit mining geomorphic feature characterization. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015;42:76–86. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.001>
7. Ding D., Niu L. Stability analysis and treatment schemes for high and steep slope in bayan obo iron mine. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*. 2016;17(42):13.1–13.4. <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.42.13>
8. Han L., Shu J., Zhou W., Meng Q. Research on mechanical and geometric characteristics of concave end- slope in open-pit mine with mining by areas. *Huazhong Keji Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*. 2014;42(3):82–86. <https://doi.org/10.13245/j.hust.140318>
9. Певзнер М. Е., Иофис М. А., Попов В. Н. *Геомеханика*. М.: МГТУ; 2005. 438 с.
10. Галустьян Э. Л. *Управление геомеханическими процессами в карьерах*. М.; 1980. 206 с.
11. Chukin B. A., Chukin R. B. Probability assessment of pit wall stability in jointed rock mass. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(5):36–41. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.05.06>
12. Besimbaeva O. G., Khmyrova E. N., Nizametdinov F. K., Oleinikova E. A. Assessment and Prediction of Slope Stability in the Kentobe Open Pit Mine. *Journal of Mining Science*. 2018;54(6):988–994. <https://doi.org/10.1134/S1062739118065143>
13. Avetisian I. M., Semenova I. E. Forecast of rock mass stability under industrial open pit mine facilities during the open pit deepening. A case study of the Zhelezny open pit, JSC Kovdorsky GOK. In: Litvinenko V. (ed.) *EUROCK2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. 1<sup>st</sup> ed. London: CRC Press; 2018. P. 755–760.
14. Дунаев В. А., Годовников Н. А. Оценка и прогноз устойчивости уступов карьеров в массивах скальных пород на основе геоинформационных технологий. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014;(4):134–137.
15. Левкин Ю. М. Применение современных геодезических приборов в горном деле. В кн.: *Geospatial technologies and Earth resources (GTER 2017): материалы Международной конференции по геопрограммным технологиям и ресурсов Земли*. Ханой; 2017. С. 307–311.
16. Казикаев Д. М., Козырев А. А., Каспарьян Э. В., Иофис М. А. *Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых*. М.: Горная книга; 2016. 490 с.
17. Певзнер М. Е. *Борьба с деформациями горных пород на карьерах*. М.: Недра; 1978.



18. Жумабаев Б., Чунуев И. К., Дуйшеналиев Ж. М. Отвалообразование на наклонной поверхности ледника. Современные концептуальные положения в механике горных пород. В кн.: *Методы и результаты: труды международной конференции «Илим»*. Бишкек; 2002. С. 81–92.
19. Фисенко Г. Л., Сапожников В. Т., Мочалов А. М. и др. *Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров*. Л.: ВНИМИ; 1972. 166 с.
20. Чунуев И. К., Умаров Т. С. Опыт внедрения современных компьютерных программ в учебный процесс и на горных предприятиях. *Горный журнал*. 2016;(8):84–88.
21. Чунуев И. К., Дуйшеналиев Ж. М. Проблемы и перспективы добычи золота на месторождении «Кумтор». *Горный журнал*. 2011;(11):68–74.
22. *Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах*. Минтопэнерго РФ. Научно-исследовательский институт горно-геомеханического и маркшейдерского дела. Межотраслевой научный центр «ВНИМИ». СПб.; 1998.
23. Проект приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов”».
24. Фисенко Г. Л. *Устойчивость бортов карьеров и отвалов*. 2-е изд. М.: Недра; 1965. 378 с.
25. Coulomb C. A. Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. 1776;7:343–387.
26. On the Mathematical Theory of the Stability of Earthwork and Masonry. In: *a Letter to Prof. Stokes, Sec. R.S. By W. J. Macquorn Rankine, Esq., C.E., F.R.S., Professor of Civil Engineering in the University of Glasgow*. Received February 19; 1856. <https://doi.org/10.1098/rspl.1856.0019>
27. Курдюмов В. И. *Краткий курс оснований и фундаментов*. 3-е изд. Петроград: Г.В. Гольстен; 1916. 292 с.
28. Соколовский В. В. *Статика сыпучей среды*. М.: Физматгиз; 1960. 243 с.
29. Авершин С. Г. *Сдвигение горных пород при подземных разработках*. М.: Углетехиздат; 1947. 245 с.
30. Протодяконов М. М. *Давление горных пород и рудничное крепление*. 2-е изд. М.; Л.: Огиз – Гос. науч.-техн. изд.-во; 1931. 104 с.
31. Руппенейт К. В. *Некоторые вопросы механики горных пород*. М.: Углетехиздат; 1954. 384 с.

## References

1. Gordeev V. A. Comparative analysis of design sliding surfaces in homogeneous slopes. Mine surveying and geodesy. In: *Methods and Findings: interuniversity collection of research papers of SPbGGI*. St. Petersburg; 1999, pp. 17–21 (in Russ.)
2. *Instructions for mine surveying*. Approved by the USSR Gosgortekhnadzor; 1985. (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026592>
3. Hoek E. *Practical Rock Engineering*. URL: <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
4. Liu Y., Wang X., Gao J. Stability Analysis and Reinforcement Treatment of Open Pit Slope. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;283(1):012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/283/1/012009>
5. Liu J., Zhao X.-D., Lu Z.-X. Mining scheme optimization and slope stability analysis for transition from open pit to underground mining. *Dongbei Daxue Xuebao. Journal of Northeastern University*. 2013;34(9):1327–1329+1334.
6. Chen J., Li K., Chang K.-J., Sofia G., Tarolli P. Open-pit mining geomorphic feature characterization. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015;42:76–86. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.001>
7. Ding D., Niu L. Stability analysis and treatment schemes for high and steep slope in bayan obo iron mine. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*. 2016;17(42):13.1–13.4. <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.42.13>
8. Han L., Shu J., Zhou W., Meng Q. Research on mechanical and geometric characteristics of concave end- slope in open-pit mine with mining by areas. *Huazhong Keji Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*. 2014;42(3):82–86. <https://doi.org/10.13245/j.hust.140318>
9. Pevzner M. E., Iofis M. A., Popov V. N. *Geomechanics*. Moscow: MGGU Publ. House; 2005. 438 p. (In Russ.).
10. Galust'yan E. L. *Geomechanical processes control in open pits*. Moscow; 1980. 206 p. (in Russ.).
11. Chukin B. A., Chukin R. B. Probability assessment of pit wall stability in jointed rock mass. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(5):36–41. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.05.06>
12. Besimbaeva O. G., Khmyrova E. N., Nizametdinov F. K., Oleinikova E. A. Assessment and Prediction of Slope Stability in the Kentobe Open Pit Mine. *Journal of Mining Science*. 2018;54(6):988–994. <https://doi.org/10.1134/S1062739118065143>
13. Avetisian I. M., Semenova I. E. Forecast of rock mass stability under industrial open pit mine facilities during the open pit deepening. A case study of the Zhelezny open pit, JSC Kovdorsky GOK. In: Litvinenko V. (ed.) *EUROCK2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. 1<sup>st</sup> ed. London: CRC Press; 2018. P. 755–760.



14. Dunaev V. A., Godovnikov N. A. The estimation and forecast of the open pit ledges stability in the rock massif on a basis geoinformation technologies. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(4):134–137. (In Russ.).
15. Levkin Yu. M. Application of up-to-date geodetic instruments in mining. Collection of research papers: "Geo-spatial technologies and Earth resources (GTER 2017)". In: *International Conference on Geospatial Techniques and Earth Resources*. Hanoi; 2017, pp. 307–311. (In Russ.).
16. Kazikaev D. M., Kozyrev A. A., Kasparyan E. V., Iofis M. A. *Control of geomechanical processes in mineral deposit development: Tutorial*. Moscow: Gornaya Kniga; 2016, 490 p. (In Russ.).
17. Pevzner M.E. *Rock Deformation Prevention at Open Pits*. Moscow: Nedra; 1978. (In Russ.).
18. Zhumabaev B., Chunuev I.K., Duishenaliev Zh.M. Dumping on inclined glacier surface. The latest conceptual postulates in rock mechanics. In: *Methods and Findings: Proceedings of the international conference "Ilim"*. Bishkek; 2002, pp. 81–92. (In Russ.).
19. Fisenko G.L., Sapozhnikov V.T., Mochalov A.M. et al. *Methodical instructions for determining the slope angles of open pit walls, benches and dumps (under construction and in operation)*. Leningrad: VNIMI; 1972. 166 p. (In Russ.).
20. Chunuev I.K., Umarov T. S. Experience in the implementation of advanced computer programs in the educational process and at mining enterprises. *Gornyi zhurnal*. 2016;(8):84–88. (In Russ.).
21. Chunuev I.K., Duishenaliev Zh.M. Problems and prospects of gold production at the Kumtor deposit. *Gornyi zhurnal*. 2011;(11):68–74. (In Russ.).
22. *Regulations for ensuring slope stability at open-pit coal mines*. Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation. Mining and Geotechnical Engineering and Mine Surveying Research Institute. Interdisciplinary Scientific Center "VNIMI". St. Petersburg, 1998. (In Russ.).
23. Draft order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of the Russian Federation "On the approval of the Federal regulations in the field of industrial safety 'Regulations for ensuring slope stability of open pits, open-pit coal mines and dumps'". (In Russ.).
24. Fisenko G. L. *Slope Stability of Pit Walls and Dumps*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Nedra; 1965. 378 p. (In Russ.).
25. Coulomb C. A. Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. 1776;7:343–387.
26. On the Mathematical Theory of the Stability of Earthwork and Masonry. In: *a Letter to Prof. Stokes, Sec. R.S. By W. J. Macquorn Rankine, Esq., C.E., F.R.S., Professor of Civil Engineering in the University of Glasgow*. Received February 19, 1856. <https://doi.org/10.1098/rspl.1856.0019>
27. Kurdyumov V. I. *Foundation Engineering Short Course*. 3<sup>rd</sup> ed. Petrograd: G.V. Golsten; 1916. 292 p. (In Russ.).
28. Sokolovsky V. V. *Loose Medium Statics*. Moscow: Fizmatgiz; 1960. 243 p. (In Russ.).
29. Avershin S. G. *Rock Shear in Underground Mining*. Moscow: Ugletekhizdat; 1947. 245 p. (In Russ.).
30. Protodyakonov M. M. *Rock Pressure and Mine Support*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow; Leningrad: Ogiz; 1931. 104 p. (In Russ.).
31. Ruppeneit K.V. *Some topics of rock mechanics*. Moscow: Ugletekhizdat; 1954. 384 p. (In Russ.).

### Информация об авторах

**Ишимбай Карыбаевич Чунуев** – зав. кафедрой, проф. Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. академика У.А. Асаналиева (КГТУ), Председатель Правления Кыргызского Союза маркшейдеров, Президент Кыргызской горной ассоциации, г. Бишкек, Киргизия; ORCID: [0000-0001-7952-543X](https://orcid.org/0000-0001-7952-543X); SCOPUS ID: [6507330670](https://scopus.org/6507330670); e-mail: [Ichunuev@gmail.com](mailto:Ichunuev@gmail.com)

**Юрий Михайлович Левкин** – д.т.н., проф., член Союза маркшейдеров России, г. Москва, Россия; e-mail: [lev5353@bk.ru](mailto:lev5353@bk.ru)

**Жусуп Болотбеков** – аспирант, Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У.А. Асаналиева (КГТУ), г. Бишкек, Киргизия; e-mail: [Lawcast\\_kigga@mail.ru](mailto:Lawcast_kigga@mail.ru)

### Information about the authors

**Ishimbay K. Chunuev** – Head of Department, Professor Kyrgyz State University of Geology, Mining and Natural Resources Development named after academician U. A. Asanaliyev (KGGU), Chairman of the Board of the Kyrgyz Union of Surveyors, the President Kyrgyz Mining Association, Bishkek, Kyrgyzstan; ORCID: [0000-0001-7952-543X](https://orcid.org/0000-0001-7952-543X); SCOPUS ID: [6507330670](https://scopus.org/6507330670); e-mail: [Ichunuev@gmail.com](mailto:Ichunuev@gmail.com)

**Yuri M. Levkin** – Dr. Sci. (Eng.), Member of the Union of Surveyors of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: [lev5353@bk.ru](mailto:lev5353@bk.ru)

**Zhusup Bolotbekov** – PhD student, Kyrgyz State University of Geology, Mining and Natural Resources Development named after academician U. A. Asanaliyev (KGGU), Bishkek, Kyrgyzstan; e-mail: [Lawcast\\_kigga@mail.ru](mailto:Lawcast_kigga@mail.ru)

Поступила в редакцию 31.10.2020

Received 31.10.2020

Поступила после рецензирования 01.02.2021

Revised 01.02.2021

Принята к публикации 05.02.2021

Accepted 05.02.2021