

Научная статья

УДК 654.9

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.60.64.003

Модель управления рисками взрывопожароопасных свойств подземных горнорудных материалов на основе их оценки с использованием риск ориентированного подхода

Владимир Алексеевич Родионов¹

Татьяна Тимофеевна Каверзнева²

Сергей Владимирович Воронин³

Дмитрий Вячеславович Савельев⁴

¹Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

^{3,4}Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2398-5829>

² <https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

³ <https://orcid.org/0000-0003-2350-4669>

Автор ответственный за переписку: Сергей Владимирович Воронин, wswl@yandex.ru.

Аннотация. Актуальность работы обусловлена внедрением новых высокоинтенсивных технологий добычи полезных ископаемых подземным способом, ведением горнопроходческих работ на все больших глубинах залегания угля и руды, изменением взрывопожароопасных свойств извлекаемого сырья, а также происходящими на объектах ведения горных работ инцидентов и аварий различной тяжести. Одной из причин аварий и чрезвычайных ситуаций в шахтах и рудниках является отсутствие возможности учитывать, как особенности проявления свойств горного массива, так и изменение взрывопожароопасных свойств полезных ископаемых. Проблема применения риск ориентированного подхода, а именно комплексная оценка риска возникновения аварий, в данном случае пожаров и/или взрыва не решена. Применяемые методы расчета рисков разнообразны, имеют, как правило невысокую точность полученных результатов и ни один из них не позволяет учитывать всех идентифицируемых опасностей, приводящих к возникновению эндогенных и экзогенных пожаров, а также взрывов гибридных смесей в пространстве горных выработок. Поэтому в работе было осуществлено детальное изучение предпосылок применения риск ориентированного подхода к решению данной проблематики. Рассмотрены теоретические подходы оценки риска на шахтах и рудниках и разработана модель, позволяющая в экспресс режиме получать актуальную информацию о взрывопожароопасных свойствах добываемого сырья. Разработанная модель управления рисками взрывопожароопасных свойств подземных горнорудных материалов основывается на оценке их свойств и включает использование риск ориентированного подхода.

Ключевые слова: модель; управление; управление рисками; риск ориентированный подход; горная промышленность.

Для цитирования: Родионов В.А., Каверзнева Т.Т., Воронин С.В., Савельев Д.В. Модель управления рисками взрывопожароопасных свойств подземных горнорудных материалов на основе их оценки с использованием риск ориентированного подхода // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 4 (31). С. 24-34. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.60.64.003>.

RISK MANAGEMENT MODEL FOR FIRE AND EXPLOSION HAZARDOUS PROPERTIES OF UNDERGROUND MINING MATERIALS BASED ON THEIR ASSESSMENT USING A RISK-ORIENTED APPROACH

Vladimir A. Rodionov¹

Tatyana T. Kaverzneva²

Sergey V. Voronin³

Dmitry V. Savelyev⁴

¹ Saint - Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

^{2,3} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2398-5829>

² <https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

³ <https://orcid.org/0000-0003-2350-4669>

Corresponding author: Sergey V. Voronin, wswl@yandex.ru.

Abstract. The relevance of the work is due to the introduction of new high-intensity technologies for underground mining, the conduct of mining operations at ever greater depths of coal and ore, changes in the explosion and fire properties of extracted raw materials, as well as incidents and accidents of varying severity occurring at mining sites. One of the reasons for accidents and emergencies in mines and mines is the inability to take into account both the peculiarities of the manifestation of the properties of the rock mass and the change in the explosive and fire properties of minerals. The problem of applying a risk-oriented approach, namely a comprehensive assessment of the risk of accidents, in this case fires and/or explosions, has not been solved. The methods used for calculating risks are varied; as a rule, the accuracy of the results obtained is low, and none of them allows taking into account all the identifiable hazards leading to the occurrence of endogenous and exogenous fires, as well as explosions of hybrid mixtures in the space of mine workings. Therefore, the work carried out a detailed study of the prerequisites for using a risk-oriented approach to solving this problem. Theoretical approaches to risk assessment in mines and mines are considered and a model is developed that allows in express mode to obtain up-to-date information about the explosion and fire properties of the extracted raw materials. The developed risk management model for the explosive and fire properties of underground mining materials is based on an assessment of their properties and includes the use of a risk-oriented approach.

Keywords: model; control; Management of risks; risk-oriented approach; mining.

For citation: Rodionov V.A., Voronin S.V., Savelyev D.V., Kaverzneva T.T. Risk management model for fire and explosion hazardous properties of underground mining materials based on their assessment using a risk-oriented approach // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2023. № 4 (31): 24-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.60.64.003>.

Введение

В настоящее время различными авторами продолжается поиск новых возможностей по применению риск ориентированного подхода (РОП) в различных организационных системах, но подавляющее большинство работ направлено на отрасли народного хозяйства [1-3]. Безусловно работы этих авторов имеют большую практическую ценность, однако на текущий момент практически отсутствуют работы, направленные на применение РОП к объектам ведения подземных горных работ, связанным с добычей полезных ископаемых, хотя для этого имеется множество предпосылок. В первую очередь из-за того, что объекты такого рода в соответствии с законодательством РФ относятся, как правило к опасным производственным объектам (ОПО) первой и второй категории опасности. Во вторую и третью очередь, применение РОП заставляет уделять большее внимание инженерно-технического управленческого менеджмента шахт и рудников, зонам повышенного риска (R). Это позволяет вовремя принять как меры профилактического характера, так выявить и устранить слабые места в технологическом

процессе добычи полезных ископаемых. Использование РОП позволит избежать негативных последствий реализации различных сценариев R возникновения аварии того или иного рода.

Кроме того, эффективность применения РОП доказана на многочисленных объектах повышенной опасности как за рубежом, так и в нашей стране. Поэтому перечисленные предпосылки применения РОП на объектах минерального сырьевого комплекса в области оценки взрывопожароопасных свойств и, следовательно, влияния их на устойчивость объекта в условиях повышенного R существуют и не вызывают сомнений.

Проблема заключается в определении в какой части расчета R учитывать эти свойства и как их определять. Целью работы являлось выявить предпосылки, т.е. оценить возможность применения РОП к оценке взрывопожароопасных свойств полезных ископаемых, добываемых подземным способом. При этом основной задачей РОП вне зависимости от области его применения заключается в достижении поставленных целей за счет снижения R .

В соответствии с поставленной целью было сформулировано несколько направлений исследований, которые направлены на решение поставленных задач.

Исходя из этого на начальном этапе исследования основными задачами являются задачи по определению влияющих факторов. Такими факторами могут быть как недостатки в системе мониторинга за технологическими процессами (ТП) и производственными процессами (ПП), в том числе и обучения рабочих мерам безопасности при работе на ОПО, так и отсутствие актуальных данных по физико-химическим свойствам, прежде всего показателям взрывопожароопасности добываемых полезных ископаемых [4]. В настоящее время, в ряде работ приводятся сведения, что такого рода исходные данные можно получить с помощью различных научно-исследовательских экспресс методов, часть из которых возможно применить непосредственно на месте проведения добычных работ в шахте или руднике.

Теоретические основы и методы исследования

Неотъемлемой и самой важной частью РОП является оценка R . С внедрением систем управления ОПО на основе R менеджмента высшее управленческое звено должно владеть на хорошем уровне пониманием преследуемых целей оценкой R . В данном случае, должно присутствовать понимание руководства, как минимум главным инженером и техническим директором уязвимости к R вверенного им ОПО в целом.

В основе, разрабатываемой модели применения РОП, учитывающего результаты оценки взрывопожароопасных свойств, добываемых подземным способом полезных ископаемых, лежат практические экспериментальные методы, прежде всего методы синхронного термического и рентгенофлуоресцентного анализа (X-RAY), практико-ориентированные методы обучения персонала и теоретические методы оценки R .

В работе по применению РОП к поставленным задачам были использованы результаты работ других исследователей в этой области и ряда нормативно правовых документов (НПД), регламентирующих вопросы обеспечения промышленной безопасности на объектах ведения горных работ [5]. Одним из таких документов является ГОСТ Р 58652-2019 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Принципы обеспечения промышленной безопасности».

В данном НПД, применение РОП рассматривается с позиции базовых принципов обеспечения промышленной безопасности. Так, например, с учетом стоящих задач в общем случае для ОПО ведения подземной добычи рудных и нерудных полезных ископаемых можно представить ОПО в виде управляемого объекта, визуализированного в виде схемы на Рис. 1 [5].

В связи с тем, что рудник рассматриваем как управляемый объект, то необходимо пояснить, что каждый ОПО такого рода имеет свою окружение, связи и элементы, которые тесно взаимосвязаны друг с другом и влияют на обеспечение безопасной эксплуатации рудника.



Рис. 1. Схема представления ОПО, рудник (шахта), как управляемого объекта

Окружение рудника (шахты) в зависимости от его местоположения представляет собой совокупность взаимодействующих между собой сфер: геосферы, биосферы, антропосферы и техносферы и др. [1].

Под элементами следует понимать руду и вмещающие породы, инженерно-технические сооружения, обеспечивающие нормальную работу шахты, горнопроходческое и добычное оборудование, системы контроля и сигнализации, а также горнорабочих и инженерно-технический персонал, работающий на руднике [5].

При этом окружение и элементы ОПО той или иной категории опасности, безусловно связаны между собой материальными, энергетическими и информационными связями. Они характеризуются, как опасностями (Н) и угрозами (Т), так и - уязвимостями относительно различных угроз (элементов) и возможными управляющими воздействиями на них.

Поэтому ОПО рудник/шахта (далее по тексту будет применяться термин шахта) представлен как управляемый объект, на котором происходит преобразование входного потока «Вход»

в выходной поток «Выход» (полезные ископаемые и пустая порода, межпластовая вода, поступающая в пространство горных выработок и образующиеся там различные газовые смеси, отходы производства, горнорабочие, информация и пр.).

Под входным потоком следует понимать все потоки, которые поступают из вне в пространство шахты, прежде всего это электроэнергия, вода, воздух, необходимые для ведения добычных работ оборудование и приборы, а также горнорабочие, в том числе информация, поступающая по системам мониторинга и непосредственно через горного диспетчера [6].

Таким образом, главной целью нормальной работы шахты является получение максимальной экономической эффективности, образующейся в результате преобразования входного потока «Вход» в выходной «Выход» с помощью управления (М) ТП и ПП. Поскольку эти два понятия ТП и ПП неразрывно связаны между собой, то далее по тексту статьи будет применяться аббревиатура (ТПиПП). Поскольку преобразование ТПиПП «Вход» и «Выход» характеризуется R, то управление такого рода объектом, должно осуществляется с учетом затрат, как на недопущение, так минимизацию и возмещение ущерба (D) от инцидентов (А) и аварий (Y).

Элементы ТПиПП можно разделить на основные и обеспечивающие: основные элементы, которые обеспечивают добычу полезного ископаемого и которые необходимы при любых видах и уровнях опасности; обеспечивающие используют для выполнения требований промышленной безопасности и перечень которых определяется видами и уровнями опасностей.

Возникновение и развитие Y на управляемом объекте происходит в результате преобразования входного потока ТПиПП «Вход» в выходной поток ТПиПП «Выход».

Процесс преобразования входного потока в выходной, показан на схеме Рис. 2, сопровождается процессом последовательного преобразования опасностей в угрозы: $H \rightarrow CH-T$, угроз в аварии: $T \rightarrow CT-A$ и аварий в ущербы: $A \rightarrow CA-D$.

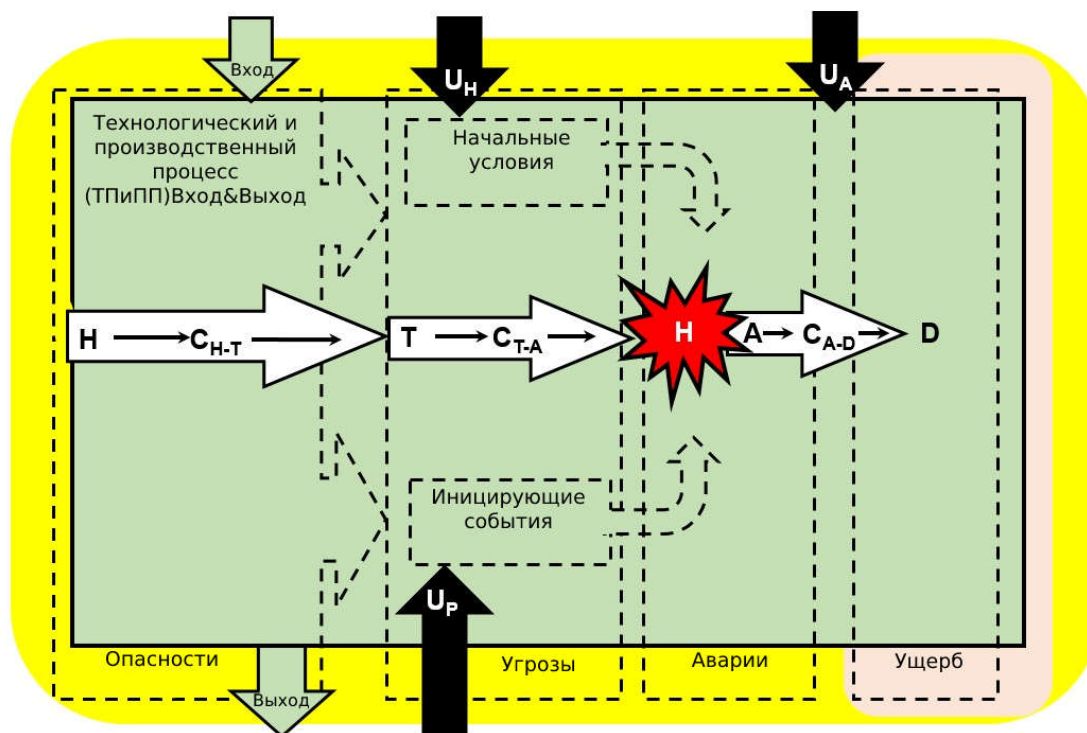


Рис. 2. Схема модели управления рисками взрывопожароопасными свойствами подземных горнорудных материалов на основе их оценки с использованием РОП

С учетом поднятой в статье проблемы, необходимо учитывать, что в взрывопожароопасные свойства обращающихся веществ и материалов в зависимости от типа управляемого объекта и применяемых технологий будут различны даже для сырья одного типа [7], например: бурый, каменный уголь и антрацит.

Поэтому при рассмотрении вопроса применения РОП, общеизвестным фактом является то, что на угольных шахтах будет наибольшая взрывопожароопасная составляющая (например, шахта может быть отнесена к сверхкатегорийной по газовому фактору – метану), в то время как на рудниках газовая и горючая пылевая нагрузка могут отсутствовать. В данном случае подразумевается постоянное присутствие опасностей того или иного рода (взрывоопасные гибридные смеси, эндогенные очаги и т.п.) [6].

Кроме этого, в процессе эксплуатации шахты ТПиПП «Вход» и «Выход» при взаимодействии элементов друг с другом, а также с окружением управляемого ОПО, имеющиеся на нем опасности преобразуются в Т неуправляемых процессов выделения энергии и вещества. При наличии такого рода преобразований, реализующихся в виде А, каждая из которых характеризуется вероятностями. На объектах ведения подземных горных работ под Т следует понимать прежде всего Т токсического (CO, CO₂, SO₂, H₂S и др. «пожарных» и пиролизных газов), теплового и фугасного поражающего фактора, образующегося при взрыве метановоздушных, пылевоздушных или гибридных смесей, поражения работников и разрушения оборудования и сооружений (поражающие факторы пожара/взрыва) и т.д.

Таким образом, R связаны с уязвимостями (V) элементов угольной шахты. Это влияет на вероятности (P) опасных событий и величины ущерба от них. Далее, они в свою очередь, будут характеризовать утрату устойчивости объекта ведения подземных горных работ по добыче полезных ископаемых к воздействию факторов опасности. При этом к той или иной А, будет приводить совпадение во времени и пространстве ряда факторов. Эти факторы принадлежат к группе иницирующих условий (ИУ), и иницирующих событий (ИС), объединив их получим (ИУиИС), что в свою очередь в конечном итоге приводит к выделению вещества или энергии (q). При этом, воздействие на эти факторы возможно через управление ТП и ПП в нормальном (U_H) и предаварийном (U_P) режимах. ИУ и ИС соответствуют выходу значений параметров ТП и ПП

за границы безопасных (нормальных) рабочих и требуемых, в соответствии с федеральными и отраслевыми НПД [2]. При этом произойдет их переход в область недопустимых значений, в результате чего будут нарушены требования действующего законодательства.

Аварии, на такого рода ОПО, могут развиваться по различным (J-м) сценариям, согласно разработанным на каждом объекте «дереве событий» [8,9]. При этом будет наблюдаться различные виды D. Влиять на сценарий развития такого рода A и конечный D возможно с помощью автоматических систем управления и контроля технологического процесса (АСУТП). При этом немаловажную роль играет горный диспетчер осуществляющий мониторинг и информационную поддержку ТП и ПП, а также систем обеспечения безопасности, защиты и спасения (СОЗ) прежде всего персонала объекта, находящегося в этот момент времени в горных выработках. В системы, действующего мониторинга, прежде всего многофункциональные системы обеспечения безопасности (МФСБ) в обязательном порядке входят функции управления ТП и ПП объекта при возникновении различных аварийных режимов (UA). при наличии таких возможностей. Следует отметить, что инциденты и A, приводящие к чрезвычайной ситуации и возникающие при этом H, и T различного генеза по своему происхождению, а также A ущербы от них и в целом R, могут распространяться не только на отдельные элементы или их группы, но и в целом на всю шахту (рудник). Таким образом, как было уже сказано выше базой РОП является выполнение расчета R, т.е. проведение комплексной оценки R.

Согласно действующих НПД, для рудника (шахты) как ОПО необходимо выполнять расчет интегрированного R [1,6]. Однако необходимо четко осознавать и понимать, что под интегрированным R менеджментом прежде всего понимается метод расчета R, в результате которого формируется обобщенный взгляд на систему управления R. В то время как результаты расследований многочисленных A на ОПО явно показывают, что требуется не обобщенный подход, а пристальное внимание к причинно-следственной проблематике возникновения чрезвычайных ситуаций на ОПО. В данном случае требуется разработка определенных факторных показателей, дополнительно учитываемых при расчете интегрированного R для объектов, на которых возможны процессы самонагрева, самовозгорания, приводящие к эндогенным пожарам, экзогенным пожарам и взрывам газовоздушных (метановоздушных), газопылевоздушных или пылевоздушных взрывоопасных смесей, образующихся в пространстве горных выработок.

Тем не менее, в данный момент принято считать, что интегрированный R в том виде в каком он изложен в ряде НПД, является общей характеристикой нормального функционирования объектов ведения подземных горных работ по добыче полезных ископаемых:

$$R_{\Sigma} = \sum_V \sum_H \sum_O \sum_L R_{VHOL}(x) Y_{VHOL}(x) \quad (1)$$

Таким образом, интегрированный R для всех элементов (O) шахты, а также их уязвимостей, различного рода H и степеней поражения (L) учитывает потенциальный R (RVHOL(x)) поражения «объекта», D от этого поражения (YVHOL(x)), в зависимости от расстояния между «объектом» и эпицентром аварии (x).

Потенциальный R, входящий в уравнение (1), согласно которому должен осуществляться расчет интегрированного риска (R_Σ), зависит от вероятности возникновения аварии PFTA(qj). Другими словами, (RVHOL(x)), зависит от выделения энергии или вещества (qj), а также вероятности развития (PETA(qj)) той или иной в соответствии с тем или иным сценарием A условной вероятности поражения «объекта» (PFTA(x/qj)), находящегося на расстоянии (x) от эпицентра A - места выделения энергии или вещества:

$$R_{VHOL} = P_{FTA}(q_j) P_{ETA}(q_j) P_{FTA} \left(\frac{x}{q_j} \right) \quad (2)$$

Согласно выше описанных условий, управляющее воздействие на вероятности возникновения $PFTA(qj)$ возможно через управление ТП и ПП в нормальных и предаварийных режимах (см. Рис. 2 - УН и UP).

Кроме того, такого рода воздействие на сценарий развития аварии $PETA(qj)$ возможно с помощью АСУТП и СОЗ и на условную вероятность поражения $PFTA(x/qj)$ в аварийных режимах (см. Рис. 2 - UA).

На данном этапе развития научно-технического прогресса невозможно (возможно – но будет экономически нецелесообразно, не рентабельно, экономически не выгодно и т.д.) спроектировать, построить и эксплуатировать абсолютно безопасный ОПО ведения подземных горных работ. Поэтому основная задача управления заключается в разработке такой бизнес-модели, при которой будет наблюдаться максимальная экономическая эффективность (ЭЭ) преобразования входных потоков в выходные ЭЭ ТПиПП «Вход» и «Выход» (U)) $\rightarrow \max$ с учетом управления R, где $U = \{УН, UP, UA\}$. При этом, основной целью R менеджмента будет не сведение R к нулю, а его снижение до допустимого уровня (ACCEPTABLE RISK LEVEL), т.е. $R(U) < RA$.

Описанные установки и предположения будут справедливы только в том случае, если на ОПО будет проводиться всесторонняя комплексная работа, как среди персонала, так и работа по оценке взрывопожароопасных свойств добываемого сырья и выявление условий, в которых при определенном стечении обстоятельств станет возможно возникновение и развитие А различного масштаба.

Результаты исследования и их обсуждение

На данном этапе необходимо дополнительно определить вероятность возникновения А $PFTA(qj)$, а именно эндогенного или экзогенного пожара, а также возникновения условий для взрыва газопаропылевоздушных смесей, с учетом внедренных на предприятии управленческих решений. Данные решения должны быть направлены на разъяснительную и профилактическую работу среди персонала, а также всесторонний мониторинг их знаний, умений и навыков путем различного рода тестирований, в том числе и перед заступлением на смену. На многих предприятиях данное предложение реализовано, но в силу антропогенного фактора многие инциденты, перерастающие потом в чрезвычайную ситуацию, продолжают иметь место. Это в своих ежегодных отчетах отмечает и Ростехнадзор, а именно то, что причиной многих инцидентов является низкий уровень знаний и требовательности у самого управленческого персонала [10,11]. В дополнении, для большего понимания проблематики, поднятой в настоящей статье, общеизвестным фактом является то, что всем известны прописные истины, касающиеся предзнаменований (предсказаний, предвестников) возникновения эндогенных очагов. При чем многие эти параметры можно определить, как органолептическим способом, так и визуально. Например, при возникновении очага самонагревания появляется специфических запах продуктов пиролиза угля, или сероводорода (при самовозгорании «серосодержащих пород») меняется видимость из-за повышения влажности (при термо деструкции органической массы выделяется большое количество паров воды) и т.д. К сожалению, несмотря на явные перечисленные и другие легко определяемые (без помощи оборудования) признаки зарождения очага горения мало кто обращает внимание. В результате халатности персонала вход в шахту будет осуществлён в штатном режиме, а вот выход уже будет возможен только в процессе проведения эвакуационных мероприятий.

Предлагаемый параметр $PFTA(qj)$ должны входить и факторы, учитывающие физико-химические и взрывопожароопасные свойства добываемого сырья. Здесь имеется в виду проводится на предприятии такого рода оценка свойств или опираются на общедоступные данные более 40 летней давности. Например, взрывопожароопасная составляющая каменных углей с ростом глубины растет и это общеизвестный факт, но встретить научно-исследовательские работы, в которых бы описывались новые данные по данной проблематике затруднительно. Следует отметить, что работа в данном направлении продолжается, в частности

в поиске информативных методов оценки взрывопожароопасных свойств минерального сырья [5].

Одним из простых методов, простых, потому что им может овладеть даже простой горнорабочий, является X-Ray анализ. В работе для проведения эксперимента было использовано два спектрометра: ручной (переносной) спектрометр Thermo Scientific NITON XL2 и стационарный X-SPEC-50H. Для работы в шахте апробирован Thermo Scientific NITON XL2 имеющий взрывозащищенное исполнение, а также встроенный компьютер, который работает под управлением промышленной операционной системы Nucleus RTOS. Кроме того, для исследования состава горнорудных материалов у него имеется специализированная база. Устройство, принцип работы и способ визуализации данных не представляет сложностей для современного горного инженера или квалифицированного горнорабочего. Таким образом, в результате его применения возможно определить процентное содержание пиритной серы в горном массиве, скорректировать дальнейший процесс добычи полезной руды и разработать дополнительные профилактические меры направленные, как на предотвращение самовозгорания отбитой горно-породной массы, так и на предотвращение взрыва сульфидсодержащей породной пыли [1]. Таким образом в предлагаемый параметр PFTA(qj) возможно добавить факт возрастания его влияния (веса) в зависимости от содержания серы в горно-породной массе.

При выполнении данного исследования и выявления как предпосылок, так и определения информативных методов, связанных с предоставлением возможности оценки взрывопожароопасных свойств полезных ископаемых, была выявлена возможность применения синхронного термического анализа (СТА). К сожалению, данный метод относится к высокоточным аналитическим методам исследования термохимических превращений в веществе при его деструкции в окислительной или инертной среде. Тем не менее нам известно о наличии такого рода оборудования в ряде горнодобывающих компаний и поэтому в качестве примера на Рис. 3 изображены результаты исследования одного из образцов горной породы. Образцы исследовались с помощью СТА 449 F3 Jupiter работающего под управлением программного пакета NETZSCH Proteus Ternal Analysis [3].

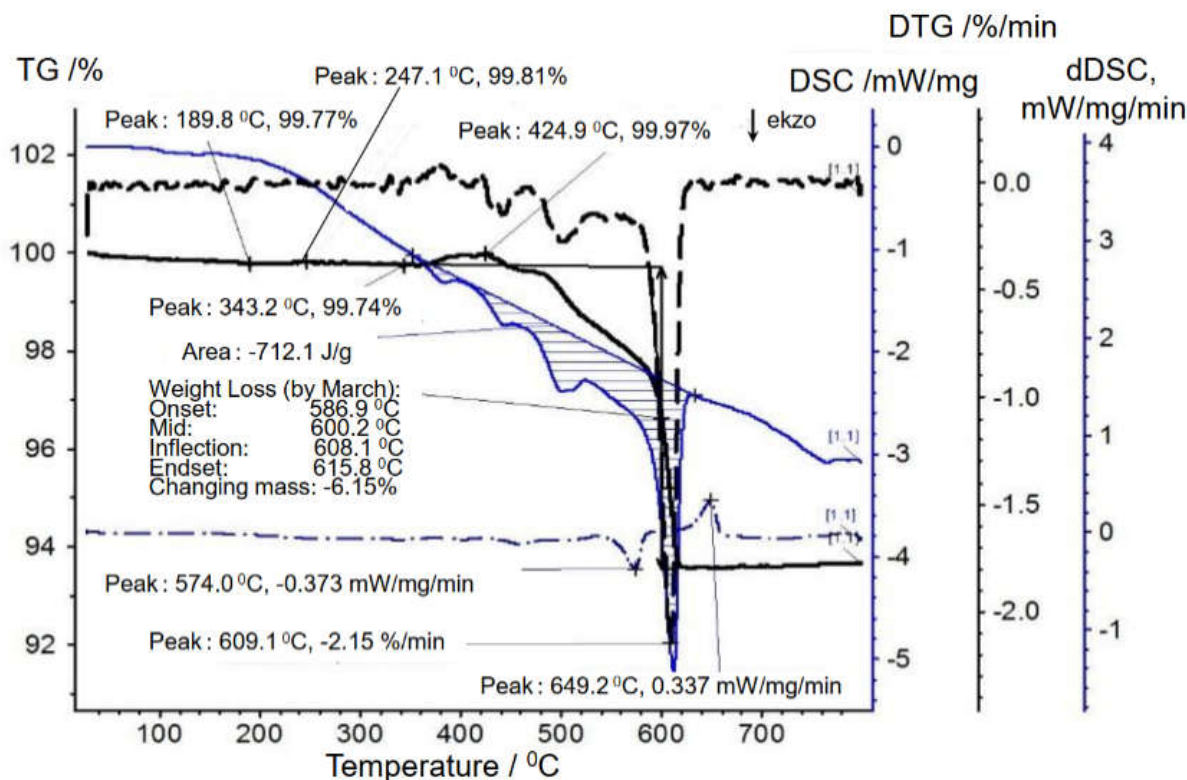


Рис. 3. Результаты СТА рудного тела-кварцевого метасоматита с арсенопиритом и турмалином

Метод *СТА* позволяет оценить такие взрывопожароопасные показатели как температура тления, температура самовоспламенения, а также оценить склонность веществ к самовозгоранию и многое другое.

Некоторой альтернативой данному методу, являются другие методы, которые возможно применить в заводской лаборатории без специального образования рабочим персоналом. Одним из таких методов, является метод, позволяющий оценить горючесть материала, описанный в ГОСТ 12.1.044-2018. Суть которого заключается в экспериментальном определении группы негорючих твердых веществ и материалов. Однако, его применение требует специальной лабораторной установки. Поэтому предлагается заменить установку на простую муфельную печь (термостат), главное, чтобы он мог обеспечивать указанный в методике температурный режим.

Заключение

В процессе выполнения работы возник целый ряд трудностей, прежде всего с получением исходных статистических данных по инцидентам и авариям на объектах ведения подземных горных работ, а также большим объемом теоретических сведений и методов исследования горнорудных материалов. На основании полученных результатов установлено, что в настоящее время действительно существуют предпосылки к применению РОП для решения проблемных вопросов, связанных с обеспечением промышленной безопасности на рассмотренных в настоящей статье объектах. Для решения поставленных задач принято решение разделить работу на несколько научно-исследовательских направлений по взрывопожароопасным составляющим добываемого сырья. На данном этапе были рассмотрены вместе шахты и рудники, но в дальнейшем угольные шахты будут рассматриваться отдельно от рудников, на которых ведется добыча полиметаллических серосодержащих руд. Разделение направления исследования целесообразно с точки зрения более точного выявления и определения влияющих факторов и определения численных значений весовых составляющих при расчете риска, учитывающего динамику ведения горных работ и изменение физико-химических и взрывопожароопасных свойств горнорудных материалов.

Список источников

1. Родионов В. А., Цыганков В. Д., Жихарев С. Я., Кормщиков Д. С. Методика исследования аэродинамических свойств каменноугольной пыли в протяженных горизонтальных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 69–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-10-0-69.
2. Бобровская Т.А., Ивахнюк Г.К., Скрипник И.Л. Управление пожарными рисками при осуществлении технологического аудита на предприятиях судоремонтного комплекса // Научно-аналитический журнал. Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. № 1(2018) – 2018. С. 31-40.
3. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Моделирование сценариев развития чрезвычайных ситуаций и расчет риска в типовом резервуарном парке нефтебазы // Научно-аналитический журнал. Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. № 4 (2019) – 2019. С. 28-36.
4. Каверзнева Т.Т., Румянцева Н.В., Леонова Н.А., Салкуцан В.И., Скрипник И.Л. Мотивация безопасного поведения человека. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т.9 № 1(49). С. 206-212.
5. V. Rodionov, I. Skripnik, Yu. Ksenofontov, et.al. Prerequisites for applying the risk-based approach to assessing the explosive and fire hazardous properties of underground mining materials E3S Web Conf., 417 (2023) 05013 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341705013>.
6. V. Rodionov, M. Tumanov, I. Skripnik, et.al. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 981(3), 032024 (2022) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032024>.

7. Магомет Р.Д., Родионов В.А. Повышение взрывобезопасности угольных шахт Российской Федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4 (специальный выпуск 6). – С. 147–155. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-147-155.

8. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Моделирование сценариев развития чрезвычайных ситуаций и расчет риска в типовом резервуарном парке нефтебазы // Научно-аналитический журнал. Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. № 4 (2019) – 2019. С. 28-36.

9. Куватов В. И., Заводсков Г.Н., Колеров Д.А. Байесовская модель распределения ресурсов в интересах повышения эффективности управления рисками ЧС // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 41-47.

10. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Вопросы принятия управленческих решений в случае неопределенности и риска // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-Западного федерального округа России: межвузовский сборник научных трудов. СПб. Выпуск 3 (44), 2018. - С. 18-25.

11. Куватов В. И., Горбунов А.А., Колеров Д.А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2022. № 2. С. 116-124.

References

12. Rodionov V. A., Tsygankov V. D., Zhikharev S. Ya., Kormshchikov D. S. Research procedure for coal dust aerodynamics in long roadways. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.2021;(10):69-79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493_2021-10-0-69.

1. Bobrovskaya T.A., Ivakhnyuk G.K., Skripnik I.L. Fire risk management in the implementation of technological audit at ship repair complex enterprises // Scientific and Analytical Journal. Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. No. 1(2018) - 2018. pp. 31-40.

13. Skripnik I.L., Voronin S.V., Kaverzneva T.T. Modeling scenarios of emergency situations and risk calculation in a typical tank farm tank farm // Scientific and Analytical journal. Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. No. 4 (2019) – 2019. pp. 28-36.

14. Kaverzneva T.T., Rumyantseva N.V., Leonova N.A., Salkutsan V.I., Skripnik I.L. Motivation of safe human behavior. XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2020. Vol.9 No. 1(49). pp. 206-212.

15. V. Rodionov, I. Skripnik, Yu. Ksenofontov, et.al. Prerequisites for applying the risk-based approach to assessing the explosive and fire hazardous properties of underground mining materials E3S Web Conf., 417 (2023) 05013 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341705013>.

16. V. Rodionov, M. Tumanov, I. Skripnik, et.al. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 981(3), 032024 (2022) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032024>.

17. Magomet R.D., Rodionov V.A. Improving the explosion safety of coal mines of the Russian Federation // Mining information and analytical Bulletin. – 2019. – No. 4 (Special issue 6). – pp. 147-155. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-147-155.

18. Skripnik I.L., Voronin S.V., Kaverzneva T.T. Modeling scenarios of emergency situations and risk calculation in a typical tank farm tank farm // Scientific and Analytical journal. Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. No. 4 (2019) – 2019. pp. 28-36.

19. Kuvatov V.I., Zavodskov G.N., Kolerov D.A. Bayesian model of resource allocation in the interests of increasing the efficiency of emergency risk management // Modern problems of civil protection. 2022. No. 4(45). pp. 41-47..

20. Bardulin E.N., Skripnik I.L., Voronin S.V. Issues of managerial decision-making in case of uncertainty and risk \ Regional aspects of management, economics and law of the North-Western Federal District of Russia: Interuniversity collection of scientific papers. St. Petersburg. Issue 3 (44), 2018. - pp. 18-25.

21. Kuvatov V.I., Gorbunov A.A., Kolerov D.A. Method of intellectual support of management decisions using associative connections when forecasting emergency situations // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". 2022. No. 2. pp. 116-124. EDN MANVIT.

Информация об авторах

В.А. Родионов - кандидат технических наук

Т.Т. Кавезнева - кандидат технических наук

С.В. Воронин - кандидат технических наук

Д.В. Савельев - кандидат военных наук

Information about the author

V.A. Rodionov - Ph.D. of Engineering Sciences

T.T. Kaverzneva - Ph.D. of Engineering Sciences

S.V. Voronin - Ph.D. of Engineering Sciences

A.V. Savelyev - Ph.D. of Military Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.09.2023; одобрена после рецензирования 01.10.2023; принята к публикации 21.10.2023.

The article was submitted 20.09.2023, approved after reviewing 01.10.2023, accepted for publication 21.10.2023.