

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЗАЩИЩЕННОМ ИСПОЛНЕНИИ

С.Н. Гончаренко¹, А.Б. Лачихина²

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: gsn@misis.ru

² Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Аннотация: Представлены подходы к созданию модели горно-геологической информационной системы промышленного предприятия в защищенном исполнении. На базе технологической схемы геотехнологического полигона рассмотрены принципы формирования цифровой модели месторождения и сформированы базовые информационные потоки данных геофизических исследований. На основе анализа информационных потоков добычного комплекса и учета стадийности проведения работ на месторождении, а также значимости обрабатываемой информации, была разработана архитектура горно-геологической информационной системы (ГГИС). В рамках геологической подсистемы осуществлялись сбор, обработка первичных геологических данных, построение геолого-математических моделей продуктивного горизонта и расчет геотехнологических показателей полигона. Технологическая подсистема представлена в виде модели добычного комплекса геотехнологического предприятия. В подсистеме цифровой модели основной упор сделан на формирование производственной функции с учетом стадийности проведения работ, основанной на принципе последовательных приближений. Особый интерес в работе представляет комплекс мероприятий по формированию подсистемы информационной безопасности на всех стадиях и этапах создания ГГИС с учетом применимых в сфере деятельности предприятия требований нормативных правовых актов, а также национальных стандартов в области информационной безопасности. Данная подсистема взаимодействует напрямую со всеми подсистемами ГГИС, включая информационные ресурсы в хранилище данных, находящиеся в процессах обработки и передачи, а также на различных носителях, средства вычислительной техники, компоненты сетей и систем, программное обеспечение, автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Ключевые слова: геоинформационная система управления, информационная безопасность промышленного предприятия, события безопасности, мониторинг событий безопасности, показатели мониторинга, инциденты информационной безопасности, точность измерения показателей мониторинга, подземное скважинное выщелачивание, иерархическая распределенная система, моделирование технико-экономических показателей.

Для цитирования: Гончаренко С. Н., Лачихина А. Б. Построение модели горно-геологической информационной системы промышленного предприятия в защищенном исполнении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 6. – С. 39–55. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_39.

Modeling protected geological and geotechnical information system in mining industry

S.N. Goncharenko¹, A.B. Lachihina²

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia, e-mail: gsn@misis.ru

² Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia

Abstract: The article describes approaches to modeling a protected geological and geotechnical information system of a mine. Using a flow sheet of a geotechnical test site, the concept of digital modeling of a mineral deposit is discussed, and the main information flows of geophysical research data are compiled. On the basis of the analysis of information flows at a mine with regard to stages of mineral mining and the relevance of the information, the architecture of the geological and geotechnical information system (GGIS) is constructed. In the framework of a geological subsystem, the source geological data are collected and interpreted, the geological mathematical models of a productive stratum are built, and the geotechnical characteristics of the test site are calculated. The geotechnical subsystem represents the model of the production facilities of the mine. The digital model focuses on formation of a production function with regard to the stages of mining based on the principle of successive approximations. This study addresses specifically an action plan on the subsystem of information safety at all stages of the geological and geotechnical information system modeling including legal documents and regulations effective in the mining sphere as well as the national standards in the sphere of information safety. This subsystem interacts directly with all GGIS subsystems, including the informational resources in data banks, being processed and transferred, and on different data carriers, the computing machinery, the components of networks and systems, the software and the automated process flow controls.

Key words: geoinformation control system, information safety of a mine, safety events, monitoring of safety events, monitoring indicators, information safety incidents, monitoring data accuracy, in-situ leaching, distributed hierarchical system, engineering and economic performance modeling.

For citation: Goncharenko S. N., Lachihina A. B. Modeling protected geological and geotechnical information system in mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(6):39-55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_39.

Введение

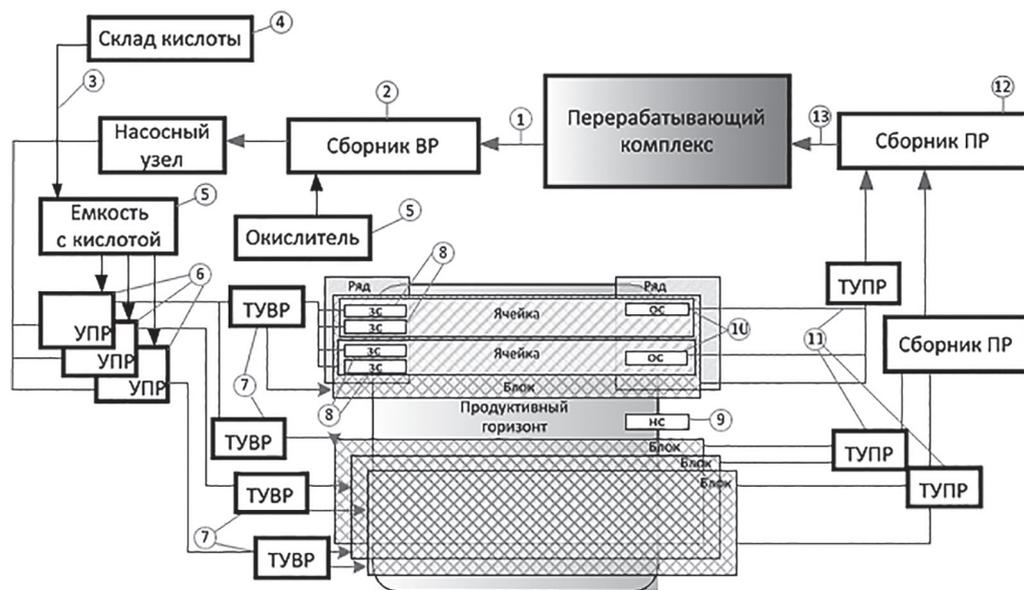
Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) с точки зрения экономической эффективности и экологической безопасности на сегодняшний момент является одним из самых перспективных способов добычи полезных ископаемых [1, 2]. Оно может применяться для разработки бедных, глубокозалегающих месторождений, а также месторождений, характеризующихся сложными гидрогеологическими и горно-технологическими условиями [3 – 5]. Добыча полезных ис-

копаемых методом ПСВ осуществляется с помощью технологических скважин, объединенных системой трубопроводов в эксплуатационные ячейки и блоки. Через нагнетательные скважины в продуктивный горизонт закачивается выщелачивающий (рабочий) раствор, содержащий реагенты, способные растворять содержащие полезные компоненты — минералы. На большинстве предприятий, использующих метод ПСВ, в качестве выщелачивающего агента применяется серная кислота. В результате физико-хи-

мического взаимодействия выщелачивающими реагентами с рудообразующими минералами в подземном водоносном горизонте образуется содержащий полезные компоненты продуктивный раствор, который выдвигается на поверхность посредством системы откачных скважин. В процессе переработки продуктивного раствора из него извлекается полезные компоненты, а оставшиеся маточные растворы доукрепляются выщелачивающими реагентами и снова подаются в нагнетательные скважины в качестве рабочего раствора [6, 7].

Принципиальная технологическая схема ПСВ представлена на рис. 1 (цифрами указаны места контроля первичных данных о работе добычного комплекса). На геотехнологических блоках установлены узлы подготовки растворов (УПР), технологические узлы приема и распределения выщелачивающих (ТУВР) и продуктивных растворов (ТУПР) [8, 9].

Основными задачами, решаемыми геологической службой геотехнологического предприятия по добыче полезных ископаемых методом ПСВ, является подсчет запасов и формирование оптимальных методов отработки месторождения. Для решения этих задач необходимы сбор, анализ и обобщение всей информации, полученной на различных этапах изучения и отработки месторождения. Достоверность подсчета находится в прямой зависимости от полноты и качества проведенных исследований, а также от корректного использования полученных данных. В зависимости от той или иной их интерпретации можно получить различные результаты. Происходит это вследствие необходимости распространения полученных данных на объемы, превышающие фактически опробованные в тысячи раз, даже при очень густой сети получаемых рудных пересечений [10]. В таких условиях рациональным решением



1 – трубопровод маточных растворов (МР); 2 – пескоотстойник ВР; 3 – трубопровод кислоты; 4 – склад кислоты; 5 – емкость с кислотой; 6 – узел подготовки растворов; 7 – трубопровод ВР; 8 – закачные скважины (ЗС); 9 – наблюдательные скважины (НС)

Рис. 1. Технологическая схема предприятия ПСВ и точки сбора первичной информации
Fig. 1. The technological scheme of the PSV enterprise and the primary information collection points

<p><u>ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - предварительная; - детальная; - ТЭО кондиций; - подсчет запаса. 	<p><u>ПОДГОТОВКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - проектирование вскрытия; - эксплуатационная разведка; - оценка геоэкологических последствий. 	<p><u>ОТРАБОТКА</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - движение запасов; - оптимизация; - планирование РВР; - наблюдение за состоянием недр. 	<p><u>ЗАВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - вывод из эксплуатации; - рекультивация.
<u>ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ</u>			
<ul style="list-style-type: none"> - первичная информация; - данные интерпретации; - согласованные данные; - постоянные кондиции. 	<ul style="list-style-type: none"> - первичная информация; - данные интерпретации; - согласованные данные; - постоянные кондиции. 	<ul style="list-style-type: none"> - данные списания запасов; - данные по наблюдаемым скважинам; - данные контроля состояния рудовмещающей толщи. 	<ul style="list-style-type: none"> - геологические данные по контрольным скважинам.
<u>ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ</u>			
<ul style="list-style-type: none"> - кондиции; - подсчетные планы и таблицы. 	<ul style="list-style-type: none"> - проект вскрытия; - подсчетные планы и таблицы. 	<ul style="list-style-type: none"> - таблица движения запасов; - планы распространения реагентов. 	<ul style="list-style-type: none"> - планы распространения реагентов; - подсчетные планы и таблицы.

Рис. 2. Жизненный цикл цифровой модели месторождения

Fig. 2. The life cycle of the digital model of the field

представляется создание и внедрение автоматизированной системы, обеспечивающей согласованность и непротиворечивость информации, бизнес-процессов предприятия, принимаемых управленческих решений, а также снижение вероятности ошибок.

Такая система должна учитывать совокупность алгоритмов, составленных на основе имеющегося опыта отработки месторождений полезных ископаемых методом ПСВ, и всех геологических данных (первичные данные по скважинам, результаты их интерпретации и увязки, геолого-математические модели, результаты подсчета запасов и т.д.), объединенных в цифровую модель геологической среды месторождения, а также принципы проведения геологоразведочных работ.

Методы

Использование цифровой модели геологической среды месторождения обес-

печивает информационную поддержку жизненного цикла геотехнологического предприятия, начиная от предварительной разведки месторождения и заканчивая выводом его из эксплуатации (рис. 2).

Цифровая модель месторождения должна формироваться в соответствии с принципом полноты информации, а ее поступление в систему должно обеспечиваться на всех этапах жизненного цикла отработки месторождения [11, 12].

Объем и качество информации должны быть достаточными для составления кондиций, подсчета запасов, проектирования добычного комплекса, проведения моделирования процесса добычи, оценки геоэкологических последствий разработки месторождения, планирования вывода из эксплуатации и рекультивации месторождения. Следовательно, необходимо наличие сведений о размерах и контурах всего месторождения, о распространении оруденения на глубину, об отдельных рудных телах, геофизических,

гидрогеологических условиях залегания руды, промышленных сортах и типах руд, их комплексном и фазовом составе, закономерности распространения в них полезных компонентов [13, 14].

На основе обработки информации, передаваемой на всех стадиях геологоразведывательных работ в цифровую модель месторождения, система на выходе должна давать разведочные временные кондиции, технико-экономическое обоснование (ТЭО) разведочных постоянных кондиций, подсчет запасов для представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых, рабочий проект разработки месторождения, планирование эксплуатационной разведки и ремонтно-восстановительных работ (РВР).

На основе информации, полученной в ходе горно-подготовительных работ при выполнении эксплуатационной разведки, уточняют данные цифровой модели геологической среды. На выходе модель должна обеспечивать подсчет запасов блоков эксплуатационной разведки и вскрытых запасов в эксплуатационных полигонах [15 – 17].

В ходе обработки в цифровую модель месторождения заносятся данные по извлечению и списанию запасов, данные геофизических исследований, проводимых на эксплуатационных и наблюдательных скважинах. При выводе месторождения из эксплуатации в цифровую модель месторождения заносятся данные геофизических исследований, проводимых на эксплуатационных и наблю-

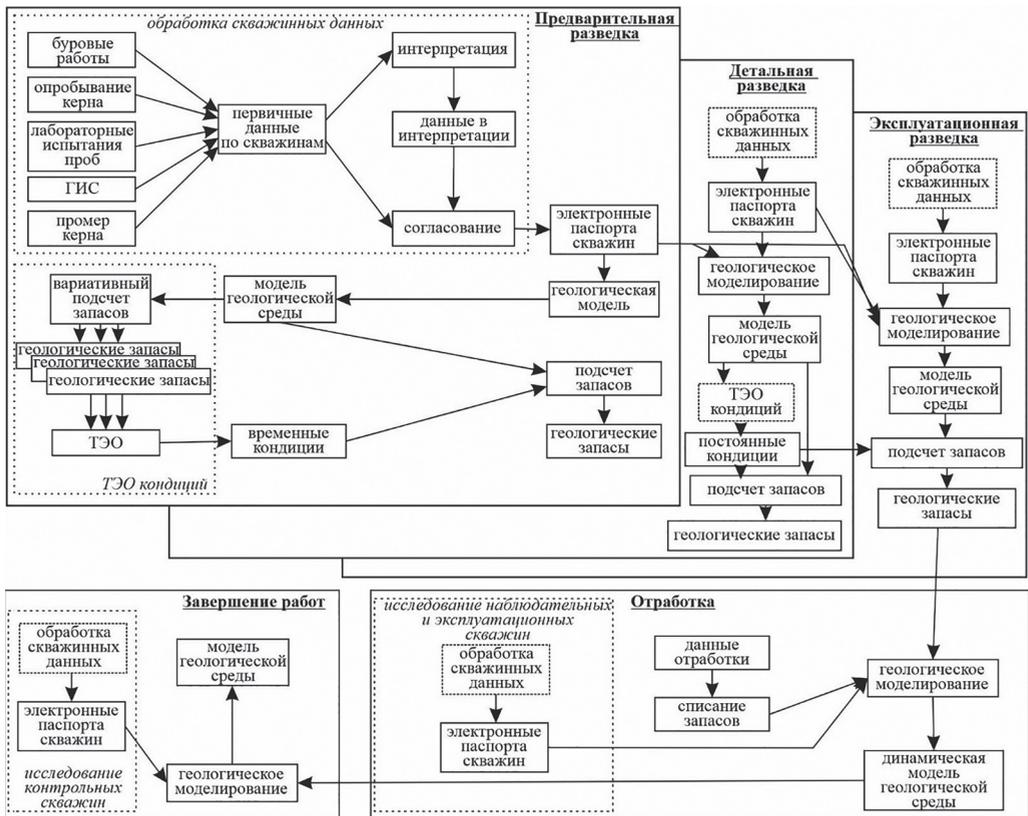


Рис. 3. Схема потоков данных цифровой модели месторождения

Fig. 3. Data flow diagram of the digital model of the depos

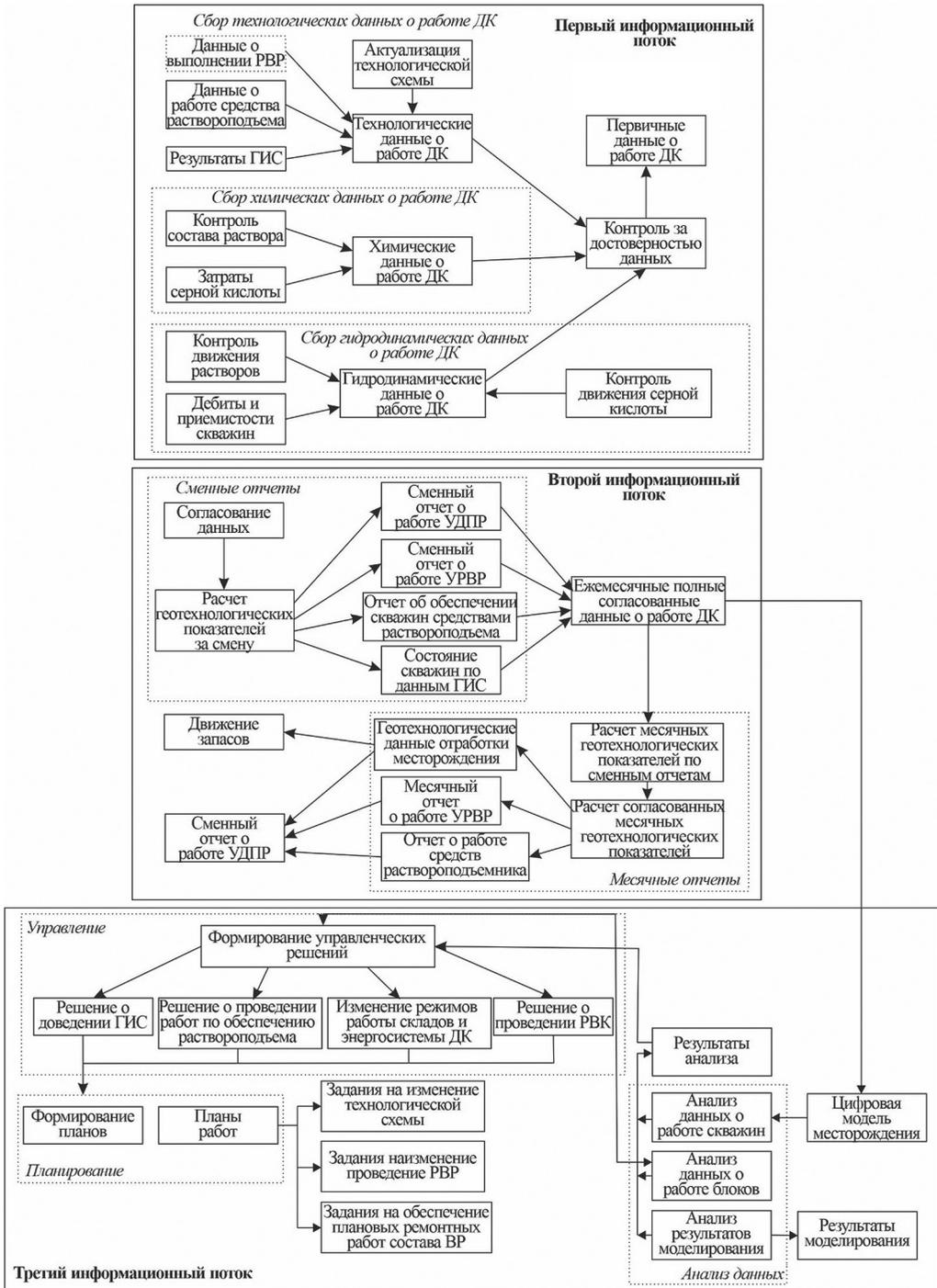


Рис.4. Схема потоков данных добычного комплекса

Fig.4. Data flow diagram of the mining complex

дательных скважинах, данные геолого-разведки по пробуренным контрольным скважинам (рис. 3).

Таким образом, все существующие потоки данных цифровой модели месторождения рационально разделить на группы, представленные на рис. 4: информационные потоки обработки скважинных данных (поток первичной информации, поток интерпретации, поток согласования), потоки данных создания цифровых моделей геологической среды, потоки данных отработки месторождения, потоки данных на стадии вывода месторождения из эксплуатации [18].

Первый поток связан со сбором исходных фактических данных о работе добычного комплекса предприятия и состоянии продуктивного горизонта.

Второй поток необходим для формирования информации о работе добычного комплекса. Информационной основой второго потока являются фактические данные первого потока. В результате функционирования второго потока подготавливаются сменные, сменные и месячные отчеты о работе добычного комплекса.

Третий поток связан со всесторонним анализом данных, полученных в результате функционирования первого и второго потоков, и подготовкой информации для принятия управленческих решений. В процессе функционирования третьего потока происходит обнаружение недостатков и выявление причин неэффективной работы отдельных технологических объектов, подготовка и визуализация данных о геотехнологических показателях отработки эксплуатационных блоков и всего месторождения, оценка эффективности предыдущих управленческих решений, а также планирование работы добычного комплекса (ДК).

Анализ результатов обследования информационных потоков геологических данных позволил сделать следующие

выводы. Полнота информации в части первичных данных по скважинам и результатам их интерпретации высокая, в части геотехнологических разрезов и подсчетов запасов — удовлетворительная, а в части геолого-математических моделей недостаточная [19].

Результаты

На основе анализа потоков данных и стадийности проведения работ, а также важности обрабатываемой информации целесообразно разрабатывать ГГИС следующей архитектуры (рис. 5).

Геологическая подсистема предназначена для сбора, обработки первичных геологических данных, построения геолого-математических моделей продуктивного горизонта и расчета геотехнологических показателей на их основе. Одной из важных функций данной подсистемы является визуализация состояния и динамики геологической среды месторождения.

Технологическая подсистема предназначена для моделирования основных параметров геотехнологического полигона на уровне основных технологических объектов и структуры взаимосвязей между ними.

Расчет величин, которые по тем или иным причинам не могут быть формализованы и определены, должен производиться на базе разработанных алгоритмов, учитывающих взаимосвязи физических и технологических параметров процесса скважинного выщелачивания.

Экспертно-аналитическая подсистема предназначена для реализации комплекса экспертно-моделирующих процедур анализа и обработки данных геотехнологического блока и формирования электронного паспорта отдельных структурных элементов (скважин). Исходными фактическими данными для создания паспортов скважин являются: координаты устья скважины; результаты инкли-

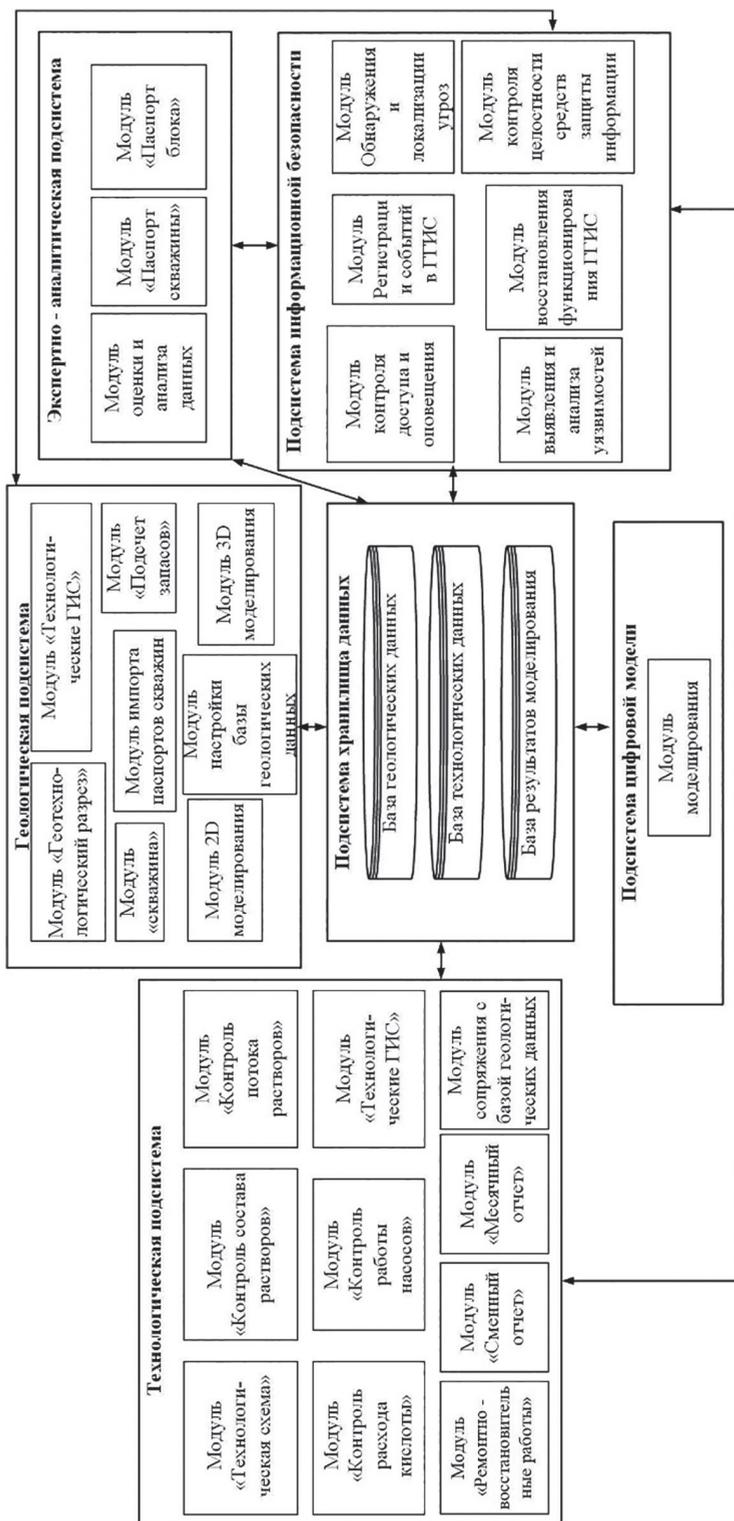


Рис. 5. Схема функциональной структуры ГГИС
 Fig. 5. Diagram of the functional structure of the GGIS

нометрии; параметры поднятого керна; результаты визуального анализа керна, проведенного геологом (тип, минерализация и цвет породы); результаты геофизического исследования скважины (гамма-каротаж, каротаж сопротивления (КС-каротаж), каротаж потенциала собственной поляризации (ПС-каротаж), кавернометрия, расходометрия и др.); данные промера керна, результаты керновых, гранулометрических, литолого-геохимических и прочих проб керна; конструкция скважины. На основе анализа и интерпретации фактических данных осуществляется привязка керна по глубине, а также формируются такие данные как: трехмерная геометрия ствола и координаты забоя скважины, литология по каротажу, технологический тип пород, дифференциальные рудные интервалы, рудные интервалы, объединенные рудные интервалы. Аналогично, электронный паспорт блока представляет собой совокупность информации о балансе продуктивных растворов и концентрации полезного компонента во времени.

Подсистема цифровой модели предназначена для формирования самой модели с учетом стадийности проведения работ, основанной на принципе последовательных приближений, а также целей и задач этих стадий. Информация о геологической среде поступает в результате последовательной детализации, которая позволяет локализовать объект исследования и уточнить его свойства. Как следствие, степень детализации и изученности имеет неоднородное распределение по объему месторождения. В соответствии с принципом выборочной детализации на типичных участках месторождения проводится более детальные работы, и по принципу аналогии данные об изменчивости геофизических свойств могут быть распространены на другие участки месторождения. Соответственно первичной информации будет

больше именно по этим выбранным эталонным участкам. На всех стадиях разведки, вначале в модель поступают первичные данные по разведочным и эксплуатационным скважинам. Затем в рамках модели первичные данные подвергаются интерпретации, согласованию и анализу. Полученные в ходе согласования и анализа данные являются исходными для построения цифровой модели геологической среды.

Хранилище данных включает в себя набор баз данных, необходимых для поддержки работы модулей. Минимально он должен включать базу геологических данных, базу технологических данных и базу результатов моделирования.

Подсистема информационной безопасности не является, на первый взгляд, необходимым компонентом ГГИС, поскольку не участвует напрямую в обработке геологических данных. Однако в современных условиях пренебрегать информационными рисками является непозволительным. Киберпреступные группировки постоянно расширяют границы охвата своим вредоносным воздействием различных сфер производства и бизнеса, следствием чего становится падение уровня прибыльности и одновременный рост рисков проводимых атак. Вместе с тем внедрение автоматизации на предприятиях на различных участках производственно-технологических процессов, в том числе для мониторинга и удаленного управления с использованием глобальных сетей, увеличивает количество и разнообразие угроз, уязвимостей, нарушителей и векторов атак [20, 21].

Относительная редкость целевых атак на ГГИС и недостаток в свободном доступе информации об успешно проведенных атаках в подобных системах, зачастую вызванные нежеланием жертв предавать огласке произошедший инцидент, приводит к недооценке серьезности

вопроса информационной безопасности. Наиболее рациональным вариантом является изначальное проектирование и разработка информационной системы, в том числе горно-геологической, в защищенном исполнении. Принятие решения о создании подобной системы принимается как на основе необходимости защиты информации в соответствии законодательством, так и решением ее обладателя.

При построении подсистемы защиты информации необходимо основываться на первоначальном состоянии защищенности рассматриваемого предприятия. Для этого проводится оценка угроз безопасности информации, формируется модель угроз, проводится анализ рисков и выявляются аспекты организации защиты информации, которым надо уделить первостепенное внимание [22].

Подсистема информационной безопасности предназначена для предотвращения перехвата защищаемой информации, передаваемой по каналам связи; утечки обрабатываемой защищаемой информации за счет побочных электромагнитных излучений и наводок; несанкционированного доступа к обрабатываемой или хранящейся в ГГИС защищаемой информации; несанкционированных и непреднамеренных воздействий, вызывающих разрушение, уничтожение, искажение защищаемой информации или сбои в работе средств ГГИС; выявления возможно внедренных в технические средства системы специальных электронных устройств перехвата информации; организации разрешительной системы допуска пользователей ГГИС к работе с защищаемой информацией и ее носителями; осуществления контроля функционирования средств защиты информации [23, 24].

Мероприятия по формированию данной подсистемы должны проводиться на всех стадиях и этапах создания ГГИС

с учетом применимых в сфере деятельности предприятия требований нормативных правовых актов и методических документов, а также национальных стандартов в области информационной безопасности.

Подсистема информационной безопасности взаимодействует напрямую со всеми подсистемами ГГИС, включая информационные ресурсы в хранилище данных, находящиеся в процессах обработки и передачи, а также на различных носителях, средства вычислительной техники, компоненты сетей и систем, программное обеспечение (операционные системы, системы управления базами данных, другое общесистемное и прикладное программное обеспечение, автоматизированные системы управления технологическими процессами) [25 – 27].

При этом она должна выполнять следующие функции: управлять доступом к защищаемой информации; обнаруживать, нейтрализовать и/или локализовать случаи реализации угроз; оповещать о появлении угроз безопасности информации, уязвимостей в ГГИС; восстанавливать функционирование ГГИС и защищаемой информации после вредоносных воздействий; обеспечивать регистрацию событий и попыток несанкционированного доступа к защищаемой информации и несанкционированного воздействия на нее; обеспечивать контроль функционирования средств защиты информации и их восстановление при выходе из строя.

Управление доступом к защищаемой информации обеспечивается широким спектром средств и методов, включая организационные, программные, программно-аппаратные и физические. При этом именно управление доступом рассматривается как основной подход для обеспечения конфиденциальности и целостности информации в информационных системах, в том числе ГГИС. Следова-

тельно, вопрос корректной организации данного процесса является основополагающим при построении подсистемы информационной безопасности и обеспечении необходимого уровня защищенности системы [28, 29].

Одним из возможных способов достижения надлежащего качества подсистемы информационной безопасности является использование формальных моделей управления доступом.

Описание формальной модели управления доступом должно включать: множество ролей; множества, функции (отношения), используемые для задания прав доступа (привилегий) ролей к субъектам и объектам доступа; заданное на множестве ролей отношение иерархии; множества, функции (отношения), используемые для задания каждой учетной записи пользователя разрешенных для нее ролей (разрешенных для обладания субъектами доступа, функционирующими от имени этой учетной записи пользователя); множества, функции (отношения), используемые для задания текущих ролей, которыми обладают субъекты доступа; множество учетных записей пользователей; множество субъектов доступа; множество объектов доступа (объектов, контейнеров, сущностей); заданное на множестве объектов доступа отношение иерархии; множество реализуемых доступов субъектов к объектам доступа и используемые для задания доступов множества, функции (отношения); множество реализуемых прав доступа субъектов к объектам или субъектам доступа и используемые для задания прав доступа (непосредственно или с использованием групп, ролей, типов, атрибутов) множества, функции (отношения); множество информационных потоков; условия внутренней и взаимной корректности (согласованности) используемых для описания состояний абстрактного автомата множеств, функций (отношений).

В общем случае для ГГИС формальная модель может быть представлена в следующем виде в случае реализации ролевой политики доступа: $TAsR = \{readr, writerr, executerr, ownrr\}$ — множество видов прав доступа; O — множество объектов доступа; S — множество субъектов доступа; U — множество учетных записей пользователей; R — множество ролей; $AR = \{read, write, execute, own\}$ — множество видов доступа; $A \subseteq S^* O^* AR$ — множество реализуемых доступов субъектов к объектам; $users: S \rightarrow U$ — функция, задающая для каждого субъекта доступа учетную запись пользователя от имени которой функционирует; $AsO: R \rightarrow 2^{O^* TAsR}$ — функция прав доступа к объектам, задающая для каждой роли $r \in R$ множество прав доступа этой роли к объектам $AsO(r) \subseteq TAsR$; $IR: R \rightarrow 2^R$ — функция иерархии ролей; $AsR: R \rightarrow 2^{(O \cup S)^* TAsR}$ — функция прав доступа ролей; $UA: U \rightarrow 2^R$ — функция ролей, разрешенных для учетных записей пользователей; $CurR: S \rightarrow 2^R$ — функция текущих ролей субъектов доступа, при этом в каждом состоянии системы для каждого субъекта доступа $s \in S$ выполняется условие $CurR(s) \subseteq UA(users(s))$.

Наличие формальной модели дает возможность проведения доказательства эффективности применяемых подходов к организации обеспечения информационной безопасности, автоматизации [30 — 32] и контроля технологических процессов [33 — 35].

Заключение

На основании всего вышеизложенного можно отметить основные результаты, полученные авторами, и сделать следующие выводы:

1. Рассмотренный вариант построения ГГИС представляет собой, с одной стороны, рабочий инструмент по геологическому и геотехнологическому сопровождению всех этапов эксплуатации

месторождений методом подземного скважинного выщелачивания, с другой — первоисточник для текущего, краткосрочного и перспективного планирования в информационной системе планирования (ИСП). Подобная реализация планов горно-подготовительных работ (ГПР) автоматически приводит к необходимости выполнения корректировки последующих краткосрочных и долгосрочных проектов развития добычных полигонов. Это связано как с изменением геотехнологических параметров сооружаемых блоков, так и с изменением их конфигурации. Изменение геотехнологических параметров приводит к корректировке выходных расчетных показателей по технологическим блокам и, соответственно, производственной программы и перспективных проектов ГПР. Изменение конфигурации сооружаемого технологического блока при вскрытии части геологического блока неизбежно потребует корректировки как схем вскрытия, так и технологических параметров блоков ГПР последующих периодов.

2. Разработка перспективных планов эксплуатации месторождения в том числе определение объектов ГПР для ИСП, не может быть функционально отнесена к исполнению проектировочными организациями, так как это связано с ежедневным обновлением исходных параметров за счет текущей реализации объемов ГПР.

Имея полный комплект модулей ГГИС, специалисты добычного предприятия: получают автоматизированный инструмент учета текущих изменений в перспективных планах; смогут максимально оптимизировать объекты ГПР за счет минимальных ресурсных затрат на моделирование и автоматизированное получение необходимых материалов геолого-геотехнологического сопровождения работ; смогут, оперативно и своевременно проводить корректирующие действия по реализации текущих направлений ГПР.

3. Использование расширенной ГГИС по определению объектов ГПР, позволит максимально ускорить получение и экономических моделей развития, а также в совокупности с информационной системой планирования оперативно выполнять многовекторное планирование горно-геологических и технологических работ предприятия. Данное направление может быть реализовано как в направлении первоочередности производственных показателей, так и при первоочередности целей развития бизнеса. В ГГИС будут формироваться производственные показатели с географической пообъектовой привязкой и последующей обкаткой в ИСП, либо сформированные в информационной системе планирования бизнес-планы развития, смогут приобретать пространственно-объемные формы добычных единиц в системе ГГИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко С. Н., Коростелев Д. Б. Методы и модели комплексной оценки системных связей показателей результативности природоохранной политики и принятия управленческих решений в сфере природопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 11. — С. 70—76. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-70-76.

2. Гончаренко С. Н., Бердалиев Б. А. Методы прогнозирования и оценки техногенного и остаточного скопления урановых руд на месторождениях, обрабатываемых способом подземного скважинного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 5. — С. 43—48. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-43-48.

3. Litvinenko V. S., Leitchenkov G. L., Vasiliev N. I. Anticipated sub-bottom geology of Lake Vostok and technological approaches considered for sampling // Geochemistry. 2020, vol. 80, no. 3, article 125556. DOI: 10.1016/j.chemer.2019.125556.

4. Litvinenko V. S., Dvoynikov M. V. Monitoring and control of the drilling string and bottomhole motor work dynamics / Topical Issues of Rational Use of Natural Resource. Proceedings of the XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers under the auspices of UNESCO. Vol. 2. Saint-Petersburg, 2020, pp. 804 – 809. DOI: 10.1201/9781003014638-42.

5. Двойников М. В., Сидоркин Д. И., Юртаев С. Л., Грохотов Е. И., Ульянов Д. С. Бурение глубоких и сверхглубоких скважин с целью поиска и разведки новых месторождений полезных ископаемых // Записки Горного института. – 2022. – Т. 258. – С. 945 – 955. DOI: 10.31897/PMI.2022.55.

6. Двойников М. В., Будовская М. Е. Разработка углеводородной системы заканчивания скважин с низкими забойными температурами для условий нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 12 – 22. DOI: 10.31897/PMI.2022.4.

7. Leusheva E., Brovkina N., Morenov V. Investigation of non-linear rheological characteristics of barite-free drilling fluids // Fluids. 2021, vol. 6, no. 9. DOI: 10.3390/fluids6090327.

8. Гончаренко С. Н., Коростелев Д. Б. Системный анализ и прогноз показателей и индикаторов эффективности деятельности в сфере охраны окружающей среды и природопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 9. – С. 104 – 110. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-104-110.

9. Умербеков Ж. Ж., Гончаренко С. Н. Обоснование эффективности внедрения целевой модели управления производственной безопасностью горнодобывающей компании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 225 – 234. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.

10. Тарасенко И. А., Куликова А. А., Ковалева А. М. К вопросу оценки автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси // Уголь. – 2022. – № 11. – С. 84 – 88. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-84-88.

11. Куликова А. А., Харламова Т. А., Хабарова Е. И., Ковалёва А. М. К вопросу оценки влияния микробиологических биоценозов на геоэкологические и геотехнические риски горных предприятий // Уголь. – 2022. – № 4. – С. 67 – 71. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-67-71.

12. Куприянов В. В., Бондаренко И. С. Применение нечеткой логики для оценки достоверности моделей краткосрочного прогноза состояния горношахтного оборудования // Горный журнал. – 2021. – № 5. – С. 75 – 79. DOI: 10.17580/gzh.2021.05.08.

13. Kulikova E., Ivannikov A. Geographic information systems in geological monitoring during the construction of urban underground structures / Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Monitoring 2019. Proceedings of Conference. 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201903192.

14. Кононов А. В., Гончаренко С. Н., Асанов Д. А., Масленников О. О. Исследование ультразвукового воздействия на ионообменные процессы при производстве урана методом подземного скважинного выщелачивания // Цветные металлы. – 2020. – № 4. – С. 50 – 57. DOI: 10.17580/tsm.2020.04.06.

15. Гончаренко С. Н., Лачихина А. Б. Мониторинг инцидентов безопасности геоинформационной системы управления и контроля деятельности промышленного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 3. – С. 108 – 116. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_108.

16. Зайцева Е. В. Вопросы стратегического управления предприятиями цементной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 2. – С. 214 – 220. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-214-220.

17. Молдаши Д. Н. Методы и технические решения повышения надежности удержания трассы геотехнологической скважины // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6. – № 1. – С. 42 – 51. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-42-51.

18. Нгуен К. Л., Нгуен К. М., Тран Д. Ч., Буй Х. Н. Прогнозирование просадки грунта в результате подземной добычи с использованием многослойных искусственных нейрон-

ных сетей с прямой связью и алгоритма обратного распространения — исследование на примере подземного угольного рудника Монг Дуонг (Вьетнам) // Горные науки и технологии. — 2021. — Т. 6. — № 4. — С. 241–251. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-241-251.

19. Кудайберген К. Ж. Методы и модели создания рыночного 4PL-оператора на базе логистического подразделения крупного промышленного холдинга // Горные науки и технологии. — 2021. — Т. 6. — № 2. — С. 90–104. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-90-104.

20. Krasuykova E., Aynbinder I., Ivannikov A. A rational approach to the management of underground mining in complex hydrogeological and geomechanical conditions based on a risk assessment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 684, no. 1, article 012006. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012006.

21. Kondybayeva A. B., Solodov S. V. Tricubic interpolation in scientific data visualization problems / Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2019. Proceedings of Conference. Saint-Petersburg, 2019, article 8840118. DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840118.

22. Буи С. Н., Нгуен Х., Ле К. Т., Ле Т. Н. Прогнозирование выбросов пыли (PM2.5) на угольных разрезах с помощью нейронной сети с функциональными связями, оптимизированной различными алгоритмами // Горные науки и технологии. — 2022. — Т. 7. — № 2. — С. 111–125. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-111-125.

23. Ким М. Л., Певзнер Л. Д., Темкин И. О. Разработка системы автоматического управления движением БПЛА с учетом шахтных условий // Горные науки и технологии. — 2021. — Т. 6. — № 3. — С. 203–210. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-203-210.

24. Khairutdinov A., Ubysz A., Adigamov A. The concept of geotechnology with a backfill is the path of integrated development of the subsoil // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 684, no. 1, article 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012007.

25. Kongar-Syuryun Ch., Ubysz A., Faradzhev V. Models and algorithms of choice of development technology of deposits when selecting the composition of the backfilling mixture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 684, no. 1, article 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012008.

26. Le Dinh H., Temkin I. O. Application of PSO and bacterial foraging optimization to speed control PMSM servo systems / IEEE 7th International Conference on Communications and Electronics, ICCE 2018. 2018, article 8465728. DOI 10.1109/CCE.2018.8465728.

27. Trofimov V. An approach to intelligent control of complex industrial processes: An example of ferrous metal industry // Autom Remote Control. 2020, vol. 81, pp. 1856–1864. DOI: 10.1134/S0005117920100057.

28. Temkin I., Deryabin S., Konov I., Kim M. Possible architecture and some neuro-fuzzy algorithms of an intelligent control system for open pit mines transport facilities // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2019, vol. 320, pp. 412–420. DOI 10.3233/FAIA190205.

29. Куприянов В. В., Мацкевич О. А., Бондаренко И. С. Параметрические и непараметрические модели прогнозирования нештатных ситуаций в подземных горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С. 200–207. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-200-207.

30. Temkin I., Myaskov A., Deryabin S., Konov I., Ivannikov A. Design of a digital 3D model of transport—technological environment of open-pit mines based on the common use of telemetric and geospatial information // Sensors. 2021, vol. 21, no. 18, article 6277. DOI: 10.3390/s21186277.

31. Зайцева Е. В., Медяник Н. Л. Автоматизация процессов интегрированного планирования производства и продаж продукции горноперерабатывающих предприятий цементной отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 2. — С. 111–123. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_111.

32. Timofeev A. S., Dvoichenkova G. P., Chernysheva E. N., Popadin E. G. Express method for estimating particle isometricity for quality control ferrosilicium // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol. 459, no. 5, article 052096. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052096.

33. Lupiezowiec M., Rybak J., Rozanski Z., Dobrzycki P., Jdrzejczyk W. Design and construction of foundations for industrial facilities in the areas of former post-mining waste dumps // *Energies*. 2022, vol. 15, no. 16, article 5766. DOI: 10.3390/en15165766.

34. Neudakhina Y., Trofimov V. An ANN-based intelligent system for forecasting monthly electric energy consumption / 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021. Proceedings of Conference. 2021, pp. 544 – 547. DOI: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632108.

35. Vanin A., Aleshin S., Nasirov R., Novikov D., Tulsy V. Investigation of voltage control at consumers connection points based on smart approach // *Information*. 2016, vol. 7, no. 3, article 42. DOI 10.3390/info7030042. 

REFERENCES

1. Goncharenko S. N., Korostelev D. B. Methods and models for integrated estimation of system connection between the nature protection policy efficiency and managerial solutions in the field of use of natural resources. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 11, pp. 70 – 76. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-70-76.

2. Goncharenko S. N., Berdaliev B. A. Methods to predict and estimate residual and technological concentrations of uranium ore in in-situ leaching mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 5, pp. 43 – 48. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-43-48.

3. Litvinenko V. S., Leitchenkov G. L., Vasiliev N. I. Anticipated sub-bottom geology of Lake Vostok and technological approaches considered for sampling. *Geochemistry*. 2020, vol. 80, no. 3, article 125556. DOI: 10.1016/j.chemer.2019.125556.

4. Litvinenko V. S., Dvoynikov M. V. Monitoring and control of the drilling string and bottomhole motor work dynamics. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resource. Proceedings of the XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers under the auspices of UNESCO*. Vol. 2. Saint-Petersburg, 2020, pp. 804 – 809. DOI: 10.1201/9781003014638-42.

5. Dvoynikov M. V., Sidorkin D. I., Yurtaev S. L., Grokhotov E. I., Ulyanov D. S. Drilling of deep and ultra-deep wells for prospecting and exploration of new raw mineral fields. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 258, pp. 945 – 955. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.55.

6. Dvoynikov M. V., Budovskaya M. E. Development of a hydrocarbon completion system for wells with low bottomhole temperatures for conditions of oil and gas fields in Eastern Siberia. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 12 – 22. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.4.

7. Leusheva E., Brovkina N., Morenov V. Investigation of non-linear rheological characteristics of barite-free drilling fluids. *Fluids*. 2021, vol. 6, no. 9. DOI: 10.3390/fluids6090327.

8. Goncharenko S. N., Korostelev D. B. System analysis and prediction of performance efficiency figures and indicators in the area of environmental protection and nature management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 9, pp. 104 – 110. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-104-110.

9. Umerbekov Zh. Zh., Goncharenko S. N. Validation of efficiency of the target production safety management model introduction in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 8, pp. 225 – 234. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.

10. Tarasenko I. A., Kulikova A. A., Kovaleva A. M. On the issue of assessing the automation of control of the parameters of the methane-air mixture. *Ugol'*. 2022, no. 11, pp. 84 – 88. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-84-88.

11. Kulikova A. A., Kharlamova T. A., Khabarova E. I., Kovaleva A. M. On the issue of assessing the impact of microbiological biocenoses on the geoecological and geotechnical risks of mining enterprises. *Ugol'*. 2022, no. 4, pp. 67 – 71. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-67-71.

12. Kupriyanov V. V., Bondarenko I. S. Fuzzy logic in reliability assessment of short-term forecast models for mining equipment. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 5, pp. 75 – 79. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.05.08.

13. Kulikova E., Ivannikov A. Geographic information systems in geological monitoring during the construction of urban underground structures. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Monitoring 2019. Proceedings of Conference*. 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201903192.
14. Kononov A. V., Goncharenko S. N., Assanov D. A., Maslennikov O. O. Research studying of ultrasonic effects on ion-exchange processes in uranium production by the in-situ leaching method. *Tsvetnye Metally*. 2020, no. 4, pp. 50–57. [In Russ]. DOI: 10.17580/tsm.2020.04.06.
15. Goncharenko S. N., Lachihina A. B. Monitoring of geoinformation system security incidents in performance supervision and management in industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 108–116. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_108.
16. Zaytseva E. V. Strategic management in the cement industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 2, pp. 214–220. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-214-220.
17. Moldashi D. N. Methods and technical solutions for keeping the path of a geotechnological borehole. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 1, pp. 42–51. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-42-51.
18. Nguyen Q. L., Nguyen Q. M., Tran D. T., Bui X. N. Prediction of ground subsidence due to underground mining through time using multilayer feed-forward artificial neural networks and back-propagation algorithm – case study at Mong Duong underground coal mine (Vietnam). *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 4, pp. 241–251. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-241-251.
19. Kudaibergen K. Z. Methods and models for creating a market 4PL operator based on a logistics division of a large industrial holding company. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 2, pp. 90–104. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-90-104.
20. Krasnyukova E., Aynbinder I., Ivannikov A. A rational approach to the management of underground mining in complex hydrogeological and geomechanical conditions based on a risk assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 684, no. 1, article 012006. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012006.
21. Kondybayeva A. B., Solodov S. V. Tricubic interpolation in scientific data visualization problems. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2019. Proceedings of Conference*. Saint-Petersburg, 2019, article 8840118. DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840118.
22. Bui X. N., Nguyen H., Le Q. T., Le T. N. Forecasting PM2.5 emissions in open-pit mining using a functional link neural network optimized by various optimization algorithms. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022, vol. 7, no. 2, pp. 111–125. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-111-125.
23. Kim M. L., Pevzner L. D., Temkin I. O. Development of automatic system for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) motion control for mine conditions. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 3, pp. 203–210. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-203-210.
24. Khairutdinov A., Ubysz A., Adigamov A. The concept of geotechnology with a backfill is the path of integrated development of the subsoil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 684, no. 1, article 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012007.
25. Kongar-Syuryun Ch., Ubysz A., Faradzhev V. Models and algorithms of choice of development technology of deposits when selecting the composition of the backfilling mixture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 684, no. 1, article 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012008.
26. Le Dinh H., Temkin I. O. Application of PSO and bacterial foraging optimization to speed control PMSM servo systems. *IEEE 7th International Conference on Communications and Electronics, ICCE 2018*. 2018, article 8465728. DOI 10.1109/CCE.2018.8465728.
27. Trofimov V. An approach to intelligent control of complex industrial processes: An example of ferrous metal industry. *Autom Remote Control*. 2020, vol. 81, pp. 1856–1864. DOI: 10.1134/S0005117920100057.

28. Temkin I., Deryabin S., Konov I., Kim M. Possible architecture and some neuro-fuzzy algorithms of an intelligent control system for open pit mines transport facilities. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. 2019, vol. 320, pp. 412 – 420. DOI 10.3233/FAIA190205.
29. Kupriyanov V. V., Matskevich O. A., Bondarenko I. S. Parametric and nonparametric models for predicting off-normal situations in underground mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3, pp. 200 – 207. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-200-207.
30. Temkin I., Myaskov A., Deryabin S., Konov I., Ivannikov A. Design of a digital 3D model of transport – technological environment of open-pit mines based on the common use of telemetric and geospatial information. *Sensors*. 2021, vol. 21, no. 18, article 6277. DOI: 10.3390/s21186277.
31. Zaytseva E. V., Medyanik N. L. Automated integrated production and selling planning at processing plant in the cement industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 111 – 123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_111.
32. Timofeev A. S., Dvoichenkova G. P., Chernysheva E. N., Popadin E. G. Express method for estimating particle isometricity for quality control ferrosilicium. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020, vol. 459, no. 5, article 052096. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052096.
33. Lupiezowiec M., Rybak J., Rozanski Z., Dobrzycki P., Jedrzejczyk W. Design and construction of foundations for industrial facilities in the areas of former post-mining waste dumps. *Energies*. 2022, vol. 15, no. 16, article 5766. DOI: 10.3390/en15165766.
34. Neudakhina Y., Trofimov V. An ANN-based intelligent system for forecasting monthly electric energy consumption. *3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021. Proceedings of Conference*. 2021, pp. 544 – 547. DOI: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632108.
35. Vanin A., Aleshin S., Nasirov R., Novikov D., Tulsy V. Investigation of voltage control at consumers connection points based on smart approach. *Information*. 2016, vol. 7, no. 3, article 42. DOI 10.3390/info7030042.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гончаренко Сергей Николаевич – д-р техн. наук,
профессор, НИТУ «МИСИС», e-mail: gsn@misis.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7783-3738,

Лачихина Анастасия Борисовна – канд. техн. наук,
доцент, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
e-mail: lachikhinaab@bmstu.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7429-058X.

Для контактов: Гончаренко С.Н., e-mail: gsn@misis.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.N. Goncharenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: gsn@misis.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7783-3738,

A.B. Lachihina, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University
Kaluga, Russia, e-mail: lachikhinaab@bmstu.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7429-058X.

Corresponding author: S.N. Goncharenko, e-mail: gsn@misis.ru.

Получена редакцией 07.03.2023; получена после рецензии 07.04.2023; принята к печати 10.05.2023.
Received by the editors 07.03.2023; received after the review 07.04.2023; accepted for printing 10.05.2023.