

Проведенные исследования показывают, что определение требуемого расхода воздуха для рабочих зон машин с ДВС на основании только данных о максимальном режиме работы двигателя некорректно и приводит к завышению значений расходов воздуха. Кроме того, принятие дополнительных организационных мер по исключению нахождения рабочих в выработке при работе в ней ПДМ и нахождении оператора либо в кабине, либо на свежей струе воздуха гарантировано позволяют обеспечить безопасные условия труда в случае расчета воздуха на основе максимальных режимов работ двигателя ПДМ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000396-6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Гришин Е.Л., Семин М.А. Расчет количества воздуха по содержанию кислорода для проветривания рабочих зон при применении машин с двигателями внутреннего сгорания // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 8. – С. 43-46.
2. Накаряков Е.В., Семин М.А., Гришин Е.Л., Колесов Е.В. Анализ закономерностей накопления и выноса выхлопных газов от машин с двигателями внутреннего сгорания в тупиковых камерообразных горных выработках // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 5. – С. 41-47. – DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-41-47.
3. Накаряков Е.В., Гришин Е.Л. Анализ влияния производственного цикла работы погрузочно-доставочной машины в очистной тупиковой камере на эффективность проветривания // Горное эхо. – 2020. – № 3 (80). – С. 120-123. – DOI: 10.7242/echo.2020.3.23.
4. Накаряков Е.В. Натурные исследования рудничной атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 113-118. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.22.
5. Nakaryakov E.V., Grishin E.L. Ventilation in long blind stopes during operation of load-haul-dumpers with combustion engines // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – V. 773, № 1. – Номер статьи 012077. – DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012077.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.4.21

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИНТЕГРАЦИИ С ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМОЙ РОСТЕХНАДЗОРА

А.В. Зайцев

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены новейшие разработки в области интеллектуального мониторинга технологических процессов и состояния сооружений на горнодобывающих предприятиях. Суть подхода заключается в интеграции систем измерений с математическими моделями объектов мониторинга, что позволяет повысить уровень анализа получаемых данных, а также осуществлять прогноз развития ситуации, определять интегральные критерии безопасности функционирования объекта. Представлены два примера реализации таких разработок – мониторинг систем рудничной вентиляции и состояния надшахтного здания скипового ствола. Сформулированы предложения по развитию данного направления с учетом реализации цифровой платформы Ростехнадзора и современной нормативной базы.

Ключевые слова: промышленная безопасность, опасный производственный объект, системы мониторинга, математическое моделирование, рудничная вентиляция, строительные конструкции.

На сегодняшний день горнотехнические объекты постоянно усложняются, горные предприятия вынуждены работать во все более сложных горно-геологических условиях. Это приводит к увеличению рисков эксплуатации объектов вне проектных условий, на которые изначально объекты не были рассчитаны. Кроме того, на практике зачастую не исключены риски отклонения от проектных решений и при строительстве объектов.

Современные возможности средств измерений и развитие информационных технологий позволяют осуществлять непрерывный контроль опасных производственных объектов.

Этому соответствует и нормативная база. Так, согласно Федеральному закону № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» предусматриваются обязательные требования по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов (статья 9) [1]. Наиболее эффективно обеспечить данные требования возможно с применением систем мониторинга технических систем на опасных производственных объектах. Поэтому в обсуждаемом проекте ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (согласно Протоколу № 46 от 08.06.2021) предусматривается формирование правовых основ внедрения дистанционных методов мониторинга в области промышленной безопасности [2].

В этом свете также следует отметить наличие действующего постановления Правительства Российской Федерации № 2415 от 31 декабря 2020 года «О проведении эксперимента по внедрению системы дистанционного контроля промышленной безопасности» [3]. Целями данного эксперимента являются:

- определение эффективности и удобства применения для организаций и индивидуальных предпринимателей технологий сбора, аналитической обработки информации о состоянии промышленной безопасности и технологических процессах на эксплуатируемых ими опасных производственных объектах, расчета показателей состояния промышленной безопасности, оперативной оценки рисков возникновения аварий и передачи информации в Федеральную службу по экологическому, технологическому и атомному надзору;
- апробация новых подходов к обеспечению федеральных органов исполнительной власти автоматизированным инструментарием оценки рисков возникновения аварий на опасных производственных объектах с использованием систем оперативного мониторинга технологических процессов и расчета показателей состояния промышленной безопасности;
- оценка достоверности сведений, вносимых в систему дистанционного контроля, по итогам проведения эксперимента.

Этим целям в полной мере отвечают научно-инновационные разработки систем мониторинга технологических процессов и состояния объектов на горнодобывающих предприятиях, разработанные в Пермском федеральном исследовательском центре.

В статье представлен ряд перспективных разработок по дистанционному мониторингу опасных производственных объектов. Цель таких разработок – обеспечить безаварийную эксплуатацию опасных производственных объектов и организацию их ремонта по текущему и прогнозируемому ресурсному состоянию. Это достигается разработкой систем мониторинга нового поколения, базирующихся на математических моделях (цифровых двойниках) объектов с применением современных измерительных систем.

В Горном институте УрО РАН уже более 20 лет ведется разработка и внедрение аналитического комплекса «АэроСеть» для моделирования систем вентиляции шахт и рудников в штатных и аварийных режимах проветривания. Сегодня «АэроСеть» – это программный комплекс, представляющий собой экспертную систему с обширной базой данных моделей вентиляционных сетей, применяемых вентиляционных сооружений и оборудования, методик расчета количества воздуха.

Программа широко применяется в проектных институтах для разработки технических решений по вентиляции, кондиционированию и воздухоподготовке при разработке проектной документации. Также программа нашла широкое применение на горнодобывающих предприятиях для разработки Планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий, полностью отвечает требованиям Федеральных норм и правил, реализованы многие методики расчета количества воздуха.

Программа на данном этапе позволяет осуществлять производственный контроль промышленной безопасности, возможно ее внедрение при организации государственного надзора. Так, одним из важных модулей программы является блок автоматических проверок моделей вентиляционных сетей и результатов моделирования, на предмет определения достаточности подачи воздуха, наличия зон с неконтролируемой рециркуляцией или неустойчивым проветриванием. Это позволяет существенно снизить трудозатраты на проверку разрабатываемой модели и технических решений по проветриванию рабочих зон [4].

Одним из перспективных направлений применения возможностей программы – это реализация систем аэрогазового мониторинга в сети горных выработок [5].

Сеть горных выработок современных рудников отличается большой протяженностью, сложной топологией, множеством факторов, влияющих на состояние рудничной атмосферы. С учетом постоянного движения фронта ведения горных работ задача контроля состояния рудничной атмосферы с точки зрения газового состава и объема подаваемого свежего воздуха является трудноосуществимой. Традиционные инструментальные замеры являются периодическими и не способны обеспечить непрерывный мониторинг. Традиционные системы, основанные на применении стационарных датчиков, позволяют контролировать параметры только в месте установки датчиков. Для устранения указанных недостатков предложена система аэрогазодинамического мониторинга на основе математической модели сети горных выработок. Данная модель разрабатывается специалистами на основании данных воздушно-депресссионных съемок и уточняется по данным измерений с датчиков.

Система аэрогазового мониторинга строится на основе интеграции данных измерений с установленных автоматических замерных станций, определяющих расход воздуха в выработке, концентрации горючих и ядовитых газов, и возможностей математического моделирования на сети горных выработок, позволяющих спрогнозировать распределение воздуха и газовых примесей во всех горных выработках и рабочих зонах. В режиме реального времени, по мере поступления новых данных, система мониторинга пересчитывает распределение в каждой горной выработке, а также позволяет выявлять датчики, вышедшие из строя, и компенсировать отсутствие показаний в местах их установки [6].

На рисунке 1 представлен пример прогнозирования расходов воздуха в сети горных выработок на основании отдельных результатов измерений, получаемых с датчиков расхода воздуха автоматической замерной станции.

Подобная аналитическая обработка данных измерений, позволяющая оценивать ситуацию с проветриванием всех горных выработок, делает возможным сравнение фактических параметров рудничной атмосферы с требуемыми, учитывать данные систем позиционирования рабочих и техники, автоматически находить и сигнализировать о

наличии «проблемных» участков. Пример визуализации участка с выявленной подачей недостаточного количества воздуха при работе в подземной рабочей зоне погрузочно-доставочной машины представлен на рисунке 2.

Система в автоматическом режиме собирает и обрабатывает данные и далее хранит их на сервере, а также имеет необходимые возможности по их визуализации как по каждой рабочей зоне, так и по руднику в целом.

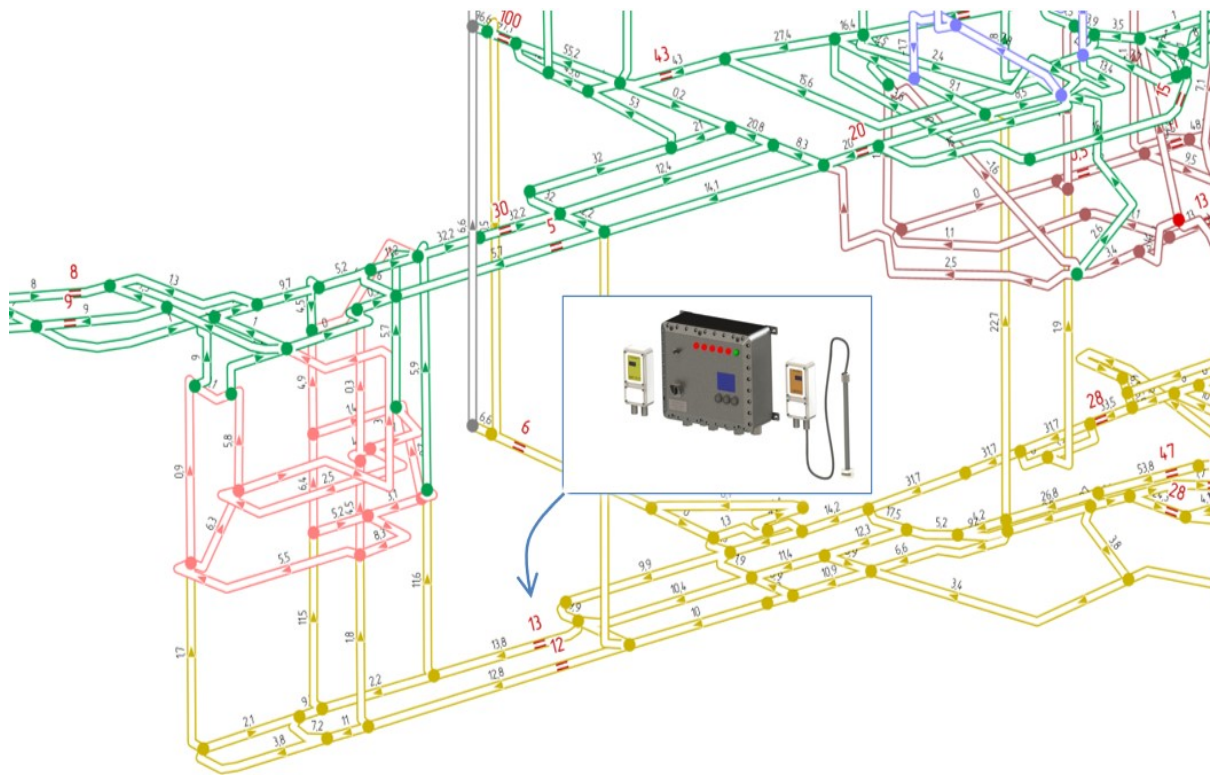


Рис. 1. Результаты прогнозирования воздухораспределения в сети горных выработок на основе измерений в отдельных горных выработках с помощью автоматических замерных станций

Второй пример – система автоматического деформационного мониторинга надшахтного здания скипового ствола. Особенностью данного объекта являлось его строительство на участке замороженных горных пород, которые представляли собой ледопородное ограждение для безопасной проходки ствола. На этапе сооружения постоянного надшахтного здания большая часть свай попала в замороженные грунты, дальнейшая оттайка которых могла представлять угрозу для эксплуатации здания. Для оценки возникающих рисков и дальнейшей безаварийной эксплуатации здания было принято решение развернуть систему непрерывного деформационного мониторинга [7].

Аналитическим ядром данной системы являлась трехмерная численная модель напряженно-деформированного состояния конструкции, которая учитывала следующие определяющие факторы:

- модель взаимодействия замороженных грунтов с опорными конструкциями надшахтного здания, оголовком и крепью ствола, а также системой воздухоподготовки и калориферным каналом;
- температурные деформации конструкции, возникающие вследствие теплового взаимодействия с воздухом и окружающим массивом горных пород;
- сезонные и суточные измерения параметров атмосферы.

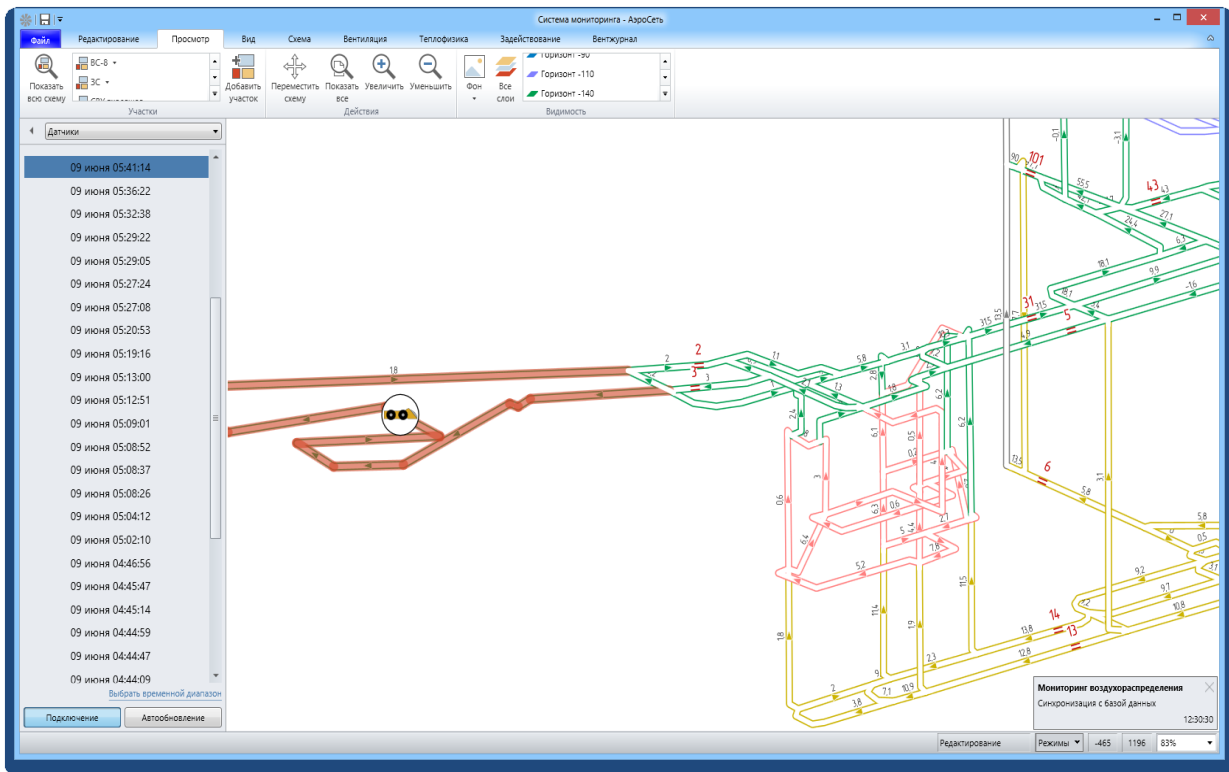


Рис. 2. Автоматический поиск и визуализация подземных рабочих зон с недостаточной подачей свежего воздуха в АК «АэроСеть»

Для верификации разработанной математической модели, ее параметрического обеспечения и получения данных о прямых измерениях конструкция надшахтного здания была оборудована сетью деформационных, вибрационных и температурных датчиков, инклинометрами и нивелирами.

Важным моментом является то, что разработанная математическая модель предоставила возможность обоснования мест заложения датчиков для получения наиболее полной картины о состоянии объекта.

Интеграция системы датчиков с математической моделью позволила разработать оригинальную интеллектуальную систему мониторинга объекта, включающую:

- средства измерения (всего установлено 36 датчиков деформаций и оседаний, 7 датчиков температуры, 6 инклинометров и 11 датчиков вибраций);
- сервер сбора, хранения и первичной обработки результатов измерений (установлен на объекте);
- главный сервер для математической обработки результатов измерений на объекте (установлен в научном центре);
- веб-интерфейс системы с возможностью разграничения прав доступа.

Схематичное изображение автоматической системы контроля деформационного состояния надшахтного здания скипового ствола, включающую все представленные элементы, представлено на рисунке 3.

Система функционирует в непрерывном круглогодичном режиме, отображая фактическое состояние конструкции. Например, явно прослеживаются сезонные и суточные температурные деформации конструкции, вызывающие в том числе, разнонаправленные деформации опорных элементов. Например, в летний период времени года разогрев крепи ствола приводит к ее линейной температурной деформации, поднимающей оголовок ствола на 9 мм и за счет этого обеспечивающий снижение напряжений в сваях конструкции.

Откалиброванная математическая модель надшахтного здания позволяет спрогнозировать поведение конструкции в случае полной оттайки замороженного грунта. В результате чего было установлено, что рисков разрушения элементов конструкции нет.

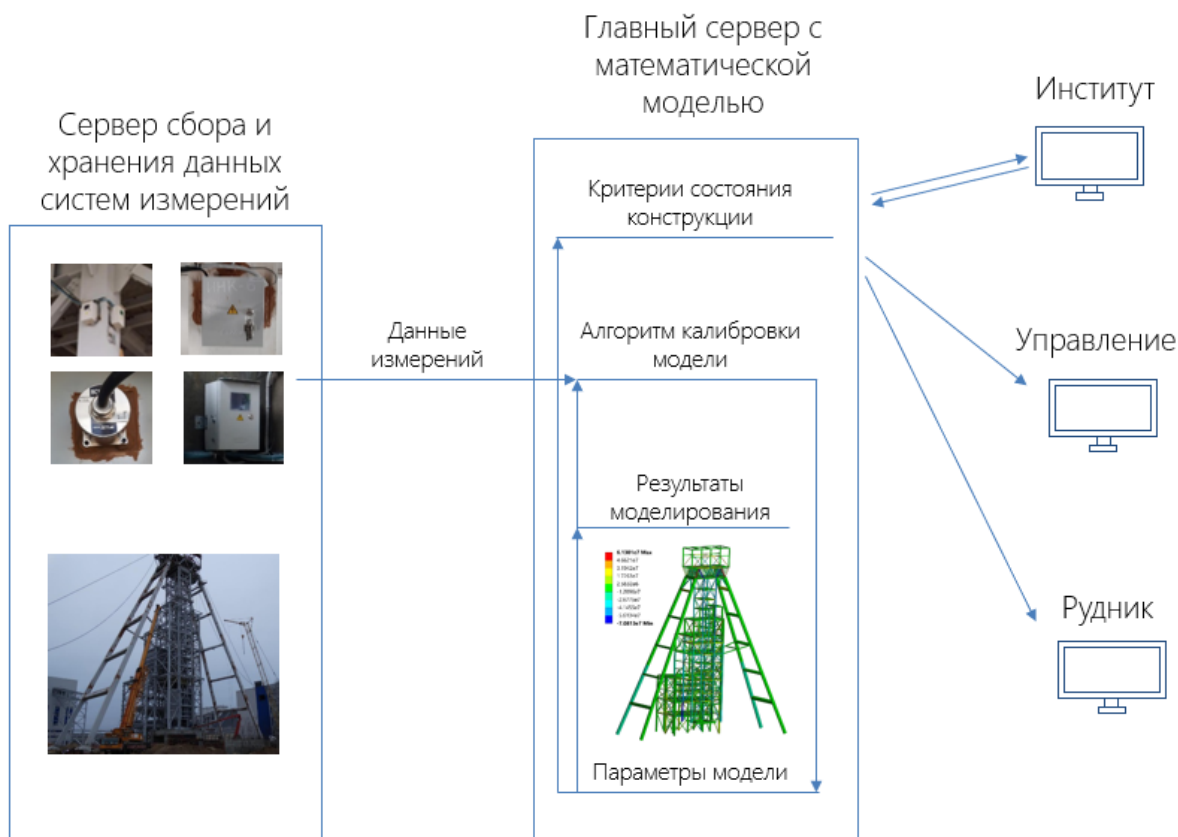


Рис. 3. Схематичное изображение автоматической системы контроля деформационного состояния надшахтного здания скипового ствола



Рис. 4. Интегральные критерии состояния надшахтного здания по результатам тензометрии, инклинометрии и гидронивелирования (измерения оседаний)

Также математическая модель позволяет разработать интегральные критерии оценки состояния конструкции по оседаниям, деформациям и отклонениям. Данные критерии позволяют оперативно оценивать состояние конструкции и ее текущий конструктив-

ный запас. На рисунке 4 приведен пример представления данных критериев по разным параметрам конструкции, в таком виде критерии представлены на веб-интерфейсе системы для конечных пользователей.

Аналогичная система интеллектуального мониторинга на исследуемом объекте ранее применялась для контроля состояния ледопородного ограждения при строительстве ствола методом искусственного замораживания [8].

Представленные системы мониторинга технологических процессов и состояния объектов на горнодобывающих предприятиях имеют широкие возможности интеграции с цифровой платформой Ростехнадзора для возможности организации дистанционного контроля промышленной безопасности согласно постановлению Правительства Российской Федерации № 2415 от 31 декабря 2020 года «О проведении эксперимента по внедрению системы дистанционного контроля промышленной безопасности».

На основе представленных разработок, имеющегося опыта и нормативной базы в области контроля промышленной безопасности, считаем целесообразным развитие данного направления по следующим позициям:

- 1) разработка порядка согласования и утверждения в Ростехнадзоре формы реализации ремонтов и компенсирующих мероприятий для безаварийной эксплуатации объектов по их ресурсному состоянию;
- 2) развертывание программы «АэроСеть», разработанную в Федеральном государственном учреждении науки Пермском Федеральном исследовательском центре, в учреждениях Ростехнадзора и проведение обучения специалистов;
- 3) совместная с Ростехнадзором и горными предприятиями подготовка критических технологических процессов и объектов для пилотных проектов мониторинга;
- 4) совместная с горными предприятиями подготовка объектов для внедрения дистанционного мониторинга.

На наш взгляд, реализация данных предложений позволит существенно повысить оперативность и качество контроля выполнения требований Правил промышленной безопасности и состояния опасных производственных объектов, тем самым минимизировать риски возникновения возможных техногенных аварий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 (рег. номер 122012000396-6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О промышленной безопасности производственных объектов: Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.1997, с изм. – Текст электронный // КонсультантПлюс: офиц. сайт. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/. (Дата обращения 15.10.22).
2. Проект Федерального Закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»: протокол № 46 от 08.06.2021.
3. О проведении эксперимента по внедрению системы дистанционного контроля промышленной безопасности: постановление прав-ва РФ от 31.12.2020, № 2415. (с изм. на 30.06.2021 г.) – Текст электронный. // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573319188>. (Дата обращения 15.10.2022).
4. Кормщиков Д.С. Разработка инструментов анализа сложных вентиляционных сетей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / Ги УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 251-254.
5. Способ мониторинга расходов воздуха в сети горных выработок и система для его осуществления: пат. 2587192 Рос. Федерация: МПК Е 21 F1/00 (2006.01); /Казаков Б.П., Левин Л.Ю., Зайцев А.В.,

- Мальков П.С., Кормщиков Д.С.; патентообладатель ФГБУН «ГИ УрО РАН». – № 2014147769/03. заявл. 26.11.2014; опубл. 20.06.2016. – Бюл. № 17.
6. Кормщиков Д.С. Разработка систем аэрогазодинамической безопасности подземных рудников // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 273-276.
 7. Бублик С.А., Зайцев А.В., Шардаков И.Н., Семин М.А. Исследование деформационных процессов в металлоконструкциях надшахтного здания скипового ствола // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 258-267. – DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-258-267.
 8. Levin L., Golovaty I., Zaitsev A., Pugin A., Semin M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2021. – V. 107. – № статьи 103685. – DOI 10.1016/j.tust.2020.103685.