

Концептуальное проектирование базы данных углей на основе общих генетических признаков

Л.Д. Павлова¹, А.В. Корнева¹, Д.Ю. Худоногов²✉, Ю.Ф. Патраков²

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Российская Федерация

² Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

✉ admolv@gmail.com

Резюме: Эффективность работы угольных теплоэлектростанций, рассчитанных на потребление проектного/стандартизованного топлива, и коксохимических производств во многом зависит от качественных характеристик входной углепродукции, основными показателями которой являются: теплота сгорания, зольность, влажность, выход летучих веществ, содержание серы и азота, гранулометрический состав. В России добываются различные марки угля, однако к категории «проектного топлива» можно отнести не более одной трети. Соответственно, возникает потребность составлять топливные смеси с заданными параметрами. В статье обоснована актуальность формирования базы данных качественных характеристик и показателей различных марок углей. По результатам аналитического обзора нормативной документации разработаны варианты классификации углей на основе номенклатуры показателей качества, установленной государственным стандартом для идентификации углей и угольной продукции. На этапе проектирования базы данных определены логическая структура данных, сущности, связи между ними, атрибуты и ограничения. Вид и содержание концептуальной модели представлены в виде ER-модели, визуализированной в виде графической нотации диаграммы «сущность–связь». На основе выполненного анализа определены способы транзакции и ввода источников входных данных характеристик углей и технологий их переработки. Приведены примеры структуры данных в моделях отдельных сущностей и способы определения параметров.

Ключевые слова: база данных углей, марка угля, качество угля, классификация углей, технологические свойства углей, промышленные базы данных, системный анализ данных, граф-классификатор

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (соглашение №075–15-2022-1197 от 28.09.2022 г.).

Для цитирования: Павлова Л.Д., Корнева А.В., Худоногов Д.Ю., Патраков Ю.Ф. Концептуальное проектирование базы данных углей на основе общих генетических признаков. *Горная промышленность*. 2023;(S2):00–00. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-00-00>

Conceptual design of a coal database based on common genetic features

L.D. Pavlova¹, A.V. Korneva¹, D.Yu. Khudonogov²✉, Yu.F. Patrakov²

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation

² Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

✉ admolv@gmail.com

Abstract: The operational efficiency of coal-fired thermal power plants designed to utilize designed / standardized fuel and coking plants largely depends on the quality characteristics of the supplied coal products, the main indicators of which are: calorific value, ash content, moisture content, volatile matter yield, sulfur and nitrogen content, particle size distribution. Coal of various grades is mined in Russia, but not more than one third can be classified as the designed fuel. Accordingly, there arises a need to make fuel mixtures with specified parameters. The article justifies the topicality to create a database of qualitative characteristics and indicators of various coal grades. Using the results of analytical review of normative documentation, coal classification options have been developed based on the list of quality indicators specified in the state standard for identification of coals and coal products. Logical structure of the data, entity, relationships between them, attributes and constraints have been defined at the design stage of the database. The type and content of the conceptual model are presented as an ER-model visualized in the form of a graphical notation of the entity-vs-relationship diagram. Based on the analysis performed, ways of transaction and input data sources for the supplied coal characteristics and processing technologies have been defined. Examples of data structure in the models of individual entities and methods to determine their parameters have been provided.

Keywords: coal database, coal grade, coal quality, coal classification, coal technological properties, industrial databases, systematic data analysis, classification graph

Acknowledgments: The research was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Agreement No.075-15-2022-1197 as of 28.09.2022).

For citation: Pavlova L.D., Korneva A.V., Khudonogov D.Yu., Patrakov Yu.F. Conceptual design of a coal database based on common genetic features. *Russian Mining Industry*. 2023;(S2):00–00. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-00-00>

Введение

Актуальность проектирования базы данных углей заключается в том, что уголь является одним из основных топливных ресурсов, который широко используется в промышленности и энергетике для генерации электроэнергии и производства стали. Одной из основных задач развития угольной промышленности является повышение качества добываемого угля, которое возможно только с использованием процессов обогащения, а также приготовления топливных смесей с заданными параметрами. С учетом того что задача управления запасами угля, контроля качества и перемещения поставок является критически важной, проектирование базы данных углей позволяет эффективнее осуществлять управление этими процессами.

Исследований в области разработки баз данных для угольной промышленности недостаточно в области сбора, систематизации, анализа и хранения данных по шахтопластам РФ. Вопросами разработки баз данных по характеристикам горно-геологических условий залегания и разработки угольных месторождений, физико-техническим и качественным характеристикам угля долгое время не уделялось должного внимания. Существующие наработки представляют собой неполные сведения, касающиеся отдельного угольного региона или угольной компании.

Исследованиям, связанным с проектированием, разработкой и информационным наполнением хранилища горной базы данных, тематически охватывающего различные аспекты функционирования и развития угольной промышленности, посвящены работы некоторых российских [1–3] и зарубежных авторов [4–6]. Следует отметить проблемы с переносимостью результатов исследований на другие условия, данные которых не учитывались в этих исследованиях.

Одними из главных факторов, которые делают проектирование базы данных углей актуальной задачей, являются большой объем и разнообразие данных: геологические данные, химический состав угля, информация о способах добычи, хранения и транспортировки угля, а также данные о технологиях его переработки и потребления.

Использование базы данных углей позволит анализировать состав и свойства каждого блока добычи угля различных предприятий, формировать на основе этих данных смеси с заданными характеристиками. Полученная информация будет полезна как угледобывающим предприятиям, так и ученым.

Более того, существует необходимость в своевременном доступе к данным, в их анализе и обработке в реальном времени для эффективного управления производственными процессами, транспортировкой и для контроля качества угля.

Таким образом, проектирование базы данных углей позволяет эффективнее управлять данными о добыче, переработке и потреблении угля, повышать прозрачность и контролировать все производственные процессы в реальном времени, что обеспечивает оптимальную работу промышленных предприятий и энергетических компаний.

В этой связи исследования, направленные на создание баз данных качественных характеристик и показателей различных марок углей, технологий их первичной переработки и обогащения для рационального использования углей, являются актуальными.

Целью исследований на первом этапе являются разработка структуры и формата входных данных (балансовых запасов углей, качественных и количественных характе-

ристик добываемых и перерабатываемых углей) на основе общих признаков и приведение к единому стандарту.

Объект и методы

Научные исследования проводятся с учетом Национальных стандартов Российской Федерации в области добычи и применения угля, в том числе введенных в действие в 2022 г.¹

Объектом исследования являются качественные характеристики и показатели углей различных марок.

Разработка абстрактной модели данных, представляющей структуру информации без учета специфики данных и технических деталей хранения данных, выполнялась на этапе концептуального проектирования.

Концептуальное проектирование базы данных позволяет определить основные объекты данных, их свойства и связи, создать модель данных и использовать ее в дальнейшем для разработки базы данных.

На этом этапе определяются логическая структура данных, сущности, связи между ними, атрибуты этих сущностей и ограничения.

Вид и содержание концептуальной модели базы данных формализовано средствами графической нотации стандарта IDEF1X в виде ER-диаграмм «сущность–связь». Применение методологии моделирования базы данных на основе ER-моделей обосновывается такими преимуществами, как наглядность и возможность проектирования базы данных с большим количеством объектов и атрибутов.

На этапе логического проектирования схема базы данных разработана на основе реляционной модели данных, в которой даталогическая модель представлена в виде набора схем отношений с указанием первичных ключей, а также «связей» между отношениями, являющимися внешними ключами.

Результаты

Разработанная база данных содержит описание блоков добычи угля и их характерные общие признаки, отражающие генетические особенности и основные технологические характеристики. Классификация углей по видам, классам, категориям, типам, подтипам и кодовым номерам, а также технологическим маркам, группам и подгруппам выполнялась согласно ГОСТ Р 70207–2022².

В качестве базовых параметров классификации использованы параметры, приведенные в табл. 1.

Ископаемые угли в зависимости от значения величины произвольного показателя отражения витринита $R_{o,r}$, высшей теплоты сгорания на влажное беззолное состояние при постоянном объеме $Q_{s,v}^{af}$, выхода летучих веществ на сухое беззолное состояние V^{daf} подразделяют на виды: бурые, каменные и антрациты.

В зависимости от генетических особенностей угли делят на:

– классы – по произвольному показателю отражения витринита $R_{o,r}$;

1 ГОСТ Р 70207–2022 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим признакам». Введ. 01.12.2022; ГОСТ Р 70205–2022 «Угли бурые. Система кодификации». Введ. 01.12.2022; ГОСТ Р 70206–2022 «Угли бурые, каменные и антрациты. Номенклатура показателей качества». Введ. 01.12.2022; ГОСТ Р 70204–2022 «Угли каменные и антрациты (угли среднего и высокого рангов)». Введ. 01.12.2022; ГОСТ Р 70208–2022 «Угли бурые, каменные и антрациты. Правила применения классификации углей по маркам». Введ. 01.12.2022.

2 ГОСТ Р 70207–2022 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим признакам». Введ. 01.12.2022.

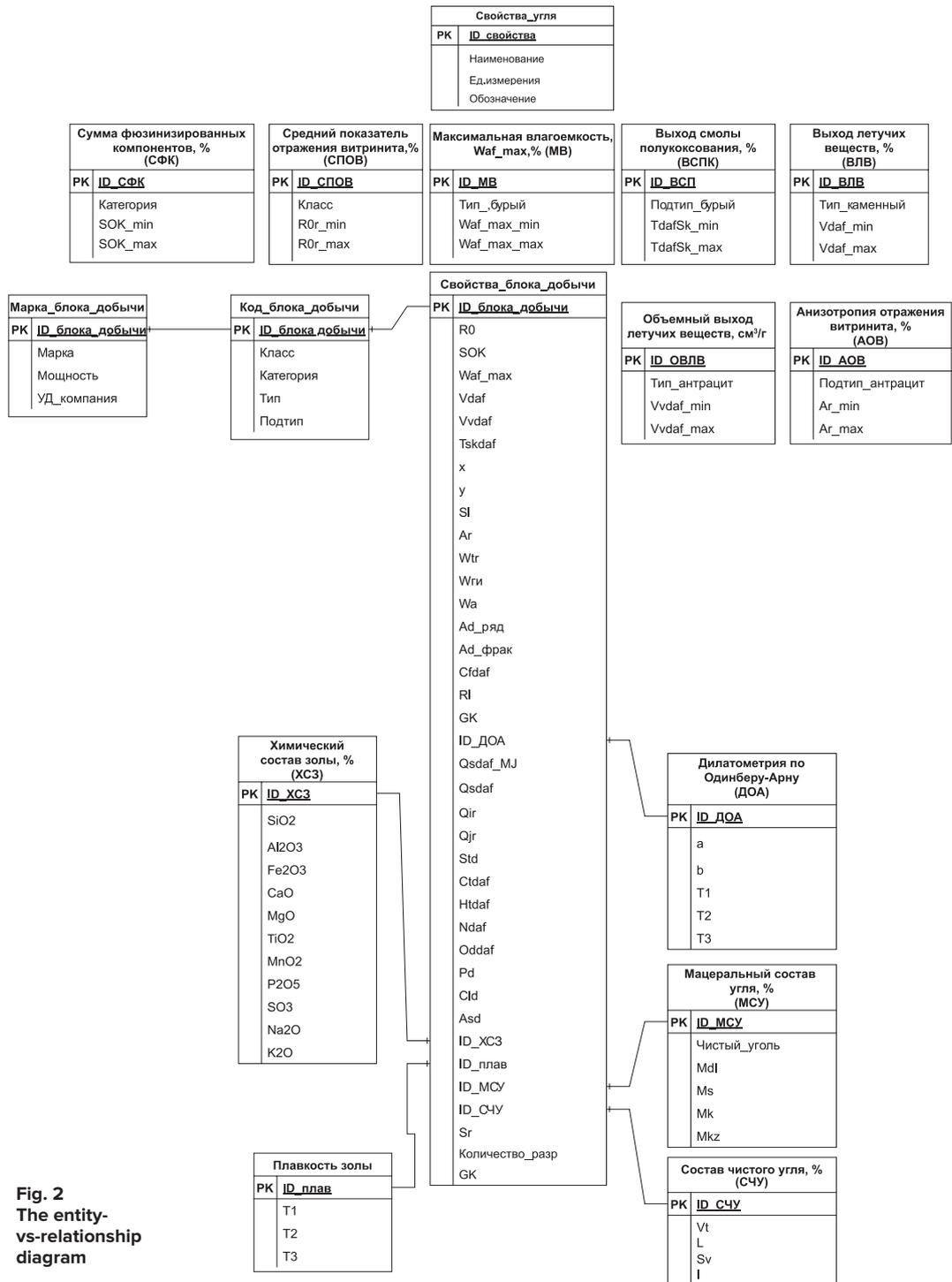


Рис. 2
Модель
«сущность-связь»

Fig. 2
The entity-
vs-relationship
diagram

однозначное число, характеризует код показателя *SI*, установленный в соответствии с ГОСТ Р 70204–2022³, и отделяется от основного семизначного кодового числа дефисом.

Марку угля, группу, подгруппу устанавливают для каждого блока добычи. Пластовые пробы отбирают по ГОСТ 9815–75⁴ или ГОСТ 11223–88⁵ в каждом забое неокисленной зоны пласта, определяют по каждой пробе характерные общие признаки (атрибуты) и по результатам анализа определяют кодový номер согласно пороговым значениям по каждому из параметров.

Таким образом, классификация марок углей может быть представлена графом-классификатором (рис. 1), отображающим его свойства и характеристики.

На основе разработанного графа-классификатора проведено проектирование реляционной модели базы данных с выделением основных сущностей и установлением связей между ними. Для каждой сущности определен набор свойств в виде атрибутов.

Кортеж, соответствующий данной схеме отношения, – это множество пар {имя атрибута, значение}, которое содержит одно вхождение каждого имени атрибута, принадлежащего схеме отношения. «Значение» является допустимым значением типа данных данного атрибута.

Модель базы данных «сущность–связь» представлена на рис. 2.

3 ГОСТ Р 70204–2022 «Угли каменные и антрациты (угли среднего и высокого рангов). Введ. 01.12.2022.

4 ГОСТ 9815–75. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Метод отбора пластовых проб. Введ. 01.01.1997. М.: Изд-во стандартов; 1996. 6 с.

5 ГОСТ 11223–88. Угли бурые и каменные. Метод отбора проб бурением скважин. Введ. 01.01.1990. М.: Изд-во стандартов; 1996. 7 с.

Атрибут	Наименование признака	Тип	Ограничения
ID_блока добычи		Числовой (Integer)	Должен быть уникальным (>0)
R ₀	Показатель отражения, %	Числовой (Integer)	>0
ΣOK	Сумма фюзинизированных компонентов, %	Числовой (Integer)	>0
W _{af_max}	Максимальная влагоемкость на беззольное состояние, %	Числовой (Integer)	>0
Y _{daf}	Выход летучих веществ, %	Числовой (Integer)	>0
V _{daf}	Объемный выход летучих веществ на сухое беззольное состояние, см ³ /г	Числовой (Integer)	>0
T _{daf}	Выход смолы полукоксования на сухое беззольное состояние, %	Числовой (Integer)	>0
x	Усадка пластического слоя, мм	Числовой (Integer)	>0
y	Толщина пластического слоя, мм	Числовой (Integer)	>0
S _i	Индекс свободного вспучивания, ед	Числовой (Integer)	>0
A _z	Показатель анизотропии отражения витринита, %	Числовой (Integer)	>0
W _z	Влага обшая, %	Числовой (Integer)	>0
W _{z^г}	Влага гигроскопическая, %	Числовой (Integer)	>0
W _{z^а}	Влага аналитическая, %	Числовой (Integer)	>0
A ^d _{ряд}	Зольность рядового угля, %	Числовой (Integer)	>0
A ^d _{факт}	Зольность легкой фракции, %	Числовой (Integer)	>0

Рис. 3
Фрагмент структуры данных в модели сущность «Свойства блока добычи»

Fig. 3
Fragment of the data structure in the 'Mining block properties' entity model

Основной структурой данных в модели является «Свойства блока добычи», который содержит информацию о характерных общих признаках для каждого угля. Фрагмент таблицы представлен на рис. 3.

Для оптимизации структуры данных из общего перечня признаков блока угля в отдельные сущности были выделены такие группы признаков, как: «Химический состав золы», «Дилатометрия по Одиберу–Арну», «Плавокость золы», «Мацеральный состав угля» и «Состав чистого угля».

Структура данных в модели сущность «Код блока добычи» (табл. 2) содержит класс, категорию, тип и подтип, характеризующие отдельный блок добычи на основе характеристик, определенных в сущности «Свойства блока добычи». Данные параметры определяются автоматически на основе пороговых значений, хранящихся во вспомогательных таблицах, путем срабатывания триггера после добавления новой записи в сущности «Свойства блока добычи».

Структура данных «Марка блока добычи» (табл. 3) содержит марку отдельного блока добычи, которая определяется исходя из его технологических свойств.

Принадлежность блока конкретной марке определяется при помощи графа классификатора, путем срабатывания программной процедуры триггера после добавления новой записи в сущности «Код блока добычи». Кроме того, сущность «Марка блока добычи» содержит информацию о предполагаемой мощности слоя и угольной компании, осуществляющей добычу.

Таблица 2
Структура данных в модели сущность «Код блока добычи»

Table 2
The data structure in the 'Mining Block Code' entity model

Атрибут	Тип	Ограничения
ID блока добычи	Числовой (Integer)	Должен быть уникальным (>0)
Класс	Числовой (Integer)	>0 AND <=50
Категория	Числовой (Integer)	>=0 AND <=7
Тип	Числовой (Integer)	>=0 AND <=60
Подтип	Числовой (Integer)	>=0 AND <=70

Таблица 3
Структура данных в модели сущность «Марка блока добычи»

Table 3
The data structure of the 'Mining Block Grade' entity model

Атрибут	Тип	Ограничения
ID блока добычи	Числовой (Integer)	Должен быть уникальным (>0)
Марка	Строковый	Varchar (10)
Мощность	Числовой (Integer)	>0
УД компании	Числовой (Integer)	Not null

Дополнительно в базе данных имеются таблицы «Содержание фюзинизированных компонентов», «Произвольный показатель отражения витринита», «Максимальная влагоемкость», «Выход смолы полукоксования», «Выход летучих веществ», «Объемный выход летучих веществ», «Показатель анизотропии отражения витринита», которые содержат граничные значения соответствующих показателей для определения категории, класса, типа, подтипа бурых, каменных углей и антрацита соответственно.

Заключение

Разработанная база данных может быть использована для обеспечения информационно-аналитической поддержки управленческих решений, принимаемых при эксплуатации угольных месторождений, а также позволяет проводить содержательный поиск и обработку данных по уголю.

В соответствии с проведенными исследованиями и полученными результатами обоснованы и разработаны варианты классификации углей по видам, классам, категориям, типам, подтипам и кодовым номерам, а также технологическим маркам, группам и подгруппам на основе номенклатуры показателей качества, установленной государственным стандартом для идентификации углей и угольной продукции, представленных графом-классификатором. Разработана ER-модель базы данных, визуализированная в виде стандартной графической нотации диа-

граммы «сущность–связь», в которой выделены ключевые сущности и обозначены связи, которые могут устанавливаться между этими сущностями. Выполнено преобразование ER-модели в логическую схему базы данных (набор схем-отношений) на основе реляционной модели данных с указанием первичных ключей и связей между отношениями, представляющими собой внешние ключи.

Использование базы данных углей позволит анализировать состав и свойства каждого блока добычи угля различных предприятий, формировать на основе этих данных смеси с заданными характеристиками на базе единой информационно-аналитической платформы.

Список литературы

1. Корниенко И.Л. Использование базы данных уникальных углей в обучении нейросетевой информационной системы для определения состава угольного концентрата. В кн.: *Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы Всерос. науч.-практ. конф., г. Кемерово, 16–17 октября 2014 г.* Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2014. С. 87.
2. Кузнецов П.Ю., Гриб Н.Н., Качаев А.В. Анализ представительности данных показателей качества углей для создания базы данных по результатам детальных геологоразведочных работ. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;(6):137–140. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.081>
3. Потапов В.П., Удовитский В.И., Нифантов Б.Ф., Кандинская И.В. Создание автоматизированной базы данных ценных элементов в товарных углях предприятий Кузнецкого бассейна. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2003;(2):38–41. Режим доступа: <https://journals.kuzstu.ru/article/1841.pdf>
4. Kumar Di., Kumar De. *Sustainable Management of Coal Preparation*. Woodhead Publishing; 2018. 454 p.
5. Yang L., Bai X., Hu Y., Wang Q., Deng J. Construction of Trace Element in Coal of China Database Management System: Based on WebGIS. *Sains Malaysiana*. 2017;46(11):2195–2204. <https://doi.org/10.17576/jsm-2017-4611-21>
6. Mao S. Development of coal geological information technologies in China. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2020;7:320–328. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00340-1>

References

1. Kornienko I.L. Use of the unique coal database in the training of neural network information system to define the composition of the coal concentrate. In: *Information and Telecommunication Systems and Technologies: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Kemerovo, October 16–17, 2014*. Kemerovo: T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2014, p. 87. (In Russ.)
2. Kuznetsov P.Yu., Grib N.N., Kachaev A.V. The analysis of coal quality data according to the results of detailed geological prospecting for creating the complete data base. *International Research Journal*. 2016;(6):137–140. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.081>
3. Potapov V.P., Udovitskii V.I., Nifantov B.F., Kandinskaya I.V. Creation of the automated database of valuable elements in marketable coals of companies in the Kuznetsk Basin. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2003;(2):38–41. (In Russ.) Available at: <https://journals.kuzstu.ru/article/1841.pdf>
4. Kumar Di., Kumar De. *Sustainable Management of Coal Preparation*. Woodhead Publishing; 2018. 454 p.
5. Yang L., Bai X., Hu Y., Wang Q., Deng J. Construction of Trace Element in Coal of China Database Management System: Based on WebGIS. *Sains Malaysiana*. 2017;46(11):2195–2204. <https://doi.org/10.17576/jsm-2017-4611-21>
6. Mao S. Development of coal geological information technologies in China. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2020;7:320–328. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00340-1>

Информация об авторах

Павлова Лариса Дмитриевна – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной математики и информатики, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Российская Федерация

Корнева Анна Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Российская Федерация

Худонов Данила Юрьевич – ведущий инженер, лаборатория перспективных методов управления горнотехническими системами, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail.: admolv@gmail.com

Патраков Юрий Фёдорович – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией научных основ технологий обогащения угля, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

Information about the authors

Larisa D. Pavlova – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Applied Mathematics and Informatics Department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation

Anna V. Korneva – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Applied Mathematics and Informatics Department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation

Danila Yu. Khudonogov – Lead Engineer, Laboratory of Advanced Management Methods for Mining Engineering Systems, Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail.: admolv@gmail.com

Yury F. Patrakov – Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Laboratory for Scientific Basis of Coal Preparation Technologies, Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

Article info

Received: 25.06.2023

Revised: 18.07.2023

Accepted: 19.07.2023

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.06.2023

Поступила после рецензирования: 18.07.2023

Принята к публикации: 19.07.2023