Оригинальная статья / Original article

УДК 622.1:612.8

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-111-120>

Применение тактильной сенсорной системы при сбойке встречных горных выработок

© Ю.Г. Скурихин^а, Д.С. Васильев^б

^{а,б}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: В настоящее время проблема проведения горных выработок при их сбойке заключается в том, что после проходки они часто совпадают в пределах проектных контуров выработок, что приводит к неоправданным затратам, снижению безопасности и экологичности. Инструментальные методы не решают полностью задачи по качественному определению направления проходки встречных горных выработок при их сбойке, снижают безопасность работ, а также увеличивают затраты на ликвидацию результатов некачественной сбойки. Для совершенствования способа сбойки необходимо дополнение к существующей технологии или новая технология, включающая значительное повышение точности определения направления сбойки горных выработок. Цель данного исследования заключалась в разработке новой технологии определения направления проведения встречных выработок в процессе их сбойки при помощи тактильной сенсорной системы человека. Данная технология реализуется путем сравнения степени воздействия вибрации поверхности массива горных пород в различных точках забоя на ладонь руки. Вибрацию создают бурением шпура, а измеряют ее посредством приложения ладони руки к забою. Предложенная технология может способствовать повышению точности проходки, усилению безопасности, снижению затрат на проведение встречных горных выработок посредством уменьшения величины отклонения от заданного направления при сбойке выработок, увеличению объема добычи полезного ископаемого. Данная технология может использоваться при проведении встречных горных выработок при их сбойке в рудных и россыпных шахтах.

Ключевые слова: шахта, встречные выработки, сбойка горных выработок, проходка, тактильная сенсорная система, безопасность, затраты, полезное ископаемое, вибрация

Информация о статье: Дата поступления 13 января 2020 г.; дата принятия к печати 14 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 марта 2020 г.

Для цитирования: Скурихин Ю.Г., Васильев Д.С. Применение тактильной сенсорной системы при сбойке встречных горных выработок. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 1. С. 111–120. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-111-120>

The use of a tactile sensory system in connecting counter workings

© Yuri G. Skurikhin^a, Denis S. Vasilyev^b

^{a,b}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: At present, the problem of advancing mine workings when connecting them is that after advancing, the workings often coincide within the project workings' contours, which causes a significant increase of the costs, diminishes the safety and creates ecological issues. The instrumental methods cannot provide quality determination of the workings advance direction when connecting the workings, thus the work safety deteriorates, and the cost of eliminating the consequences of the non-quality connection increases. To improve the ways of connecting the workings, either the existing technology should be modified or a new technology is needed. The purpose of the study is to develop a new technology for determining the direction of the counter workings when connecting the workings. The technology involves a tactile sensory system of man and is realized by the comparison of the degree of the rock surface vibration effect on a human palm at different points of the face. The vibration is created by drilling a blast-hole, and it is measured by applying the palm to the face. The suggested technology can enhance the advance exactness and safety, as well as increase the mineral output and reduce the costs of advancing the counter mine workings due to the decrease in the deviation from the target direction when connecting the workings. The technology can be used when advancing counter mine workings and connecting the workings in ore and alluvial mines.

Keywords: mine, counter workings, connection of mine workings, advancing, tactile sensory system, safety, costs, minerals, vibration

Information about the article: Received January 13, 2020; accepted for publication February 14, 2020; available online March 30, 2020.

For citation: Skurikhin YuG, Vasilyev DS. The use of a tactile sensory system in connecting counter workings. *Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(1):111–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-111-120>

Введение

Проблема проведения встречных горных выработок при их сбойке заключается в том, что после проходки они часто не совпадают в пределах проектных контуров этих выработок. Это приводит к неоправданным затратам, снижению безопасности и экологичности работ.

На данный момент известно несколько инструментальных методов определения направления проходки встречных горных выработок. Известен способ проведения встречных выработок при их сбойке с применением компаса [1]. Способ включает определение направления проведения встречных выработок при их сбойке с применением горного компаса, бурение, зарядание, взрывание шпуров, проветривание и уборку взорванного массива горной породы из забоя. С помощью рулетки и горного компаса определяют азимуты направления проведения встречных выработок. Все результаты отображают на миллиметровке с помощью циркуля и транспорта. После этого производят привязку к горной местности. Направление устанавливают просвечиванием шахтерской лампой призабойного пространства по одной линии, соединяющей два отвеса. Отвес представляет собой груз с гибкой нитью, прикрепленной к кровле выработки. При использовании данного инструментального метода происходит отклонение от направления проведения встречных выработок при их сбойке ввиду неточностей измерений и расчетов при реализации этого метода. В итоге увеличиваются затраты на ликвидацию результатов сбойки встречных выработок. Также известен способ проведения встречных горных выработок при их сбойке [2], включающий теодолит с лазерным указателем, последующее бурение, зарядание и взрывание шпуров,

проветривание и уборку взорванного массива горной породы из забоя. Направление проведения встречных горных выработок по маркшейдерским точкам направляют с отвесами. Для этого призабойное пространство просвечивают шахтерской лампой по линии, соединяющей два отвеса. Недостатками этого способа являются значительные затраты на ликвидацию результатов отклонения сбойки от заданного направления, снижение безопасности и экологичности работ из-за неточностей измерений и расчетов данного инструментального метода.

К сожалению, инструментальные методы не решают полностью задачи по качественному определению направления проходки встречных горных выработок при их сбойке, при этом снижая безопасность и экологичность работ, а также увеличивая затраты на ликвидацию результатов некачественной сбойки. Для совершенствования существующего способа сбойки необходимо дополнение к существующей технологии или новая технология, включающая значительное повышение точности определения направления сбойки горных выработок. Таким решением является использование в процессе сбойки встречных горных выработок тактильной сенсорной системы [2].

Сенсорная система – это совокупность структур нервной системы, воспринимающих сигналы из окружающей и внутренней среды. Она включает в числе прочих воспринимающих систем организма слуховую, осязательную и тактильную системы. Это также совокупность органов чувств организма, реагирующих на внешние раздражители, и совокупность ощущений, полученных организмом от внешних раздражителей. В сенсорную систему входят различные рецепторы, среди которых в числе прочих выделяют

механорецепторы (кожа, мышцы, сухожилия, суставы) и терморецепторы (кожа). Тактильная же чувствительность человека – это ощущение при воздействии на кожную поверхность разных механических стимулов. Тактильная сенсорная система является частью кожной сенсорной системы – она обеспечивает ощущения прикосновения, давления, вибрации, температуры, контакта с кожей. На коже имеются разнообразные рецепторы, реагирующие на физические и механические раздражители, в частности тактильная, температурная и болевая рецепция. На 1 см² кожи в среднем приходится 12–13 холодовых, 1–2 тепловых, 25 тактильных и около 100 болевых точек, особенно много их на пальцах рук и ног, ладонях. Это механорецепторы, реагирующие на растяжение, давление и вибрацию. Наиболее чувствительный рецептор реагирует на малейшие изменения показателей вплоть до долей миллиметра (0,0001 мм) [3–10].

Таким образом, известная из медицинских исследований информация о наличии на пальцах рук и ладонях механорецепторов, реагирующих на давление и вибрацию, создает предпосылки для возможности использования этих знаний в разных областях, в частности возможно их использование для определения величины физического воздействия на поверхность горной породы забоя встречной выработки с различием частоты и амплитуды вибрации.

Методы исследования

Прикладыванием ладони руки к поверхности забоя, противоположного от проходимой встречной выработки, определяется местоположение буримого шпура противоположной выработки. При этом отмечается, что частота и амплитуда вибрации меняются в соответствии с изменением расстояния от ладони руки до шпура. Наибольшие значения величин частоты и амплитуды вибрации соответствуют наименьшему расстоянию до шпура. При бурении шпура в центре забоя встречной выработки перфоратором

буровая коронка производит 2100–3000 ударов в минуту по массиву горных пород, вызывая колебания с частотой вибрации 35–50 Гц и амплитудой 0,4–0,15 мм [11–14].

При перемещении места бурения шпура по забою встречной проходимой выработки при ее сбойке, а также места прижатия ладони руки к поверхности забоя противоположной выработки изменяются такие показатели, как частота вибрации поверхности массива пород и ее амплитуда. Если ладонь руки приложена к центру поверхности забоя выработки, встречной противоположной выработке, а частота и амплитуда, воздействующие на ладонь руки, являются максимальными, то при перемещении ладони руки по горизонтали вправо или влево рассматриваемые показатели уменьшаются. При этом шпур находится в центре проходимой встречной выработки при ее сбойке, а выработка, встречная противоположной проходимой выработке, проводится в направлении, совпадающем с направлением проходимой встречной выработки при ее сбойке (рис. 1). Если в случае нахождения шпура в центре проходимой выработки наибольшие значения частоты и амплитуды фиксируются на поверхности породы правой половины забоя встречной противоположной проходимой выработки, то встречная противоположная проходимая выработка при ее сбойке отклонилась от заданного направления вправо. Для сбояки в заданном направлении встречную проходимую выработку необходимо повернуть влево (рис. 2, 3). Если же наибольшие значения частоты и амплитуды фиксируются на поверхности породы левой половины забоя встречной противоположной проходимой выработки, то встречная противоположная проходимая выработка при ее сбойке отклонилась от заданного направления влево. Для сбояки в заданном направлении встречную проходимую выработку необходимо повернуть вправо.

Способ проведения встречных выработок при их сбойке осуществляется

Рис. 1. Способ определения направления проведения встречных выработок при их сбойке с минимальным отклонением их от заданного направления:

1 – встречная выработка; 2 – забой встречной выработки; 3 – шпур в центре встречной выработки;
4 – центр забоя встречной выработки; 5 – противоположная встречная выработка;
6 – забой противоположной встречной выработки;
7 – центр забоя противоположной встречной выработки

A, B, C – места прикладывания ладони руки к поверхности массива пород забоя

Fig. 1. A method for determining the direction of advancing counter workings when connecting them with a minimum deviation from the target direction:

1 – counter working; 2 – the face of the counter working; 3 – hole in the center of the counter working;
4 – the center of the face of the counter working; 5 – opposite counter working;
6 – the face of the opposite counter working;
7 – the center of the face of the opposite counter working

A, B, C – places where the palm of the hand is applied to the surface of the face rock mass

Рис. 2. Способ определения направления проведения встречных выработок при их сбойке с отклонением их от заданного направления на величину, не превышающую половины ширины встречных выработок

Условные обозначения те же, что и на рис. 1

Fig. 2. A method for determining the direction of counter workings when connecting them with their deviation from the given direction not exceeding half the width of the counter workings

Notational conventions are same as in in Fig. 1

Рис. 3. Способ определения направления проведения встречных выработок при их сбойке с отклонением их от заданного направления на величину, превышающую половину ширины встречных выработок

Условные обозначения те же, что и на рис. 1

Fig. 3. A method for determining the direction of counter workings when connecting them with a deviation from the target direction exceeding half the width of the counter workings

Notational conventions are same as in in Fig. 1

следующим образом. При проведении встречной выработки 1 (см. рис. 1) в забое 2 этой выработки бурят шпур 3. Шпур располагают в центре 4 забоя 2 этой встречной выработки 1. В противоположной встречной выработке 5 к поверхности массива горной породы забоя 6 этой выработки прикладывают ладонь руки. Ладонь руки прикладывается не менее, чем в трех точках А, В, С, в том числе в центре забоя 6. Степень воздействия вибрации на ладонь руки сравнивают в точках А, В и С. При взаимном расположении встречных выработок 1, 2, показанных на рис. 1, наибольшая вибрация ощущается ладонью руки в центре 7 забоя 6 противоположной встречной выработки 5. В точках В и С вибрация, ощущаемая ладонью руки, меньше, чем в точке А – центре 7 забоя 6 противоположной встречной выработки 5. При этом другие точки – В и С – расположены на равных между собой расстояниях до центра 7 забоя 6. Кроме того, вибрация поверхности массива горной породы в точках В и С, ощущаемая ладонью руки, одинакова. Равенство расстояний от точки А (центра 7 забоя 6) до точек В и С, а также равенство степени воздействия вибрации, ощущаемой ладонью руки в этих точках (В и С),

показывает, что встречная выработка 1 и противоположная встречная выработка 5 проводятся без отклонений от заданного направления. Это подтверждается графическим определением направления проведения встречных выработок. Для этого проводят полуокружность с центром в точке А. Радиус полуокружности равен длине отрезка АВ. Через середину полуокружности и точку А проводят прямую линию. Эта прямая линия является направлением проведения встречной выработки 1 при ее сбойке с противоположной встречной выработкой 5. При проведении встречных выработок 1, 5 каждый цикл проходки сопровождается определением степени воздействия вибрации поверхности массива горных пород в центре и в других точках забоя на ладонь руки. При необходимости направления встречной выработки 1 и противоположной встречной выработки 5 корректируются. В результате устанавливают, что встречная 1 и противоположная встречной 5 выработки проводятся без отклонения от заданного направления, а их сбойка будет выполнена без дополнительных затрат. Для проведения встречных выработок при их сбойке без отклонения от заданного направления

необходимо, чтобы степень воздействия вибрации на ладонь руки в центре забоя противоположной встречной выработки превышала степень воздействия вибрации на ладонь в других точках.

На рис. 2 показано взаимное расположение встречной и противоположной встречной выработок при их сбойке с отклонением от заданного направления на величину, не превышающую половины ширины встречной выработки. В центре 4 забоя 2 встречной выработки 1 бурят шпур 3. В забое 6 противоположной встречной выработки 5 определяют степень воздействия вибрации поверхности массива горной породы прикладыванием ладони руки в точках А, В, С и D, расположенных по ширине забоя выработки 5. Степень воздействия вибрации на ладонь руки следующая. В точке В – больше, чем в точках А, С; в точке А – больше, чем в точке D. Наибольшая степень вибрации – в точке В. В результате устанавливают, что забой 6 противоположной встречной выработки 5 смещен относительно забоя 2 встречной выработки 1, а встречную выработку проводят с отклонением от заданного направления на расстояние, равное отрезку АВ. Проводится полуокружность с центром в точке В и радиусом, равным расстоянию АВ. Принимают, что отклонение встречной выработки 1 от заданного направления составляет АВ. Определяют новое направление проведения встречной выработки 1 с учетом отклонения АВ. Разделяют отклонение АВ на участки, равные участкам смещения забоя 2 встречной выработки 1 при ее проведении по новому направлению. Количество участков отклонения принимают равным количеству участков смещения. При этом суммарная длина участков отклонения должна быть равной суммарной длине участков смещения. В результате встречная выработка 1 выходит при сбойке в точку А (центр 7 встречной выработки 5) или на заданное направление. При выполнении каждого цикла проходки встречной выработки 1 и противоположной

встречной выработки 5 определяют степень воздействия вибрации поверхности массива горных пород в центре и других точках забоя на ладонь руки. При необходимости направление проведения встречных выработок корректируется. Поэтому для сбойки встречной выработки 1 с противоположной встречной выработкой 5 необходимо изменить направления их проведения с учетом отклонения на расстояние, равное АВ. В процессе встречных выработок 1, 5 уменьшается расстояние, равное АВ (между центром 7 забоя 6 противоположной встречной выработки 5 и точкой В, в которой происходит наибольшее воздействие вибрации на ладонь руки). Это расстояние при сбойке встречных выработок будет равным нулю.

На рис. 3 показано взаимное расположение встречной и противоположной встречной выработок при их сбойке с отклонением от заданного направления на величину, превышающую половину ширины встречных выработок. В центре 4 забоя 2 встречной выработки 1 бурят шпур 3. В забое 6 противоположной встречной выработки 5 определяют степень воздействия вибрации поверхности массива горной породы на ладонь руки прикладыванием ладони руки в точках А, В, С и D. Степень воздействия вибрации на ладонь руки следующая. В точке В – больше, чем в точках А, D, в точке А – больше, чем в точке С. Наибольшая степень вибрации – в точке В. В результате устанавливают, что забой 6 противоположной встречной выработки 5 смещен относительно забоя 2 встречной выработки 1, а встречные выработки проводят с отклонением от заданного направления на величину, превышающую половину ширины встречных выработок. Для определения направления сбойки встречных выработок принимают равными между собой расстояния АВ и BD при равной степени воздействия вибрации на ладонь руки в точках А, D. Проводят полуокружность с центром в точке В и радиусом, равным длине отрезка АВ или BD. Через

середину полуокружности и точку В проводят прямую линию, определяют направление проведения встречной выработки 1. Новое направление проведения этой выработки принимают с учетом отклонения на длину отрезка АВ. При этом при проведении встречной выработки 1 по новому направлению забой 2 смещают на отклонение – длину отрезка АВ. При выполнении каждого цикла проходки встречной выработки 1 и противоположной встречной выработки 5 определяют степень воздействия вибрации поверхности массива горных пород в центре и других точках забоя на ладонь руки. При необходимости направления проведения встречных выработок при их сбойке корректируются [15, 16].

Результаты исследования

Предлагаемый способ проведения встречных горных выработок при их сбойке апробирован в условиях рудника им. Матросова, расположенного в Магаданской области. Испытывались схемы при взаимном расположении встречных выработок, показанные на рис. 1–3, а также схемы со значительным отклонением от заданного направления – более 2 м. По всем схемам получены положительные результаты. При этом сохранились все требования правил безопасности при ведении взрывных работ в процессе сбойки встречных выработок, предусмотренные основными источниками¹ [17]. Так, при отбойке запасов крутопадающей рудной зоны 13 мощностью 2,5–3 м выемочного блока 26 гор. 790 м 2/3 флангового восстающего было пройдено по высоте по рудной зоне, а оставшая часть проходила по породе с наклоном в сторону лежачего бока для сбойки со штреком гор. 830 м. При проведении ходка между очистной камерой и восстающим произошло отклонение от заданного направления. Определение величины этого смещения с приме-

нием тактильной сенсорной системы и фактической сбойки встречных горных выработок показало, что отклонение составило 3 м.

Технология проходки верхнего ходка была следующей. Из восстающего до очистной камеры через междукammerный целик шириной 3 м проходил нижний ходок. Из места его сбойки с очистной камерой по крутопадающей рудной зоне выполнена проходка опережающего восстающего высотой 6 м, а из его тупика по породе до восстающего с лежачей его стороны прошли верхний ходок. Однако сбойки верхнего ходка с восстающим не произошло. Верхний ходок прошли на расстоянии 3 м от восстающего.

При попытке определить местоположение забоя верхнего ходка использовали сенсорную систему, включающую звуковой рецептор. При этом во время нахождения в восстающем примерно на высоте забоя верхнего ходка создавалось впечатление, что забой верхнего ходка размещался, распространяясь по всему периметру поперечного сечения восстающего. Определить расположение забоя однозначно в каком-либо одном месте периметра поперечного сечения восстающего невозможно, так как сила звука во всех направлениях поперечного сечения восстающего была одинаковой. Прикладывание ладони руки в разных местах по периметру поперечного сечения восстающего показало различную степень воздействия вибрации породы стенок восстающего на поверхность кожи ладони руки. Наблюдалась закономерность в изменении интенсивности вибрации: постепенное увеличение или уменьшение ее интенсивности по мере перемещения ладони. Нетрудно было установить наибольшую величину интенсивности вибрации, а следовательно, место бурения в забое верхнего ходка и сам забой. Установлено, что для сбойки забой

¹ Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах»: приказ Федер. службы по экологич., технологич. и атом. надзору № 605 от 16.12.2013 г. с изм. и доп. от 30.11.2017 г. // Гарант. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70628432/> (10.01.2020).

необходимо развернуть на 90°. После трех циклов проходки произошла сбойка.

Заключение

Описанная технология рекомендуется к внедрению. В ходе ее использования снижаются затраты на проведение встречных выработок при их сбойке вследствие не только уменьшения отклонения от заданного направления, но и сокращения времени их проходки.

Это подтверждается уменьшением простоев при отработке крутопадающих рудных зон, обусловленным повышением качества проведения проходческих и нарезных выработок при их сбойке, а также при ведении очистных работ в подземных условиях рудных и россыпных месторождений с положительной и отрицательной температурой пород.

Библиографический список

1. Brink A. Research on prediction of rock bursts at Western Deep // *Levels Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1983. Vol. I. P. 1–10.
2. Coates D.F., Ignatieff A. Predictions and measurement of pillar stresses // *Canada Mining Journal*. 1966. Vol. 87. No. 1. P. 50–56.
3. Abraira V.E., Ginty D.D. The sensory neurons of touch // *Neuron*. 2013. Vol. 79. Iss. 4. P. 618–639. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.07.051>
4. Ackerley R., Backlund Wasling H., Liljencrantz J., Olausson H., Johnson R.D., Wessberg J. Human C-tactile afferents are tuned to the temperature of a skin-stroking caress // *Journal of Neuroscience*. 2014. Vol. 34. Iss. 8. P. 2879–2883. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2847-13.2014>
5. Alexander R.D. The biology of moral systems. New York: Aldine de Gruyter, 1987. 301 p.
6. Bessou P., Burgess P.R., Perl E.R., Taylor C.B. Dynamic properties of mechanoreceptors with unmyelinated (C) fibers // *Journal of Neurophysiology*. 1971. Vol. 34. Iss. 1. P. 116–131. <https://doi.org/10.1152/jn.1971.34.1.116>
7. Cochrane N. Physical contact experience and depression // *Acta Psychiatrica Scandinavica Supplementum*. 1990. Vol. 357. P. 1–91.
8. Cole J., Bushnell M.C., McGlone F., Elam M., Lamarre Y., Valbo A., et al. Unmyelinated tactile afferents underpin detection of low-force monofilaments // *Muscle & Nerve*. 2006. Vol. 34. P. 105–107. <https://doi.org/10.1002/mus.20534>
9. Gordon I., Voos A.C., Bennett R.H., Bolling D.Z., Pelphey K.A., Kaiser M.D. Brain mechanisms for processing affective touch // *Human Brain Mapping*. 2011. Vol. 34. Iss. 4. P. 914–922. <https://doi.org/10.1002/hbm.21480>
10. Sugiura Y. Spinal organization of C-fiber

afferents related with nociception or non-nociception // *Progress in Brain Research*. 1996. Vol. 113. P. 320–339.

11. Старикив А.П., Снижко В.Д. Передовой производственный опыт скоростного проведения горных выработок на шахте «Заречная» в Кузбассе // *Уголь*. 2008. № 11. С. 3–6.

12. Оверченко М.Н., Мозер С.П., Галушко Ф.И., Луньков А.Г. Развитие схем контурного взрывания для проходки подземных горных выработок // *Взрывное дело*. 2016. № 115/72. С. 202–213.

13. Доильницын В.М., Зерщиков С.Г., Ляшенко В.А. Испытания зарядов мягкого взрывания на рудниках ОАО «Апатит» // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. № S5. С. 74–81.

14. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е. Повышение эффективности буровзрывной отбойки руды в зажатой среде // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № 11. С. 59–72.

15. Павлов А.М., Васильев Д.С. Повышение эффективности подземной разработки тонких крутопадающих жил // *Горная промышленность*. 2017. № 1 (131). С. 86–87.

16. Vasilyev D.S., Pavlov A.M. Justification of underground gold placer development parameters for the Konevinsky deposit // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 408. Iss. 1. P. 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012042>

17. Пат. № 2527955, Российская Федерация, МПК E21D9/00 E21B7/04. Способ проведения встречных выработок при их сбойке / Ю.Г. Скурихин, В.А. Романенко. Заявл. 03.07.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 25.

References

1. Brink A. Research on prediction of rock bursts at Western Deep. *Levels Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1983;1:1–10.
2. Coates DF, Ignatieff A. Predictions and measurement of pillar stresses. *Canada Mining Journal*. 1966;87(1):50–56.

3. Abraira VE, Ginty DD. The sensory neurons of touch. *Neuron*. 2013;79(4):618–639. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.07.051>

4. Ackerley R, Backlund Wasling H, Liljencrantz J, Olausson H, Johnson RD, Wessberg J. Human C-tactile afferents are tuned to the temperature of a skin-stroking caress.

Journal of Neuroscience. 2014;34(8):2879–2883.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2847-13.2014>

5. Alexander R.D. *The biology of moral systems*. New York: Aldine de Gruyter; 1987. 301 p.

6. Bessou P, Burgess PR, Perl ER, Taylor CB. Dynamic properties of mechanoreceptors with unmyelinated (C) fibers. *Journal of Neurophysiology*. 1971;34(1):116–131.
<https://doi.org/10.1152/jn.1971.34.1.116>

7. Cochrane N. Physical contact experience and depression. *Acta Psychiatrica Scandinavica. Supplementum*. 1990;357:1–91.

8. Cole J, Bushnell MC, McGlone F, Elam M, Lamarre Y, Vallbo A, et al. Unmyelinated tactile afferents underpin detection of low-force monofilaments. *Muscle & Nerve*. 2006;34:105–107.
<https://doi.org/10.1002/mus.20534>

9. Gordon I, Voos AC, Bennett RH, Bolling DZ, Pelphey KA, Kaiser MD. Brain mechanisms for processing affective touch. *Human Brain Mapping*. 2011;34(4):914–922.
<https://doi.org/10.1002/hbm.21480>

10. Sugiura Y. Spinal organization of C-fiber afferents related with nociception or non-nociception. *Progress in Brain Research*. 1996;113:320–339.

11. Starikov AP, Snizhko VD. Best industrial practices of speed advancing the mine workings at “Zarechnaya” mine. *Ugol*. 2008;11:3–6. (In Russ.)

12. Overchenko MN, Mozer SP, Galushko FI, Lun'kov AG. Development of contour blasting schemes for advancing underground mine workings. *Vzryvnoe delo = Explosion technology*. 2016;115/72:202–213. (In Russ.)

13. Doil'nitsyn VM, Zershchikov SG, Lyashenko VA. Testing mild blasting charges at the JSC “Apatite” mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007;S5:74–81. (In Russ.)

14. Lyashenko VI, Khomenko OE. Enhancement of confined blasting of ore. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2019;11:59–72. (In Russ.)

15. Pavlov AM, Vasil'ev DS. Enhancing the efficiency of underground mining of steeply dipping fine veins. *Gornaya promyshlennost' = Mining Industry*. 2017;1:86–87. (In Russ.)

16. Vasilyev DS, Pavlov AM. Justification of underground gold placer development parameters for the Konevinsky deposit. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2020;408(1):012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012042>

17. Skurikhin YuG, Romanenko VA. A method of advancing counter workings when connecting them. Patent RF, no. 2527955; 2014. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Скурихин Ю.Г., Васильев Д.С. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Yuri G. Skurikhin, Denis S. Vasilyev are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторах / Information about the authors

Скурихин Юрий Георгиевич,

кандидат технических наук,
доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: go_gor@istu.edu

Yuri G. Skurikhin,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor, Department of Mineral Deposit Development,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: go_gor@istu.edu

Васильев Денис Сергеевич,

младший научный сотрудник проектно-конструкторского бюро «Горняк»,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,

✉ e-mail: denisvasilyew@yandex.ru

Denis S. Vasilyev,

Junior Researcher, Research & Development Bureau "Gornyak",
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,

✉ e-mail: denisvasilyew@yandex.ru