ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(11):81-93

УДК 622.271.3 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-81-93

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ, ПРЕДОТВРАЩАЮЩЕГО ЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ В ЗАБОЕ

И.В. Деревяшкин[1], А.А. Садыков[1]

[1] Московский политехнический университет, Москва, Россия, e-mail: artur.aleksovich@gmail.com

Аннотация: Принятая технология добычи на Калининградском янтарном комбинате обуславливает разрушение полезного ископаемого в результате размыва навала гидромонитором, дробления в землесосе и истирания в пульповоде длиной 1000—1600 м. Для исключения дробления янтаря струями гидромонитора определен баланс параметров применяемого оборудования и прочностных свойств янтароносной породы («голубой земли»). Установлены графические зависимости изменения осевого динамического давления гидромониторных струй от величины рабочего напора воды перед насадкой гидромонитора, ее диаметра и расстояния от гидромонитора до забоя. Определен диапазон изменения расстояния от гидромонитора до забоя, при котором эффективно разрабатывается «голубая земля» и исключается дробление янтаря. Для предотвращения дробления янтаря в землесосе предлагается использовать обезвоживающий элеватор. В горнотехнических условиях забоя, где производится добыча янтаря, для подъема кусков янтаря до пункта разгрузки наиболее приемлемым являются передвижной ковшовый цепной элеватор, с наклонным перемещением груза и самотечной разгрузкой. При этом ковш элеватора должен быть перфорированным с целью обезвоживания янтаря, поступающего в него из гидросмеси, с возможностью классификации, т.е. извлечения только крупных фракций.

Ключевые слова: гидромеханизированная технология; осевое динамическое давление; напор воды; диаметр насадки; расстояние от гидромонитора до забоя; обезвоживающий элеватор, самотечный гидротранспорт, перфорированные ковши, землесос; гидромониторный размыв.

Для цитирования: *Деревяшкин И. В., Садыков А. А.* Научное обоснование способа промышленной добычи янтаря, предотвращающего его измельчение в забое // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 81–93. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-81-93.

Scientific justification of commercial amber production without crushing in work face

I.V. Derevyashkin[1], A.A. Sadykov[1]

[1] Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, e-mail: artur.aleksovich@gmail.com

Abstract: The production technology accepted at the Kaliningrad Amber Factory gives place to mineral breakage during muck jetting, grinding in suction dredge and abrasion in pulp slurry line 1000–1600 m long. Aimed to avoid amber crushing under giant jets, the balance is found between the equipment parameters and strength of amber-bearing rock (Blue Earth). The curves of the axial

© И.В. Деревяшкин, А.А. Садыков. 2019.

dynamic pressure of jets, working head of water ahead of the jet nozzle, the nozzle diameter and the jet–face spacing are plotted. The distance range between the jet and the face, such that the Blue Earth is efficiently treated and amber crushing is eliminated, is determined. For elimination of amber grinding in suction dredge, it is proposed to use dewatering elevator. In geotechnical conditions of a production face, the best way of lifting amber to an unloading point is using a movable bucket–chain elevator with inclined upward flow and gravity unloading. The bucket of the elevator should be perforated for dehydrating of amber from pulp slurry, with possibility of classification, i.e. extraction of coarse fractions only.

Key words: hydraulic mining technology, dynamic pressure, water head, nozzle diameter, jet–face spacing, dewatering elevator, gravity hydraulic transport, perforated buckets, suction dredge, jetting.

For citation: Derevyashkin I. V., Sadykov A. A. Scientific justification of commercial amber production without crushing in work face. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):81-93. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-81-93.

Введение

Янтарь — окаменевшая ископаемая смола, затвердевшая живица древнейших хвойных деревьев верхнемелового и палеогенового периодов. Месторождения янтаря имеются в России, Испании, Польше, Канаде, Новой Зеландии, Румынии [1—5]. Только в России, в Калининградской области, добыча ведется промышленным способом. В процентном соотношении запасы янтаря Балтийского побережья относительно мировых запасов оценивают в диапазоне 80—95% [6].

Принятая технология добычи на Калининградском янтарном комбинате обуславливает разрушение полезного ископаемого в результате размыва навала гидромонитором, дробления в землесосе и истирания в пульповоде длиной 1000—1600 м [7, 8].

Специфика работы гидромонитора заключается в том, что, с одной стороны, необходимо эффективно производить разработку янтароносной породы (так называемой «голубой земли») высоконапорными струями, но, с другой стороны, исключить при этом дробление наиболее ценных крупных кусков янтаря. Следовательно, необходимо установить баланс параметров применяемого оборудования и прочностных свойств разрабатываемых пород, который исключает дробление янтаря.

Анализ факторов, определяющих эффективность технологических процессов и операций при работе гидромонитора на добыче янтаря, позволил выбрать те из них, которыми можно регулировать главные показатели работы, определить их зависимость от горнотехнических условий и типа (характеристик) применяемого оборудования и обеспечить их баланс при добыче янтаря.

Основными физико-механическими свойствами горных пород, которые определяют интенсивность их размыва гидромониторной струей, являются: плотность, прочность, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения, пластичность, гранулометрический состав, пористость, характер трещиноватости, влажность и коэффициент фильтрации.

Методика исследования гидромониторных струй

Наибольшее влияние на эффективность работы гидромониторов оказывают гидродинамические характеристики струи, которые во многом зависят от ее параметров на выходе из насадки. При этом качество гидромониторной струи определяется ее компактностью, которая, в свою очередь, оценивается таки-

ми гидродинамическими параметрами, как диаметр струи, осевое динамическое давление, сила удара о преграду и среднее удельное давление на забой.

Все эти параметры в той или иной степени влияют на эффективность разработки пород гидромониторами, то есть на его производительность по твердому (по породе) и удельный расход воды.

Гидродинамические свойства гидромониторных струй могут изменяться в зависимости от выбора исходных параметров струи. При этом косвенно будут учитываться и некоторые горнотехнические факторы. Поэтому целесообразно рассмотреть влияние гидродинамических характеристик струи на эффективность работы гидромонитора.

Главным гидродинамическим параметром струи гидромонитора, определяющим ее разрушающую способность, является осевое динамическое давление p_m. Исследованиями [9] установлено, что величина осевого динамического давления, прежде всего, зависит от длины начального участка его струи, значения которых связаны следующим соотношением:

$$\frac{p_m}{p_0} = \left(\frac{l_н}{l}\right)^k, \qquad (1)$$

где p_0 — давление воды на насадке гидромонитора, Па; $l_н$ — длина начального участка струи, в пределах которого имеется ядро сплошного нераспавшегося потока, которое двигается с постоянной скоростью, равной скорости истечения потока из насадки, м; l — расстояние от насадки до плоскости забоя в определенный момент времени, м; k — показатель степени, который характеризует интенсивность распада струи.

Из зависимости (1) выразим формулу для расчета величины осевого динамического давления:

$$p_m = p_0\left(\frac{l_н}{l}\right)^{0,5}, \qquad (2)$$

Начальный участок характеризует компактность водяной струи: чем больше его длина, тем компактнее струя и больше осевое динамическое давление на идентичных расстояниях от насадки. Длина начального участка находится в зависимости от числа Рейнольдса на выходе струи из насадки и от ее диаметра [10—12]. Для низконапорных гидромониторных струй, которые применяются на открытых горных работах, эту зависимость можно описать уравнением [13]:

$$\frac{l_н}{d_н} = A - BRe, \qquad (3)$$

где $d_н$ — диаметр насадки, м; A и B — эмпирические коэффициенты; Re — число Рейнольдса для струи на выходе из насадки:

$$Re = \frac{v_0 d_н}{\nu}, \qquad (4)$$

где v_0 — скорость истечения струи из насадки, м

$$v_0 = \varphi\sqrt{2gH_н}, \qquad (5)$$

ν — кинематический коэффициент вязкости при температуре воды t = 20 °С; φ — коэффициент скорости; g — ускорение свободного падения, м/с^2; $H_н$ — рабочий напор воды перед насадкой, м.

Решая уравнение (3) относительно $l_н$, получим

$$l_н = d_н(A - BRe), \qquad (6)$$

С учетом (6) выражение (2) можно преобразовать к виду:

$$p_m = p_0\sqrt{\frac{d_н\left(A - BRe\right)}{l}} \qquad (7)$$

Тогда:

$$p_0 = \rho_o\frac{v_0^2}{2}, \qquad (8)$$

где ρ_0 — плотность воды, кг/м^3.

Принимая во внимание (5), получим:

$$p_0 = \rho_0\,\varphi^2 gH_н, \qquad (9)$$

Тогда, выражение для определения осевого динамического давления в зависимости от расстояния от насадки до плоскости контакта с забоем примет вид:

$$p_m = \rho_0 \varphi^2 g H_н \sqrt{\frac{d_н (A - BRe)}{l}}, \quad (10)$$

Установлена зависимость изменения величины осевого динамического давления от параметров гидромониторной струи ($d_н$, $H_н$) и расстояния l (м) от насадки гидромонитора до забоя.

Величина l — расстояние от насадки гидромонитора до забоя (или просто — от гидромонитора до забоя), пожалуй, является наиболее удобным параметром, который позволяет управлять величиной осевого динамического давления для обеспечения искомого баланса параметров применяемого оборудования и прочностных свойств разрабатываемых пород, при котором эффективно высоконапорными струями размывается «голубая земля», но исключается дробление наиболее ценных крупных кусков янтаря. Минимальная величина расстояния от гидромонитора до забоя определяется условиями безопасности:

$$l_{min} = \varepsilon \cdot H_у, \text{ м} \quad (11)$$

Максимальная — эффективностью размыва:

$$l_{max} \le l_{раб}, \quad (12)$$

где ε — коэффициент приближения гидромонитора к забою; $H_у$ — высота разрабатываемого уступа, м; $l_{раб}$ — рабочий участок струи гидромонитора, м.

Для условий разработки «голубой земли» на карьере КЯК произведен расчет величины осевых динамических давлений гидромониторных струй в зависимости от расстояния гидромонитора до забоя при различных значениях напора перед насадкой и ее диаметра, при применении гидромонитора ГМД-250М и ГД-300 (рис. 1, 2).

Продолжая принятый логический подход к исследованию, нам необходимо обеспечить специфические требования добычи янтаря, т.е. определить такие параметры гидромониторного размыва, которые позволяют эффективно разрабатывать полезное ископаемое, но не дробить янтарь.

Исследованиями [14] установлено, что разрушение пород при их гидромониторном размыве происходит при условии:

$$p_m = (0{,}5 \div 1{,}2) \cdot Z_{сж}, \text{ кгс/см}^2, \quad (13)$$

где $Z_{сж}$ — временное сопротивление сжатию, кгс/см^2.

В работах [14, 15] для натурального янтаря приведен диапазон изменения величины $Z_{сж}$ — 17,66 до 38,40 кгс/см^2.

С целью гарантированного исключения разрушения кусков янтаря при размыве принимаем меньшее значение «абсолютной» величины твердости, т.е. 17,66 кгс/см^2 = 1,732 МПа. Подставив численное значение этой величины в зависимость (13) получим величину максимального (предельно допустимого) осевого динамического давления, при котором исключается возможность разрушения кусков янтаря.

В работе [17] приведена единая классификация горных пород, по которой «голубая земля») может быть отнесена к породам второй категории. При этом следует учитывать, что при предварительном механическом рыхлении пород перед размывом их категория снижается на единицу [18], следовательно, в нашем случае величина временного сопротивления разрушению «голубой земли» составляет 10 кгс/см^2 (0,981 МПа). Таким образом, подставив численное значение этой величины в зависимость (13), мы получим величину минимально допустимого осевого динамического давления $p_{m\,min}$, при котором достигается нормативная эффективность размыва массива горных пород.

Нанесем установленные значения величины $p_{m\,min}$ и $p_{m\,max}$ на графики в виде горизонтальных линий на рис. 1 и 2.

В результате их пересечения с графическими зависимостями изменения осевого динамического давления гидромо-

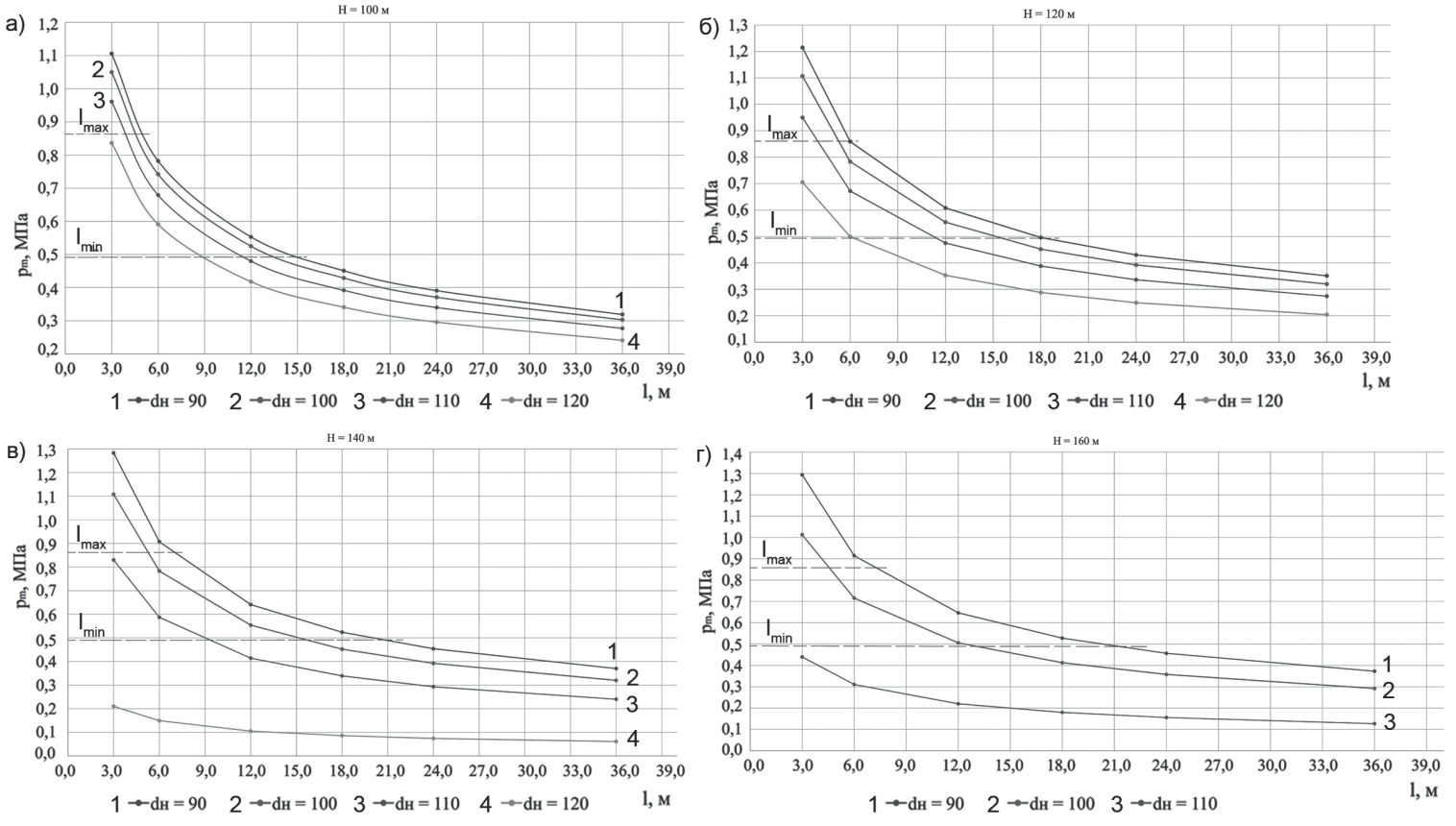


Рис. 1. Графики изменения величины осевых динамических давлений гидромониторных струй в зависимости от расстояния гидромонитора ГМД-250М до забоя: $H_н$ = 100 м; $d_н$ = 90, 100, 110, 120 мм (а); $H_н$ = 120 м; $d_н$ = 90, 100, 110, 120 мм (б); $H_н$ = 140 м; $d_н$ = 90, 100, 110, 120 мм (в); $H_н$ = 160 м; $d_н$ = 90, 100, 110 мм (г)

Fig. 1. Curves of axial dynamic pressures of water jets versus distance from giant jet GMD-250M to face: $N_п$ = 100 m; $d_п$ = 90, 100, 110, 120 mm (a); $N_п$ = 120 m; $d_п$ = 90, 100, 110, 120 mm (b); $N_п$ = 140 m; $d_п$ = 90, 100, 110, 120 mm (v); $N_п$ = 160 m; $d_п$ = 90, 100, 110 mm (g)

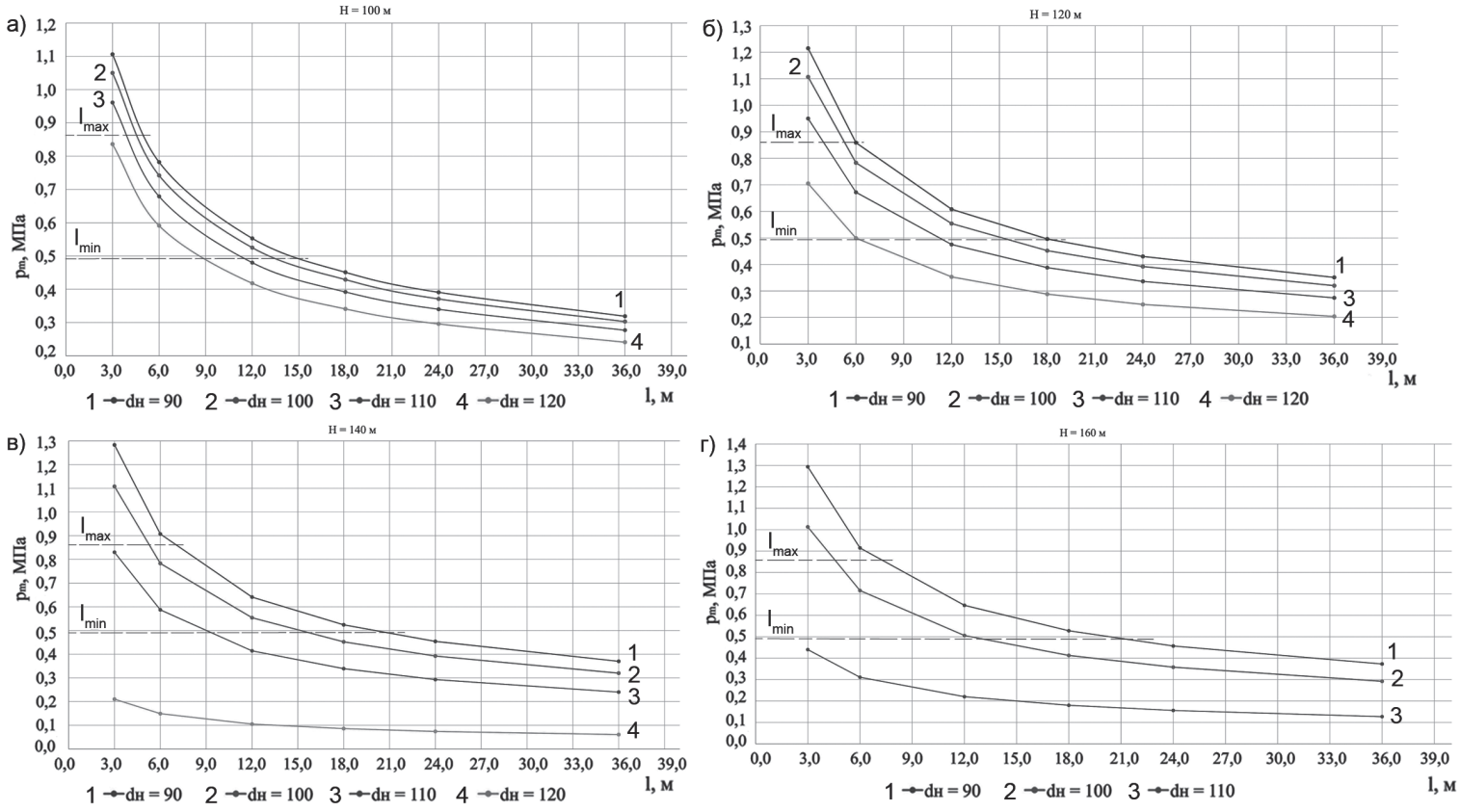


Рис. 2. Графики изменения величины осевых динамических давлений гидромониторных струй в зависимости от расстояния гидромонитора ГД-300 до забоя: $H_н$ = 100 м; $d_н$ = 120, 140, 160, 180 мм (а); $H_н$ = 120 м; $d_н$ = 120, 140, 160, 180 мм (б); $H_н$ = 140 м; $d_н$ = 120, 140, 160, 180 мм (в); $H_н$ = 160 м; $d_н$ = 90, 100, 110 мм (г)

Fig. 2. Curves of axial dynamic pressures of water jets versus distance from giant jet GD-300 to face: $N_п$ = 100 m; $d_п$ = 120, 140, 160, 180 mm (a); $N_п$ = 120 m; $d_п$ = 120, 140, 160, 180 mm (b); $N_п$ = 140 m; $d_п$ = 120, 140, 160, 180 mm (v); $N_п$ = 160 m; $d_п$ = 90, 100, 110 mm (g)

ниторных струй становится возможным установить диапазон изменения расстояния от гидромонитора до забоя, при котором обеспечивается искомый баланс параметров для работы гидромонитора ГМД-250М и ГД-300 в случае разработки навала разрыхленных пород.

Результаты исследования

Таким образом, установлены графические зависимости изменения осевого динамического давления гидромониторных струй от величины рабочего напора воды перед насадкой гидромонитора, ее диаметра и расстояния от гидромонитора до забоя, которые позволяют эффективно разрабатывать полезное ископаемое («голубую землю») и исключают дробление янтаря. Например, при применении гидромониторов ГМД-250М диапазон изменения величины расстояния от гидромонитора до забоя составляет l_{min} = 3,9 м и l_{max} = 10,3 м при величине $H_н$ = 140 м и $d_н$ = 110 м, а при величине $H_н$ = 160 м и $d_н$ = 100 м — l_{min} = 4,5 м и l_{max} = 13,5 м. Учитывая ограничение (11), при высоте разрабатываемого уступа (навала) пород $H_у$ = 12 м гидромонитором с дистанционным управлением (коэффициент приближения гидромонитора к забою ε = 0,4) по условию обеспечения безопасности ведения горных работ l_{min} = 4,8 м. Таким же способом можно установить диапазон изменения величины расстояния от гидромонитора до забоя, который позволяет эффективно разрабатывать полезное ископаемое, но не дробить янтарь, для других параметров: типов гидромониторов, величины рабочего напора воды перед насадкой гидромонитора и ее диаметра.

Методика исследования применения обезвоживающего элеватора

Для решения проблемы разрушения янтаря в результате дробления в землесосе и истирания в пульповоде длиной 1000—1600 м считаем целесообразным предложить модификацию существующей технологии, которая базируется на принципе извлечения янтаря из пульповодной канавы, по которой гидросмесь янтароносной породы транспортируется в зумпф землесосной станции. Исключение попадания кусков янтаря определенной (заданной) крупности достигается за счет соблюдения необходимого пути всплытия для их отмыва от вмещающих пород [19]. Величина этого расстояния определяет минимально допустимое приближение забоя гидромонитора к зумпфу землесосной станции, которое обеспечит их перемещение в верхнюю часть потока, из которой всплывший кусок янтаря попадает не в зумпф затем во всас землесоса и его рабочее колесо, а в обезвоживающий элеватор с перфорированными ковшами (рис. 3).

В процессе перемещения полученного продукта по лотку (или питателю) в разгрузочный бункер оператор сбрасывает куски вмещающей породы в зумпф. Янтарь накапливается в бункере, который по мере заполнения имеет возможность выгрузить накопленный материал в приемлемые емкости для дальнейшего его перемещения на склад или переработку.

Возможно также всю установку для извлечения янтаря из потока гидросмеси смонтировать на специальной мобильной платформе или на гусеничном ходу.

Анализ существующих типов оборудования для извлечения кусков частиц твердых материалов из потока гидросмеси показал, что при промышленной добыче янтаря в забое целесообразно применять обезвоживающие элеваторы, которые предназначены для транспортирования насыпных или штучных грузов в вертикальном или наклонном (под углом 45° и более) к горизонту направлении.

В горнотехнических условиях забоя, где производится добыча янтаря, наи-

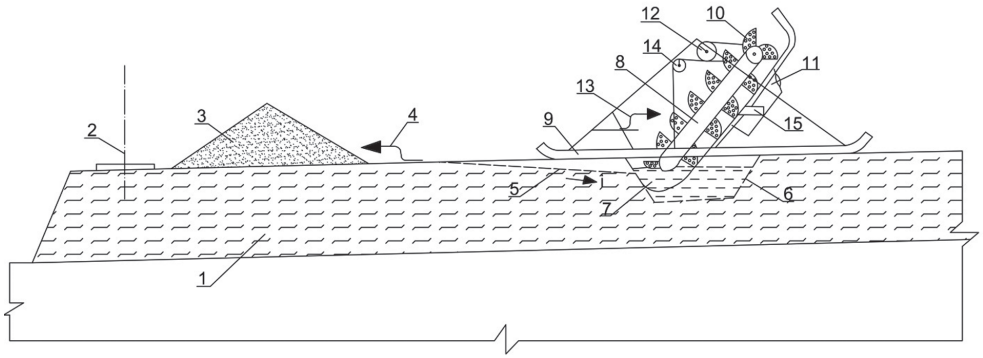


Рис. 3. Принципиальная схема установки для извлечения крупных кусков янтаря в забое: 1 — «голубая земля»; 2 — ось экскаватора, разрабатывающего полезное ископаемое; 3 — конус навала разрыхленной «голубой земли»; 4 — гидромонитор для размыва навала; 5 — пульповодная канава с уклоном *i* к забойному зумпфу землесоса; 6 — забойный зумпф землесоса; 7 — приемная емкость; 8 — обезвоживающий элеватор с перфорированными ковшами; 9 — полозья саней из труб платформы для установки оборудования; 10 — перфорированный ковш; 11 — разгрузочный бункер; 12 — привод элеватора; 13 — мини гидромонитор для размыва напорной водой заиленной части приемной емкости при перемещении установки; 14 — привод устройства для подъема и опускания в зумпф обезвоживающего элеватора и его приемного бункера; 15 — слабонаклонный лоток или питатель для сортировки обезвоженного продукта

Fig. 3. Basic diagram of coarse amber intake face plant: 1—Blue Earth; 2—axis of mining excavator; 3—cone of loose Blue Earth muck; 4—jet gun; 5—pulp slurry trench inclined at an angle *i* to face pit of suction dredge; 6—face pit of suction dredge; 7—intake reservoir; 8—dewatering elevator with perforated buckets; 9—tube sledge runners a platform for installation of equipment; 10—perforated bucket; 11—discharge bunker; 12—elevator drive; 13—mini gun for head water jetting of mud in intake reservoir when equipment is to be removed; 14—drive of facility to put dewatering elevator and intake reservoir in and out of face pit; 15—slightly inclined tray or feeder for sorting of dewatered product

более приемлемыми, на наш взгляд, являются ковшовые элеваторы, передвижные (устанавливаются на специальной несамоходной платформе) цепные, с наклонным перемещением груза и самотечной разгрузкой. Расположение ковшей — на некотором расстоянии друг от друга. Ковшовой элеватор применяют только для подъема кусков янтаря до пункта разгрузки. При этом ковш элеватора должен быть перфорированным с целью обезвоживания янтаря, поступающего в него в потоке гидросмеси и возможностью одновременной классификации, т.е. извлечением только крупных фракций.

Основные параметры ковша — тип (конструкция), геометрические размеры (ширина $B_к$, вылет L и высота H) и емкость, которые определяют его производительность и возможность применения. Конструкция (тип) ковша определяется свойствами транспортируемого груза и способами загрузки и разгрузки ковшей. Для вертикальных элеваторов предусмотрены четыре типа ковшей: глубокие, мелкие со скругленным (цилиндрическим) днищем и ковши с бортовыми направляющими с остроугольным и скругленным днищем [20].

Ширина ковша должна обеспечить попадание потока гидросмеси «голубой земли», которая содержит куски янтаря, в ковш обезвоживающего элеватора, следовательно, этот параметр должен определяться величиной (шириной) потока пульповодной канавы. Ширина потока, в свою очередь, зависит от производительности гидромонитора, размывающего навал «голубой земли», напора воды на насадке гидромонитора и физико-механических свойств разрабатываемых пород.

Все вышеперечисленные параметры, в свою очередь, определяют производительность забойной землесосной станции, которая осуществляет доставку гидросмеси янтаря из забоя до обогатительной установки. Таким образом, ширина потока может быть установлена в результате расчета самотечного транспорта по пульповодной канаве для различных значений величины подачи забойного землесоса. Учитывая, что в настоящее время применяются грунтовые насосы (землесосы) с величиной подачи 2000 и 4000 м³/ч, произведем расчет параметров самотечного транспорта в горнотехнических условиях КЯК, что позволит установить ширину ковша обезвоживающего элеватора для извлечения крупных классов янтаря в забое при его промышленной добыче.

Для определения параметров самотечного транспорта в горнотехнических условиях КЯК воспользуемся известной методикой [21].

Определим плотность гидросмеси:

$$\gamma_г = \frac{\gamma_т (1-m)+q}{(1-m)+q}\ , \text{т/м}^3 \quad (14)$$

где $\gamma_т$ — плотность «голубой земли», т/м³; m — пористость породы; q — удельный расход воды на размыв 1 м³ породы в целике, м³/м³.

Определим весовое содержание твердого в гидросмеси:

$$P = Т/Ж \times 100, \% \quad (15)$$

Определим средневзвешенный диаметр транспортируемой породы:

$$d_{ср} = \frac{\sum P_i d_i}{100}\ , \text{мм} \quad (16)$$

где d_i — среднеарифметическое значение i-й фракции, мм; P_i — процентное содержание i-й фракции, %.

Для условий КЯК определяем глубину потока по формуле:

$$Q_г = m_л h_к^2 \left(0,35 + 2,15\sqrt[3]{Ph_к^2}\right)\sqrt{\frac{d_{ср}}{0,4}} \quad (17)$$

где $m_л$ — соотношение длины к высоте потока; $h_к$ — глубина потока, м.

Определим ширину потока:

$$b = m_л \times h_к, \text{ м} \quad (18)$$

Определим площадь живого сечения потока, соответствующая критической скорости:

$$\omega = b \times h_к, \text{ м}^2 \quad (19)$$

Определим критическую скорость по формуле:

$$V_{кр} = K_з\, Q_г/\omega, \text{ м/с}, \quad (20)$$

где $K_з$ = 1,1 — коэффициент запаса, учитывающий местные сопротивления.

Определим смоченный периметр лотка:

$$x = b + 2h_к, \text{ м} \quad (21)$$

Гидравлический радиус потока:

$$R = \omega/x, \text{ м} \quad (22)$$

Определим коэффициент Шези по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n}R^{1,5\sqrt{n}} \quad (23)$$

где n — коэффициент шероховатости.

Определим необходимый уклон лотка по формуле:

$$i = \frac{v_{kp}^2}{C^2 \times R} \quad (24)$$

Также необходимо рассчитать требуемую производительность элеватора по янтарю, в том числе для выделяемых фракций +25, +50, +100 мм.

Производительность по твердому составит:

$$Q_т = \frac{Q_Г}{(1-m)+q}\ , \text{м}^3/\text{ч} \quad (25)$$

Производительность по янтарю:

$$Q_я = Q_г \cdot C_о, \text{ кг/ч} \quad (26)$$

где $C_о$ — среднее содержание янтаря.

Требуемая производительность по янтарю:

$$Q_{тр.я.} = Q_я \cdot \%, \text{ кг/ч} \quad (27)$$

где $Q_{тр.я.}$ — процентное содержание выделяемой фракции, дол. ед.

Результаты исследования

В соответствии с [20] для условий КЯК подходит цепной тихоходный элеватор с расставленными специальными ковшами (ЦГТ). Согласно параметрам самотечного транспорта, выбираем глубокие ковши с параметрами: ширина 250 мм, длина 140 мм, высота 150 мм, емкость ковша 2,0 л. Так как нам требуются перфорированные ковши для обезвоживания янтаря, отверстия должны быть меньшим диаметром, чем вылавливаемый кусок.

Производительность ковшового элеватора определим из зависимости [22]:

$$\frac{i_0}{t_к} = \frac{Q_э}{3{,}6v\rho\psi}\text{, л/м,} \qquad (28)$$

где i_0 — геометрический объем ковша, л; $t_к$ — шаг расстановки ковшей, м; $Q_э$ — расчетная производительность элеватора, кг/ч; v — скорость движения ковшей, м/с (до 1 м/с); ψ — коэффициент заполнения ковшей; ρ — плотность янтаря, кг/м^3.

Формула для расчета производительности элеватора имеет вид:

$$Q_э = 3{,}6v\rho\psi\frac{i_0}{t_к}\text{, кг/ч} \qquad (29)$$

Для глубоких и мелких расставленных ковшей [21]:

$$h_к = (2{,}5 \div 3{,}0) \cdot H\text{, м} \qquad (30)$$

Для сомкнутых ковшей с бортовыми направляющими [21]:

$$t_к \approx H\text{, м} \qquad (31)$$

где H — высота ковша, м.

Выполнив указанные выше расчеты, получим, что принятый ковшовый элеватор с перфорированми ковшами с запасом обеспечивает требуемую производительность по янтарю.

Выводы

Таким образом, для условий Калининградского комбината был установлен диапазон изменения величины расстояния от гидромонитора до забоя, при котором достигается оптимальное осевое динамическое давление для различных значений величины напора воды на насадке гидромонитора и ее диаметра, что позволяет эффективно осуществлять размыв массива вмещающих пород и не допускать дробления янтаря.

Например, при применении гидромониторов ГМД-250М диапазон изменения величины расстояния от гидромонитора до забоя составляет от 4,8 до 10,3 м при величине $H_н$ = 140 м и $d_н$ = 110 м и от 4,8 до 13,5 м при величине $H_н$ = 160 м и $d_н$ = 100 м.

Для решения проблемы разрушения янтаря в результате дробления в землесосе и истирания в пульповоде рекомендуется включение в технологическую схему цепного тихоходного элеватора с расставленными специальными ковшами (ЦГТ). Определены оптимальные параметры ковшей обезвоживающего элеватора: ширина 250 мм, длина 140 мм, высота 150 мм. Для обезвоживания предусматривается перфорация ковшей. Размер отверстий зависит от заданной крупности выделяемого материала. Все эти мероприятия приведут к значительному повышению эффективности добычи янтаря на Калининградском янтарном комбинате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rodrigo A., Penalver E., Lopez del Valle R., Barron E., Delclos X.* The heritage interest of the cretaceous amber outcrops in the Iberian Peninsula, and their management and protection // Geoheritage, 2018, No. 10 (3), pp. 511—523.

2. *Szamalek K.* Amber as a strategic raw material // Biuletyn — Panstwowego Instytutu Geologicznego, 2016, No. 466, pp. 291—296.

3. *Poulin J., Helwig K.* The characterisation of amber from deposit sites in western and northern Canada // Journal of archaeological science: Reports, 2016, No. 7, pp. 155—168.

4. *Schmidt A. R., Kaulfuss U., Bannister J. M., Baranov V., Beimforde C., Bleile N., Borkent A., Busch A., Conran J. G., Engel M. S., Harvey M., Kennedy E. M., Kerr P. H., Kettunen E., Kiecksee A. P., Lengeling F., Lindqvist J. K., Maraun M., Mildenhall D. C., Perrichot V., Rikkinen J., Sadowski E. M., Seyfullah L. J., Stebner F., Szwedo J., Ulbrich P., Lee D. E.* Amber inclusions from New Zealand // Gondwana Research, 2018, No. 56, pp. 135—146.

5. *Melinte-Dobrinescu M. C., Brustur T., Jipa D., Macalet R., Ion G., Ion E., Popa A., Stanescu I., Briceag A.* The geological and palaeontological heritage of the Buzau lad geopark (Carpathians, Romania) // Geoheritage, 2017, No. 9 (2), pp. 225—236.

6. *Малашенков Б. М.* Янтарная отрасль Российской Федерации и мировой рынок янтаря // Государственное управление. Электронный вестник. — 2018. — № 69. — С. 103—126.

7. *Кононенко Е. А., Садыков А. А.* Гидромеханизированная технология на карьере Калининградского янтарного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S11. — С. 105—113.

8. *Кононенко Е. А., Садыков А. А.* Основные направления совершенствования технологии добычи янтаря на карьере Калининградского янтарного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 8. — С. 86—91.

9. *Алексеев А. Д.* Определение производительности гидромонитора и расхода воды при разработке россыпных месторождений гидравлическим способом / Труды ЦНИГРИ, Вып. 47. — М., 1962.

10. *Кузьмич И. А., Гольдин Ю. А., Тимме А. А.* Способы разрушения и выемки угля тонкими струями воды различных параметров. — М., 1970. — 104 с.

11. *Куклин И. С., Штукатуров К. М.* Новое в методах изучения структуры гидромониторных струй / Труды ИГД УФ СССР. № 3. — Свердловск, 1962. — С. 53—61.

12. *Лешков В. Г.* Разработка россыпных месторождений: Учебник для вузов. — М.: Горная книга, МГГУ, 2007. — 906 с.

13. *Шавловский С. С.* Основы динамики струй при разрушении горного массива. — М.: Наука, 1979. — 173 с.

14. *Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е.* Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. — М.: ННЦГП-ИГД, 2004. — 645.

15. *Сребродольский Б. И.* Янтарь. — М.: Наука, 1984. — 112 с.

16. *Мошков Н. Н.* Исцеляющее тепло янтаря (история, медицина, косметология). — Калининград, 2006. — 151 с.

17. Единые нормы выработки (времени) на разработку россыпных месторождений открытым способом (МЦМ СССР). — Магадан, 1981. — 300 с.

18. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. — Челябинск: НИИОГР, 1991. — 350 с.

19. *Садыков А. А., Пастихин Д. В., Пигулевский В. С., Кононенко Е. А.* К вопросу совершенствования технологии добычи янтаря на карьере Калининградского янтарного комбината // Маркшейдерия и недропользование. — 2018. — № 5 (97). — С. 42—46.

20. *ГОСТ СССР 2036-77* Элеваторы ковшовые вертикальные. Технические условия. — М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1977. — 12 с.

21. *Нурок Г. А., Бруякин Ю. В., Ляшевич В. В.* Гидротранспорт горных пород. — М.: МГИ, 1974. — 168 с.

22. *Горшков В. В.* Методические указания для выполнения расчетно-графической работы по дисциплине «Сооружения и оборудование предприятий для хранения продукции растениеводства и животноводства». — Рязань, 2010. — 29 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Rodrigo A., Penalver E., Lopez del Valle R., Barron E., Delclos X. The heritage interest of the cretaceous amber outcrops in the Iberian Peninsula, and their management and protection. *Geoheritage*, 2018, No. 10 (3), pp. 511—523.

2. Szamalek K. Amber as a strategic raw material. *Biuletyn — Panstwowego Instytutu Geologicznego*, 2016, No. 466, pp. 291—296.

3. Poulin J., Helwig K. The characterisation of amber from deposit sites in western and northern Canada. *Journal of archaeological science: Reports*, 2016, No. 7, pp. 155—168.

4. Schmidt A.R., Kaulfuss U., Bannister J.M., Baranov V., Beimforde C., Bleile N., Borkent A., Busch A., Conran J.G., Engel M.S., Harvey M., Kennedy E.M., Kerr P.H., Kettunen E., Kiecksee A.P., Lengeling F., Lindqvist J.K., Maraun M., Mildenhall D.C., Perrichot V., Rikkinen J., Sadowski E.M., Seyfullah L.J., Stebner F., Szwedo J., Ulbrich P., Lee D.E. Amber inclusions from New Zealand. *Gondwana Research*, 2018, No. 56, pp. 135—146.

5. Melinte-Dobrinescu M.C., Brustur T., Jipa D., Macalet R., Ion G., Ion E., Popa A., Stanescu I., Briceag A. The geological and palaeontological heritage of the Buzau lad geopark (Carpathians, Romania). *Geoheritage*, 2017, No. 9 (2), pp. 225—236.

6. Malashenkov B.M. Amber industry of the Russian Federation and the amber market in the world. *Elektronnyy vestnik*. 2018, no 69, pp. 103—126.

7. Kononenko E.A., Sadykov A.A. Hydraulic mining technology in open pit mine of the Kaliningrad Amber Factory. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S11, pp. 105—113. [In Russ].

8. Kononenko E.A., Sadykov A.A. Main trends of advancement in amber production technology in open pit mine of the Kaliningrad Amber Factory. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 8, pp. 86—91. [In Russ].

9. Alekseev A.D. Determination of jet capacity and water flow rate in hydraulic mining of placers. *Trudy TsNIGRI*, Issue 47, Moscow, 1962. [In Russ].

10. Kuz'mich I.A., Gol'din Yu.A., Timme A.A. *Sposoby razrusheniya i vyemki uglya tonkimi struyami vody razlichnykh parametrov* [Methods of destruction and extraction of coal by thin water jets of different parameters], Moscow, 1970, 104 p.

11. Kuklin I.S., Shtukaturov K.M. The new in the study methods of gun jets. *Trudy IGD UF SSSR*, no 3. Sverdlovsk, 1962, pp. 53—61. [In Russ].

12. Leshkov V.G. *Razrabotka rossypnykh mestorozhdeniy*: Uchebnik dlya vuzov [Placer mining: Textbook for high schools], Moscow, Gornaya kniga, MGGU, 2007, 906 p.

13. Shavlovskiy S.S. *Osnovy dinamiki struy pri razrushenii gornogo massiva* [Framework of jet dynamics in rock mass destruction], Moscow, Nauka, 1979, 173 p.

14. Merzlyakov V.G., Baftalovskiy V.E. *Fiziko-tekhnicheskie osnovy gidrostruynykh tekhnologiy v gornom proizvodstve* [Physicotechnical framework of water jet technologies in mining], Moscow, NNTSGP-IGD, 2004. 645.

15. Srebrodol'skiy B.I. *Yantar'* [Amber], Moscow, Nauka, 1984, 112 p.

16. Moshkov N.N. *Istselyayushchee teplo yantarya (istoriya, meditsina, kosmetologiya)* [The healing heat of amber (history, medicine, cosmetology)], Kaliningrad, 2006, 151 p.

17. *Edinye normy vyrabotki (vremeni) na razrabotku rossypnykh mestorozhdeniy otkrytym sposobom (MTSM SSSR)* [Uniform production standards (time) for open pit mining of placers (USSR Ministry of Nonferrous Metallurgy)], Magadan, 1981, 300 p.

18. *Tipovye tekhnologicheskie skhemy vedeniya gornykh rabot na ugol'nykh razrezakh* [Standard mining flow charts for open pit coal mines], Chelyabinsk, NIIOGR, 1991, 350 p.

19. Sadykov A.A., Pastikhin D.V., Pigulevskiy V.S., Kononenko E.A. Improvement of amber production technology in the open pit mine of the Kaliningrad Amber Factory. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2018, no 5 (97), pp. 42—46. [In Russ].

20. *Elevatory kovshovye vertikal'nye. Tekhnicheskie usloviya. GOST SSSR 2036-77* [Vertical bucket elevators. Technical conditions. State Standart SSSR 2036-77], Moscow, 1977, 12 p.

21. Nurok G.A., Bruyakin Yu.V., Lyashevich V.V. *Gidrotransport gornykh porod* [Hydraulic transport of rocks], Moscow, MGI, 1974, 168 p.

22. Gorshkov V.V. *Metodicheskie ukazaniya dlya vypolneniya raschetno-graficheskoy raboty po distsipline «Sooruzheniya i oborudovanie predpriyatiy dlya khraneniya produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva»* [Instructional guidelines on calculation and plotting in the discipline: Structures and equipment of storages for crop growing and cattle breeding products], Ryazan', 2010, 29 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Деревяшкин Игорь Владимирович[1] — д-р техн. наук, профессор,
Садыков Артур Алексович[1] — горный инженер, ассистент,
e-mail: artur.aleksovich@gmail.com,
[1] Московский политехнический университет.
Для контактов: Садыков А.А., e-mail: artur.aleksovich@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

I.V. Derevyashkin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
A.A. Sadykov[1], Mining Engineer, Assistant, e-mail: artur.aleksovich@gmail.com,
[1] Moscow Polytechnic University, 107023, Moscow, Russia.
Corresponding author: A.A. Sadykov, e-mail: artur.aleksovich@gmail.com.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ

(2019, СВ 24, 32 с.)

Козлова Ольга Юрьевна[1] — аспирант,
Козлов Валерий Владимирович[1] — д-р техн. наук, доцент,
Агафонов Валерий Владимирович[1] — д-р техн. наук, профессор,
[1] МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: msmu-prpm@yandex.ru.

Представлены результаты аналитических исследований в области обоснования рациональной структуры схемы транспорта подземных рудников на базе имитационного моделирования. В современных условиях недропользования основная технологическая задача деятельности любого горнодобывающего предприятия, связанного с добычей различного типа руд — выемка, погрузка и вывоз горной массы — выполняется погрузочно-доставочными машинами (ПДМ и ШАС), представляющими собой единую логистическую систему с выполнением определенных производственных и логистических процессов. Эффективность работы горнодобывающего предприятия во многом определяется эффективностью взаимодействия отдельных элементов этой производственной системы (погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов), характеризуемой величиной простоев оборудования в течение смены в ожидании работы, которые иногда достигают до 30% рабочего времени. Предложены основные элементы процедуры оптимизации логистической системы подземных рудников посредством совершенствования системы распределения шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки и трассам доставки руды.

RATIONALE FOR RATIONAL STRUCTURE AND PARAMETERS LOGISTICS SYSTEM OF UNDERGROUND MINES

Kozlova O.Yu.[1], Graduate Student, *V.V. Kozlov*[1], Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
V.V. Agafonov[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru.

The results of analytical studies in the field of substantiation of rational structure of underground mine transport scheme on the basis of simulation modeling are presented. In modern conditions of subsoil use, the main technological task of any mining enterprise associated with the extraction of various types of ores — excavation, loading and removal of rock mass — is performed by loading and delivery machines (PDM and SHAS), which are a single logistics system with the implementation of certain production and logistics processes. The efficiency of the mining enterprise is largely determined by the efficiency of the interaction of individual elements of the production system (loading and delivery machines and mine dump trucks), characterized by the amount of downtime during the shift waiting for work, which sometimes reach up to 30% of the working time. The main elements of the procedure of optimization of the logistics system of underground mines by improving the distribution system of mine dump trucks at the points of loading and routes of delivery of ore are proposed.