

УДК 622.411.33

Реликтовые газовые гидраты как возможный источник загазованности подземных горных выработок криолитозоны

С.М. Федосеев

Приведены возможные формы нахождения газа пород криолитозоны по фазовому состоянию, откуда он поступает в шахтную атмосферу подземных горных выработок, нарушая норму санитарной гигиены и технику безопасности труда горнорабочих. Подавляющую часть газового компонента пород криолитозоны составляет газ при разложении реликтовых газовых гидратов ввиду его большой концентрации в самом гидрате, достигающей до 200 объемов на 1 объем гидрата. На практике известен случай отравления газами горнорабочих (3 чел.), с летальными исходами (2 чел.) во время проведения в простаивающей шахте №38, ведущей повторную отработку участка техногенной глубокопогребенной россыпи «Хатын-Юрях» Аллаха-Юньского золотоносного района. По заключению судебно-медицинской экспертизы причиной трагедии явились механическая асфикция и отек легких вследствие недостатка кислорода в организме, ввиду изменения состава шахтного воздуха в результате поступления метана и углекислого газа из вмещающих пород в атмосферу простаивающей, изолированной от дневной поверхности горной выработки. Проведен аналитический расчет объема поступающего метана в шахтную атмосферу криолитозоны в летний период эксплуатации в результате нарушения термобарических условий стабильности внутримерзлотных газовых гидратов. Для оценки газосодержания в толще мерзлых пород, содержащих реликтовые газовые гидраты, предложено использовать коэффициент гидратности (K_h) в условиях действия эффекта самоконсервации гидратов, определяемый из экспериментальных данных.

Ключевые слова: криолитозона, генезис газа в ММП, классификация газового компонента, газовые гидраты, метан, горная выработка, россыпь, объем газа.

The paper presents possible ways of gas whereabouts in cryolithozone rocks on the phase state, where it enters the mine atmosphere of underground workings, breaking the standard of sanitary hygiene, mining occupational health and safety. The overwhelming majority of the gas component in the cryolithozone rocks is a gas from decomposition of relict gas hydrates because of its high concentration in the hydrate, reaching up to 200 volumes to 1 volume of hydrate. In practice it is known the case of miners (3 pers.) gas-poisoning with fatal accidents (2 pers.) during their being in idle mine No.38 where recurring mining works of technogenic deep buried placer «Hatyn Yuriakh» of Allah-Yunsky gold-bearing area took place. The forensic examination drew a conclusion that the cause of the tragedy was mechanical asphyxia and pulmonary edema due to lack of oxygen in the body, because of changing of composition of mine air as a result of inflow of methane and carbon dioxide from the surrounding rocks into the atmosphere of idle, isolated from the surface excavation. The analytical calculation of volume of methane entering the shaft atmosphere of the cryolithozone in summer time period of operation due to violation of thermobaric conditions of stability of gas hydrates in frozen rocks. To estimate the gas content in the frozen rocks containing relict gas hydrates it is proposed to use the ratio of hydratation (K_h) under the action of self-preservation effect hydrates determined from experimental data.

Key words: permafrost, gas genesis in the IMF, classification of gas component, gas hydrates, methane, mining, placer, gas volume.

Исследование генезиса и формы нахождения газа в многолетнемерзлых породах (ММП), рудах, откуда он поступает в атмосферу подземных горных выработок криолитозоны, имеет не только научный, но и практический интерес. Ранее выделения метана и углекислого газа в подземную горную выработку со значительным де-

битом были зафиксированы при разведке и разработке отдельных глубокопогребенных мерзлых россыпей на Колыме еще в 60-е гг. XX столетия. На отдельных шахтах были зафиксированы даже случаи вспышек метана и травмирования (ожога) горнорабочих.

Как видно из первых публикаций, глубина залегания россыпей, где наблюдались проявления метана и углекислого газа, не превышала 100 м. Наиболее интенсивное выделение газов син-

ФЕДОСЕЕВ Семен Михайлович – н.с. ИГДС СО РАН, vaviro@mail.ru.

хронно процессу разрушения горных пород и, напротив, в обычных условиях выделение метана в атмосферу горной выработки незначительно или вовсе отсутствует. По мнению авторов, разрушение горных пород приводит к изменению внешних термобарических условий, что приводит к высвобождению газов и их интенсивному поступлению в шахтную атмосферу. В условиях ММП занятисть пор льдом, незамершей водой, а также низкая растворимость газов во льду и незамершей воде уменьшают долю свободного газа и впервые Чабан П.Д. с сотрудниками высказали мысль на иное физическое состояние газов в породах криолитозоны, а именно на твердое газогидратное [1, 2].

Газовые гидраты представляют собой твердые молекулярные соединения, образованные из молекул воды и газа при низких температурах и высоких давлениях без образования химической связи. При этом 1 объем газового гидрата содержит до 200 объемов газа, приведенного в нормальные условия. В природе область распространения газовых гидратов охватывает зоны распространения низкотемпературных пород и глубоководные осадки океанов и морей. Под термином «зона стабильности газогидратов» (ЗСГ) понимают часть литосферы и гидросферы Земли, термобарический (Т–Б) и геохимический режим которой соответствует условиям образования и устойчивого существования гидратов газа определенного состава [3].

На основе лабораторных и полевых исследований внутримерзлотных гидратосодержащих пород вводится понятие зоны «метастабильности газогидратов» (ЗМГ). Под этим термином понимается часть разреза ММП выше кровли ЗСГ, в которой температурный режим соответствует условиям действия так называемого эффекта самоконсервации газовых гидратов при отрицательных по Цельсию температурах и давлениях значительно ниже равновесных. Именно в этой зоне по утверждению многих авторов могут встречаться реликтовые (внутримерзлотные) газовые гидраты, сохранившиеся в толщах многолетнемерзлых пород с предыдущих геологических эпох, когда термобарические и геохимические условия соответствовали условиям образования и стабильности гидратов. В настоящее время скопления реликтовых газовых гидратов в криолитозоне выявлены как по прямым признакам (гидратосодержащие керны), так и по ряду косвенных признаков. Они широко распространены на небольших глубинах (до 200–250 м) на севере Западной Сибири, в частности на Бованенском ГКМ и Ямбургском ГКМ, в Западной Якутии и Магаданской области, а также на Арктическом побережье Канады, на Аляске [3–5].

Существование в толщах многолетнемерзлых пород реликтовых внутримерзлотных газовых гидратов и их разложение при нарушении термобарических условий, где проводятся подземные горные работы, привлекают внимание горняков с точки зрения норм санитарной гигиены и техники безопасности труда горнорабочих.

По генезису газ в многолетнемерзлых аллювиальных отложениях, дисперсных породах бутовых полосах, закладочных массивах шахт и рудников может иметь различное происхождение. Это биохимический газ (метан), получаемый в результате переработки бактериями захороненного органического вещества в периоды потеплений и образовавшийся скопления в результате криогенного концентрирования в периоды похолоданий. Кроме этого, газы в рудничную атмосферу могут поступать в процессе окисления сульфидных руд. Это может быть также глубинный катагенный газ, мигрировавший в зону ММП по разломам, напластованиям и литологическим «окнам». Наконец, это может быть угольный газ, поднимающийся вверх по разломам и напластованиям над угленосными толщами и концентрирующийся под непроницаемыми толщами многолетнемерзлых пород [5].

В настоящее время российскими учеными предложена классификация газового компонента пород криолитозоны по форме нахождения газа по фазовому состоянию. Выделены три основных класса (формы) нахождения газа – сорбированный (включающий адсорбированную и абсорбированную формы), свободный и растворенный [6].

Адсорбированный на поверхности органического скелета породы газ образуется в случае морозных пород и неполного заполнения поверхности молекулами воды, его количество невелико и составляет несколько процентов от общего объема всего газа в породе.

Сорбированный угольный газ содержится в многолетнемерзлых углях в виде твердого углеметанового раствора и адсорбированного углем метана. Он составляет 90% объема всего газа, содержащегося в углях, и практически не выделяется при вскрытии пласта и оттаивании образцов угля.

Вклад в суммарное содержание газа, находящегося в ММП растворенных газообразных включений в пленках незамерзшей воды и во льду, незначителен ввиду низкой растворимости основного неполярного газа пород криолитозоны – метана.

Свободный газ в многолетнемерзлых породах находится в поровом пространстве, не занятом льдом, газовым гидратом и незамерзшей водой, существует в виде защемленного газа в породах

при отсутствии открытой пористости и подвижного – в породах с открытой пористостью. Объем свободного газа определяется пористостью многолетнемерзлых пород и пластовым давлением.

Подавляющую часть газового компонента пород криолитозоны, по мнению ученых, составляет абсорбированный газ. Он представлен в виде уникальных малоизученных клатратных соединений газа с водой – газовых гидратов. Объем выделяемого газа может превысить пористость мерзлых гидратосодержащих пород на 2–3 порядка и проявляется при их растеплении, оттаивании и сопровождается интенсивными газопрооявлениями.

Скоплению газов в действующих подземных горных выработках криолитозоны препятствуют интенсивная вентиляция и тот факт, что отбитые мерзлые пески и торфа, как правило, сразу выдаются на дневную поверхность, где их дегазация не представляет особой опасности. Поступление и скопление газов в атмосфере простаивающих, как правило, изолированных от дневной поверхности подземных горных выработок до опасных концентраций может происходить в результате разложения внутримерзлотных газовых гидратов при растеплении и оттаивании вмещающих пород в летний период эксплуатации.

На практике известен случай, произошедший 24 мая 1999 г. в Республике Саха (Якутия) на шахте №38, ведущей повторную отработку участка техногенной глубокопогребенной россыпи «Хатын-Юрях» Аллаха-Юньского золотоносного района. В данном случае поступающие в атмосферу простаивающей (как правило, изолированной от дневной поверхности) непрветриваемой, подземной горной выработки криолитозоны газы становились причиной отравления горнорабочих (3 чел.) и случаев с летальными исходами (2 чел.). Проходка штрека сечением 8 м² проводилась буровзрывным способом и проветривалась от взрывных газов.

Анализ шахтного воздуха был проведен спустя 6 часов после сбойки штрека с отработанной простаивающей шахтой. Шахтный воздух имел следующий состав: $O_2 \approx 15\%$ при норме 20%; $CO_2 \approx 4\%$ при ПДК = 0,5%; метана $CH_4 \approx 3\%$ при ПДК = 0,5%, что был абсолютно непригоден для дыхания по многим показателям. Есть все основания предполагать, что концентрация кислорода в момент гибели людей была намного ниже, а CO_2 и CH_4 наоборот выше, поскольку анализы были взяты по истечении длительного времени. По заключению судебно-медицинской экспертизы причиной смерти горнорабочих явились механическая асфиксия и отек легких вследствие недостатка кислорода в организме. Признаков

отравления угарными, углекислым газами, сероводородом и окислами азота (взрывных газов) при исследовании трупов не выявлено [7].

Глубина россыпных шахт месторождений Аллаха-Юньского золотоносного района, как правило, не превышает 70 м и температура пород на глубине 15 м составляет $-4,5^\circ C$, а на глубине 50 м – $-4,5 \dots -5,0^\circ C$. Мощность ММП достигает 150–200 м. В многолетнемерзлых породах содержатся различные виды подземного льда, широко распространены сегрегационные льды, особенно в верхнем горизонте многолетнемерзлой толщи [8].

Литологический состав четвертичных отложений, характерных для россыпных месторождений Аллаха-Юньского золотоносного района, приведен на рис.1 [9]. Продуктивный промышленный пласт приурочен к нижней части наносных отложений и к плотнику, наиболее обогащенному золотом и представленному в различной степени разрушенными коренными породами.

Мощность пласта песков не более 2 м, последний представлен погребенным аллювием, в котором преобладает мелкозернистый материал (песок и супесь) с небольшим включением плоской, слабоокатанной гальки и мелкого щебня. Для погребенного аллювия характерны массивные криогенные текстуры. Гранулометрический состав продуктивного пласта представлен

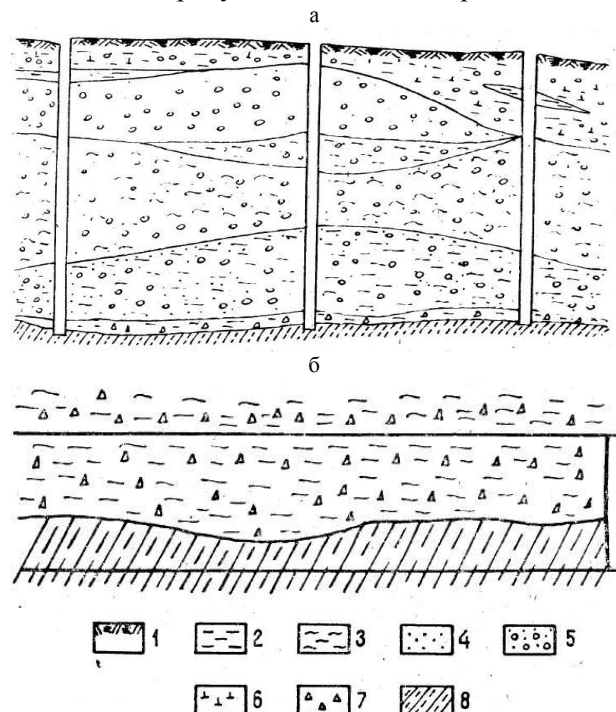


Рис.1. Литологический состав продуктивного пласта (а) и четвертичных отложений (б) по одному из месторождений Аллаха-Юня: 1 – растительный слой; 2 – ил, суглинки; 3 – илесто-глинистый материал; 4 – песок; 5 – галечник; 6 – лед; 7 – щебень, дресва; 8 – коренные породы (глинистые сланцы)

Плотность, влажность мерзлых рыхлых пород месторождений Аллах-Юня

Объект исследований	Характеристика пород	Плотность, т/м ³	Весовая влажность, %
Месторождения Аллах-Юня	Озерные отложения (глинисто-илистый) материал, суглинки	1,9–2,0	21
Шахта №28	Склоново-ледниковые отложения (щебенистый материал 30–40%, песчано-глинистый наполнитель 60–70%)	2,0–2,1	15–17
Шахта №9	Аллювиальные отложения (мелкий щебень, дресва 60%, песчано-глинистый наполнитель 40%). Продуктивный пласт: а) погребенный аллювий (мелкий щебень, слабоокатанная галя, дресва, сцементированные песчано-глинистым заполнителем); б) донный элювий (глинистые сланцы)	2,2–2,3 2,2–2,3 2,35–2,6	9–11 10–12,8 5,8–7,2

от гравийно-галечного материала до песчано-илистых частиц. Щебень (фракция 25 мм и выше) составляет 30%. Щебень, дресва, мелкие гали (фракция от 25 до 5 мм) составляют 38%, а песчано-илистые частицы (фракция менее 5 мм) – 31%. Коэффициент крепости золотоносных мерзлых рыхлых отложений соответствует 4–6 категориям классификации по М.М. Протодяконову. Породы продуктивного пласта содержат свободную двуокись кремния, которая, по данным ВНИИ-1, составляет 29,4–32,6%. Плотность, влажность мерзлых рыхлых пород месторождений Аллах-Юньского золотоносного района приведены в таблице [9].

Аналитический расчет количества, поступающего в горную выработку метана при нарушении термобарических условий стабильности внутримерзлотных газовых гидратов

Рассмотрим и оценим количество поступающего в подземную горную выработку (рис. 2) метана из многолетнемерзлых дисперсных песков, слагающих россыпи при разложении внутримерзлотного гидрата метана (основного газа в недрах).

Идеальная формула (при заполнении всех полостей клатратной решетки) гидрата метана, основного газа в недрах имеет вид $M \cdot 5,75H_2O$ (где M – молекула газа-гидратообразователя) или на 1 моль ($0,0224 \text{ м}^3$) газа-гидратообразователя приходится 5,75 молей воды ($0,1035 \text{ кг}$) [10]. Согласно идеальной формуле гидрата метана при полном переходе любого количества воды (m) в гидрат, объем поглощенного газа равен:

$$V = \frac{0,0224(\text{м}^3) \cdot m(\text{кг})}{0,1035(\text{кг})}, \text{ м}^3. \quad (1)$$

В случае разложения в породе внутримерзлотного гидрата метана, содержащего количество $m_{г.в} = K_h \cdot m_0(\text{кг})$ гидратной влаги, из породы выделяется объем газа, равный $V_{г.в}(\text{м}^3)$;

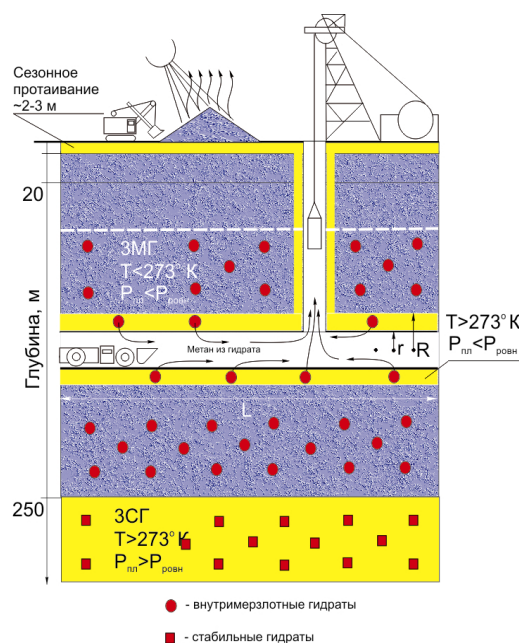


Рис. 2. Горная выработка правильной формы в ЗМГ и ореол оттаивания вокруг нее; r – радиус выработки; R – радиус (ореол) протаивания; L – длина выработки

$$V_{г.в} = \frac{0,0224(\text{м}^3) \cdot K_h \cdot m_0(\text{кг})}{0,1035(\text{кг})}, \text{ м}^3. \quad (2)$$

где K_h – коэффициент гидратности в условиях действия эффекта самоконсервации, равный доле гидратной влаги при $T < 273\text{K}$; m_0 – общая масса поровой влаги в образце. Общее количество поровой влаги в мерзлом гидратосодержащем образце состоит из гидратной влаги, льда, образованного за счет поверхностной диссоциации гидратов и незамершей воды. Его определяют весовым методом после оттаивания и высушивания образца до постоянного веса.

При допущении, что в песчаных породах до наступления неравновесных условий ($P \leq P_{равн}$, $T \leq 273\text{K}$) вся поровая влага (m_0) находилась в составе равновесных гидратов при $n=5,75$, поскольку процесс в таких породах шел в течение

геологических эпох и ничтожно мало содержание связанной (неклатратной) воды. При таких допущениях объем гидратного газа при равновесных условиях равен:

$$V_0 = \frac{0,0224(\text{м}^3) \cdot m_0(\text{кг})}{0,1035(\text{кг})}, \text{ м}^3.$$

Тогда для коэффициента гидратности в условиях действия эффекта самоконсервации имеем:

$$K_h = \frac{m_{г.г}}{m_0} = \frac{V_{г.г}}{V_0} = \frac{V_{г.г}(\text{м}^3)}{\frac{0,0224(\text{м}^3) \cdot m_0(\text{кг})}{0,1035(\text{кг})}} = \frac{V_{г.г}}{0,216 \cdot m_0}, \text{ доли ед.} \quad (3)$$

Объем образца горной породы любой произвольной геометрической формы равен:

$$V_{\text{породы}} = \frac{M_0}{\rho_{\text{воды}} \cdot m \cdot K_{\text{водонас}}}, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где $K_{\text{водонас}}$ – водонасыщенность пор (отношение объема воды к объему порового пространства), доли ед.; $\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды.

Тогда удельное газосодержание единицы объема горной породы ($V_{\text{породы}}$) будет равно:

$$V_{\text{уд}} = \frac{V_{г.г}}{V_{\text{породы}}} = \frac{0,0224(\text{м}^3) \cdot K_h \cdot \rho_{\text{воды}}(\text{кг/м}^3) \cdot m \cdot K_{\text{водонас}}}{0,1035(\text{кг})}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5)$$

На практике водонасыщенность пор $K_{\text{водонас}}$ удобно представить через весовую влажность $W_{\text{вес}}$, а пористость определяют лабораторными методами (Чаповский Е.Г., 1975).

Тогда для окончательного выражения удельного метаносодержания имеем:

$$V_{\text{уд}} = \frac{0,0224 \cdot K_h \cdot W_{\text{вес}} \cdot \rho_{\text{скелет}} \cdot (1 - m)}{0,1035}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6)$$

где $\rho_{\text{скелет}}$ – плотность минерального скелета горной породы. Коэффициент гидратности K_h находят по формуле из (3).

Формула (6) позволяет определить удельное метаносодержание мерзлой гидратосодержащей породы на образцах любого объема и любой формы, что немаловажно для сохранения образцов в первозданном виде.

Отсюда объем газа, поступающий в горную выработку при оттаивании горных пород с объемом ($V_{\text{массива}}$), равен:

$$V_{\text{газ}} = V_{\text{уд}} \cdot V_{\text{массива}}. \quad (7)$$

Для простоты примем сечение проходимой подземной выработки в виде окружности (рис. 2) с радиусом r , а ее длину L . Максимальный радиус ореола оттаивания за время летней эксплуатации горной выработки примем за R . За это время объем газа, поступающего из оттаивающего горного массива, будет равен:

$$V_{\text{газ}} = V_{\text{уд}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \cdot L. \quad (8)$$

На основе анализа литературных источников и результатов расчетов можно сделать следующие выводы:

1. В ряде случаев ведение геологоразведочных и подземных горных работ на вечномерзлых россыпных месторождениях Северо-Востока России сопровождалось проявлениями метана и углекислого газа и не считаться с этим нельзя, несмотря на то, что газопроявления в криолитозоне явление редкое. Возможной причиной загазованности подземных горных выработок с учетом незначительного количества свободной, растворенной адсорбированной форм нахождения газа в ММП могут быть реликтовые газовые гидраты. Именно большое содержание газа в гидрате (до 200 м³ газа на 1 м³ гидрата) при нарушении термобарических условий может быть источником загазованности подземных горных выработок.

2. Для оценки газосодержания в толще мерзлых пород, содержащих реликтовые гидраты, предлагается использовать коэффициент гидратности (K_h) в условиях действия эффекта самоконсервации газового гидрата, определяемый из экспериментальных данных.

3. Объем поступления газа в подземную горную выработку криолитозоны зависит наряду с коэффициентом гидратности (K_h) и от размера ореола протаивания пород вокруг нее в летний период эксплуатации. Снижение дебита можно достичь при сохранении условия самоконсервации гидратов, что возможно при поддержании температурного режима массива ниже 0°C. Отрицательный температурный режим подземной выработки может быть достигнут путем искусственного охлаждения вентиляционного потока в летний период эксплуатации шахт.

Литература

1. Чабан П.Д., Афанасьев В.П., Должиков Н.Д. Новые данные о газопроявлениях из вечномерзлых россырей // Колыма. – 1970. – №12. – С. 17–20.
2. Чабан П.Д. О газовых гидратах в вечномерзлых россыпях // Колыма. – 1991. – № 6. – С. 18–19.
3. Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. – М.: Недра, 1992. – 235 с.

4. Ершов Э.Д., Лебедеко Ю.П., Чувилин Е.М. и др. Особенности существования газовых гидратов в криолитозоне // ДАН. – 1991. – Т. 321, № 4. – С. 788–791.

5. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. – М.: ВНИИГАЗ, 2009. – 192 с.

6. Чувилин Е.М., Перлова Е.В., Якушев В.С. Классификация газового компонента пород криолитозоны // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX, №3. – С. 73–76.

7. Киселев В.В., Шерстов В.А., Захарова А.Ю., Спицын А.В. О необходимости проведения газового контроля шахтной атмосферы при подземной разработке погребенных техногенных россыпей многолет-

ней мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, 2006, №2. – С. 203–212.

8. Дядькин Ю.Д., Зильберборд А.Ф., Чабан П.Д. Тепловой режим рудных, угольных и россыпных шахт Севера. – М.: Наука, 1968. – 172 с.

9. Шерстов В.А., Скуба В.Н., Лубий К.И., Костромитинов К.Н. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1981. – 186 с.

10. Бык С.Ш., Фомина В.И. Газовые гидраты. – М.: ВИНТИ, 1970. – 126 с.

Поступила в редакцию 10.02.2014

УДК 51–7; 549.091.3

Сравнительный анализ оптических свойств бриллиантов

Ю.М. Григорьев, В.И. Сивцев, П.А. Слободчиков, Е.П. Шарин, Б.В. Яковлев

Фундаментальной основой технологий сканирования алмазного сырья, ввода геометрии кристалла в компьютер, создания оптимальных форм бриллианта является метод математического моделирования. Потребительские свойства приборов сканирования во многом определяются используемыми математическими моделями и алгоритмами. Имеющиеся в настоящее время программно-аппаратные комплексы не удовлетворяют полностью запросам, предъявляемым в реальном производственном процессе огранки бриллиантов. Это объясняется, в первую очередь, недостатками математических моделей, несовершенством алгоритмов обработки результатов сканирования трехмерных объектов и др. Предложен вероятностный подход к математическому моделированию оптических свойств бриллианта. Разработан и реализован алгоритм расчета оптических свойств бриллианта с учетом законов геометрической оптики, включая поглощения света алмазом и формулы Френеля. Получены зависимости интенсивности отраженного от бриллианта потока света от угла наклона основной грани короны. Определены угловые распределения интенсивности для бриллиантов Груша, Маркиза и проведены сравнения с распределением бриллианта КР–57. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании фантазийных форм бриллиантов, для более эффективного использования алмазного сырья, а также для корректировки параметров бриллианта посредством анализа физических свойств бриллианта.

Ключевые слова: алмаз, вероятностная модель бриллианта, оптические свойства бриллианта.

The fundamental basis of rough diamonds scanning technologies, the input of crystal geometry into a computer; creation of optimal forms of a diamond is a method of mathematical modelling. Consumer properties of scanning devices are largely determined by employed mathematical models and algorithms. Currently available hardware and software systems do not fully satisfy demands, which are required on the real production process of cutting diamonds. This is explained, in the first place, by shortcomings of mathematical models, imperfection of algorithms of processing of results of scanning of three-dimensional objects, etc. In this paper a probabilistic approach to the mathematical modeling of the optical properties of diamond is proposed. An algorithm of calculation of optical properties of a brilliant taking into account laws of geometrical optics, including light absorption by diamond and the Fresnel formulas is developed and realized. Dependences of intensity of the light flow reflected from a diamond on the slope angle of the main crown facet have been obtained. There have been determined angular distributions of intensity for diamonds: Pear, Marquise and

ГРИГОРЬЕВ Юрий Михайлович – д.ф.-м.н., зав. каф. ФТИ СВФУ, гл. ученый секретарь АН РС(Я), академик АН РС(Я), grigyum@yandex.ru; СИВЦЕВ Василий Иванович – к.ф.-м.н., доцент ФТИ СВФУ, kof_fti@mail.ru.; СЛОБОДЧИКОВ Павел Андреевич – директор ООО «Саха Даймонд Туулс», sakhadiamondtool@mail.ru; ШАРИН Егор Петрович – к.ф.-м.н., доцент ФТИ СВФУ, esharin@yandex.ru.; ЯКОВЛЕВ Борис Васильевич – д.ф.-м.н., проф. ФТИ СВФУ, bvy@mail.ru.