



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-607-617

EDN: TLYHLS

УДК 504.05:62/69

Научная статья / Research article

Эколого-технологическая эффективность инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ

Т.В. Зоммер¹  , В.В. Симонян¹, А.Г. Морозов²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

²Амальтея-Сервис, Москва, Российская Федерация

 ZommerTV@mgsu.ru

Аннотация. Рассмотрены возможности повышения эколого-технологической эффективности инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ, включая механику разрушения угля методом мокрого помола в гидроударной установке с контролем гранулометрического состава полученной водоугольной суспензии. Создание опытного угольно-водоугольного кластера ЖКХ предполагает использование в строящихся или действующих котельных инновационной угольно-водоугольной технологии, включая переработку твердых видов угольного топлива в инновационную водоугольную топливную суспензию с последующим сжиганием в специально оборудованных топках. Поставленные задачи управления экологическими и технологическими качествами в процессе приготовления инновационной водоугольной топливной суспензии на основе статистического анализа гранулометрического состава коррелируют с задачами получения микро- и ультрадисперсной водоугольных суспензий с целью достижения высоких экологических и технологических качеств. Результаты, полученные путем стандартного математико-статистического анализа гранулометрического состава, были подтверждены экспериментальными данными. Полученные результаты позволили осуществить генерацию новых идей с использованием природной трещиноватости угля для управляющего гидроударного воздействия в рамках угольно-водоугольного кластера ЖКХ. Предложено управление инновационной угольно-водоугольной топливной технологией на основе автоматического контроля гранулометрического состава с использованием природной трещиноватости угля для управляющего воздействия при разрушении угля методом гидроудара. Выявлены технологические закономерности уменьшения негативного техногенного воздействия на геосферы, включая методику управления экологическими и технологическими качествами инновационной водоугольной суспензии на основе

© Зоммер Т.В., Симонян В.В., Морозов А.Г., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

автоматического контроля гранулометрического состава при измельчении угля методом гидроудара.

Ключевые слова: экология, промышленная экология, эколого-технологическая эффективность, водоугольная топливная суспензия, гидроударная установка, энергосбережение, энергоэффективность, инновационный угольно-водоугольный кластер ЖКХ

Благодарности и финансирование. Исследование проводилось в рамках гранта РФФИ № 19-35-90135.

Вклад авторов: Т.В. Зоммер – идея, проведение и анализ исследования, обработка полученных данных и их интерпретация; В.В. Симомян – обработка полученных данных; А.Г. Морозов – проведение эксперимента, обработка полученных данных.

История статьи: поступила в редакцию 12.03.2023; доработана после рецензирования 20.06.2023; принята к публикации 21.09.2023.

Для цитирования: Зоммер Т.В., Симомян В.В., Морозов А.Г. Эколого-технологическая эффективность инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 607–617. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-607-617>

Ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services

Tatyana V. Zommer¹  , Vladimir V. Simonyan¹, Andrey G. Morozov²

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

²Amaltea-Service, Moscow, Russian Federation

 ZommerTV@mgsu.ru

Abstract. The possibilities of increasing the ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services, including the mechanics of coal destruction in a hydraulic shock installation, are considered. The creation of an experimental coal-watercoal cluster of housing and communal services involves the use of innovative coal-watercoal technology in boilers under construction or in operation, including the processing of solid coal fuels into innovative coal-water fuel suspension with subsequent combustion in specially equipped furnaces. The set tasks of managing environmental and technological qualities in the process of preparing an innovative coal-water fuel suspension based on statistical analysis of the granulometric composition correlate with the tasks of obtaining micro- and ultrafine coal-water suspensions in order to achieve high environmental and technological qualities. The control of an innovative coal-watercoal fuel technology based on automatic control of the granulometric composition using the natural fracturing of coal for the control action during the destruction of coal by the method of water hammer is proposed. Technological patterns of reducing the negative technogenic impact on the geospheres are revealed, including a method for managing the environmental and technological qualities of an innovative water-coal suspension based on automatic control of the granulometric composition during coal grinding by the hydraulic shock method.

Keywords: ecology, industrial ecology, ecological and technological efficiency, water-coal fuel suspension, hydraulic shock installation, energy saving, energy efficiency, innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services.

Acknowledgements and Funding. The study was conducted within the framework of RFBR grant No. 19-35-90135.

Authors' contributions: *T.V. Zommer* – the idea, conduct and analysis of the study, processing of the received data and their interpretation; *V.V. Simonyan* – processing of the received data; *A.G. Morozov* – conducting the experiment, processing of the received data.

Article history: received 12.03.2023; revised 20.06.2023; accepted 21.09.2023.

For citation: Zommer TV, Simonyan VV, Morozov AG. Ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):607–617. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-607-617>

Введение

Применение инновационных технологий в строительстве и коммунальном хозяйстве должно преследовать своей целью снижение антропогенного воздействия на геосферы [1]. Это отвечает задачам формирования городской системы жизнеобеспечения, совместимой с биосферой [2]. Для разрешения глобальных проблем геоэкологии в области добычи полезных ископаемых, в том числе угля, также должны применяться природоподобные технологии [3; 4].

Проект по созданию опытного угольно-водоугольного кластера ЖКХ предполагает использование в строящихся или действующих котельных инновационной угольно-водоугольной технологии [5; 6], которая включает в том числе переработку твердых видов угольного топлива в водоугольную топливную суспензию с последующим сжиганием в специально оборудованных вихревых топках.

Управление инновационной угольно-водоугольной технологией должно происходить на основе автоматического контроля гранулометрического состава с использованием природной трещиноватости угля [7] для управляющего воздействия при мокром помоле методом гидроудара [8; 9].

Материалы и методы

В статье использованы теоретическое обобщение экспериментальных методов и анализ литературных данных. Основу методологии теоретических и практических исследований составили теория и методы стандартного математико-статистического анализа.

Результаты, полученные путем стандартного математико-статистического анализа гранулометрического состава, были подтверждены экспериментальными данными. Это позволило осуществить генерацию новых идей с использованием природной трещиноватости угля для управляющего гидроударного воздействия в рамках угольно-водоугольного кластера ЖКХ.

Результаты и обсуждения

Эффективность инновационной водоугольной технологии напрямую зависит от производства водоугольных смесей с заданными реологическими свойствами. Также для соблюдения экологических норм при производстве водоугольной топливной суспензии большое внимание уделяется контролю гранулометрического состава [10; 11].

При получении мелкодисперсной водоугольной топливной суспензии целью является достижение однородного гранулометрического состава, обеспечивающего стабильные реологические свойства на стадии приготовления, хранения и транспортирования, глубокую деминерализацию и уменьшение вредных выбросов за счет почти стопроцентного сгорания.

Получение различных сортов водоугольной топливной суспензии обеспечивается наличием определенного гранулометрического состава. Это явилось причиной исследования возможности использования природной трещиноватости угля для управляющего воздействия при мокром помоле методом гидроудара.

Каменный и бурый уголь в сравнении с пустой породой геологических толщ обладает низкой прочностью и малой пластичностью. Поэтому в угольных пластах при тектонических деформациях возникают сложные сети трещин. При этом к обычным для осадочных пород перпендикулярным слою трещинам добавляются ориентированные под углом 45° к плоскости напластования трещины, которые возникают вдоль плоскостей максимальных тангенциальных напряжений. На некоторых угольных пластах наблюдается до 10 систем трещин, в результате чего уголь может быть разбит видимыми трещинами на небольшие отдельности размером 1 см^3 [7].

Сложное структурное строение пространственных сетей трещин определяет прочностные, деформационные и фильтрационные свойства угольных слоёв. Ископаемые каменный и бурый уголь как порода характеризуются большой степенью трещиноватости и механизмом хрупкого разрушения [12–14], которые в конечном итоге должны определять технологии разработки месторождений и использования полезных ископаемых.

Изначально дробление угля до нужного размера осуществлялось посредством шаровых мельниц или вибромельниц. При этом оборудование быстро изнашивалось, что делало водоугольные технологии низкорентабельными.

Оптимальным на сегодняшний день является применение гидроударных технологий [8; 9]. При этом технология приготовления водоугольной топливной суспензии сводится к предварительному дроблению угля в шаровых мельницах или вибромельницах до гранул $10 \dots 12 \text{ мм}$ и мокрого помола в гидроударной установке с последующей гомогенизацией (рис. 1).

В основе мокрого помола в водной среде методом гидроудара лежит природная трещиноватость угля. Работа современной гидроударной установки мокрого помола основана на использовании гидроудара, энергия которого передается водой в микротрещины, по которым происходит разрушение угля.

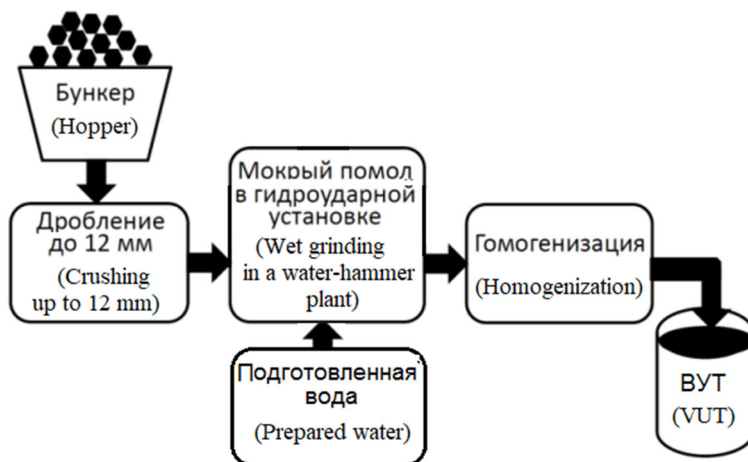


Рис. 1. Схема приготовления водоугольного топлива. Источник: составлено авторами / **Figure 1. Scheme of preparation of coal-water fuel.** Source: compiled by the authors.

Гидроударные технологии при гидродобыче угля и мокром помоле при помощи гидроудара имеют сходство на микро- и макроуровнях. Процессы хрупкого разрушения угля как трещиноватой породы на макро- и микроуровнях носят один и тот же характер. Метод вибровоздействия при направленной гидродобыче с высвобождением содержащегося в угольных пластах метана схож с методом гидроудара при мокром помоле.

Анализ процессов хрупкого разрушения угля как горной трещиноватой породы на макро- и микроуровнях показал, что направленная гидродобыча с высвобождением содержащегося в угольных пластах метана, а также мокрый помол с получением определенного гранулометрического состава водоугольной топливной суспензии методом гидроудара происходят по макро- и микротрещинам.

Каменный и бурый уголь как породы характеризуются большой степенью трещиноватости и механизмом хрупкого разрушения по трещинам. Сложное структурное строение пространственных сетей трещин определяет прочностные, деформационные и фильтрационные свойства угольных слоев.

В данном случае нас интересует задача хрупкого разрушения добытого ископаемого угля при помощи управляющих гидровибрационных воздействий на уровне микротрещин с целью дробления в воде методом гидроудара.

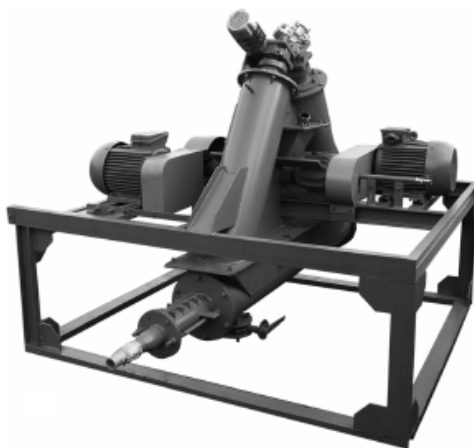
Схематичное изображение опытно-промышленной гидроударной установки приведено на рис. 2.

Говоря о микротрещинах угля, можно отметить, что частота кливажа раскола очень велика, что дает возможность направленного воздействия гидроударом до измельчения на микроуровнях [7].

Нами было установлено, что поставленные задачи управления экологическими и технологическими качествами в процессе приготовления инновационной водоугольной топливной суспензии на основе статистического анализа гранулометрического состава коррелируют с задачами получения

микро- и ультрадисперсных водоугольных суспензий [15; 16] с целью достижения высоких экологических и технологических качеств.

Автоматическое управление гранулометрическим составом водоугольной суспензии позволит получать и неограниченное время сохранять за счет измельчения до микро- и ультрауровня и гомогенизации экологические и технологические свойства водоугольной топливной суспензии как дизельного топлива, полученного нехимическим путем.



**Рис. 2. Гидроударная установка [9] /
Figure 2. Hydraulic-shock installation [9]**

При формировании первичных трещин в осадочных породах параметры трещин подчиняются нормальному закону распределения [7]. Нормальное (гауссово) распределение – это симметричное распределение сортировки или роста в природных стабильных условиях. Логнормальное левоасимметричное распределение характерно для разрушения под воздействием внешнего воздействия. Эта общая природная закономерность отражена также в других работах [17; 18].

Для математико-статистического анализа нами использовались опытные данные испытаний промышленных образцов ВУТ (рис. 3).

С использованием данных промышленных образцов было получено массовое распределение грансостава ВУТ (рис. 4).

В результате исследования было установлено, что дроблению было подвергнуто совместно два вида угля, которые различались по трещиноватости и, следовательно, по прочности. Один из них дал обломки со средним значением около 1,5...2,0 мкм, второй – с размером 30–35 мкм.

Построив интегральную кривую распределения гранулометрического состава водной топливной суспензии по фракциям на вероятностной бумаге в логарифмическом масштабе, определили неоднородную смесь из трех компонентов с собственным логнормальным распределением для каждого из них (рис. 5).

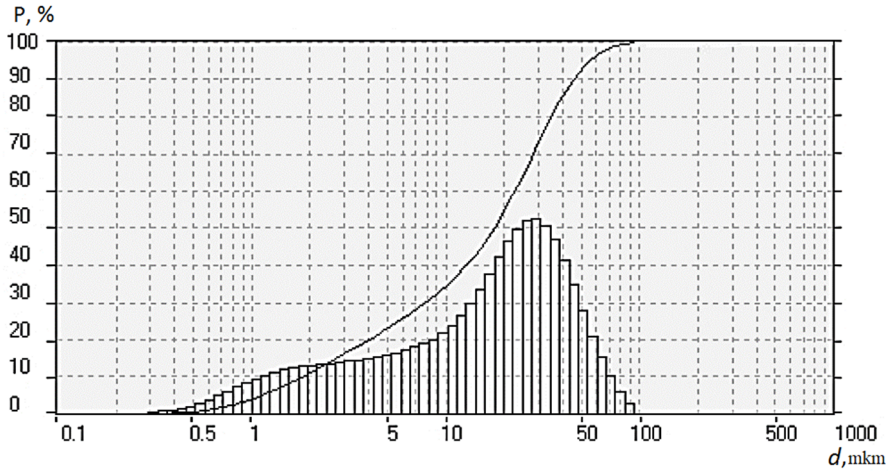


Рис. 3. Дифференциальная и интегральная кривые распределения грансостава бурого угля Б2, измельченного в гидродарной установке (70% – фракция 28 мкм) [8] / Figure 3. Differential and integral distribution curves of the granulation of brown coal B2 crushed in a hydraulic shock unit (70% – fraction of 28 mkm) [8]

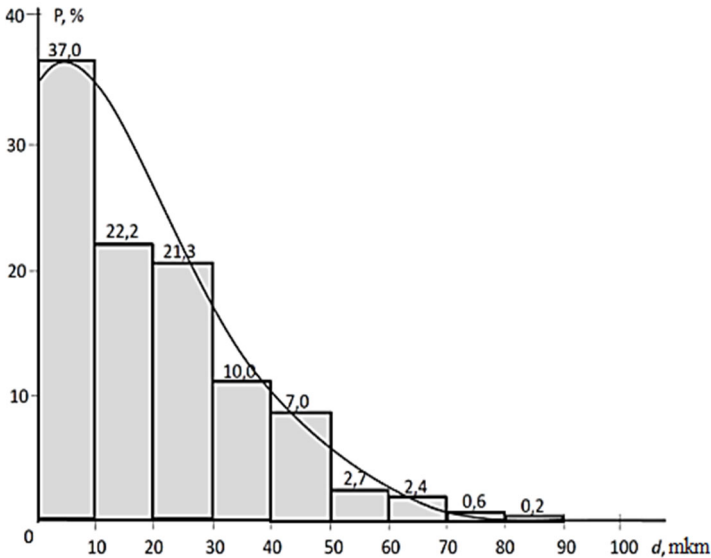


Рис. 4. Дифференциальная кривая распределения грансостава ВУТ в натуральном масштабе. Источник: составлено авторами / Figure 4. Differential distribution curve of the granulometric composition of the VUT on a natural scale. Source: compiled by the authors.

По оси абсцисс отложен $\lg d$. Вероятностное распределение $\lg d$ имеет форму, подобную распределению Гаусса. То есть распределение d логнормальное, характерное для расстояний между тектоническими трещинами, возникающими на стадии разрушения горных пород в массиве от внешних напряжений. Деформации от напряжений внутренних (усыхание, усадка) приводят к формированию нормального, а не логнормального распределения.

Наличие трех распределений логнормального типа подтверждается построением интегральной кривой распределения грансостава ВУТ на

вероятностной бумаге, где по оси ординат отложены $\lg d$, а на оси абсцисс – вероятность присутствия частиц конкретного размера. Ось абсцисс деформирована так, чтобы гауссова интегральная кривая имела форму прямой линии.

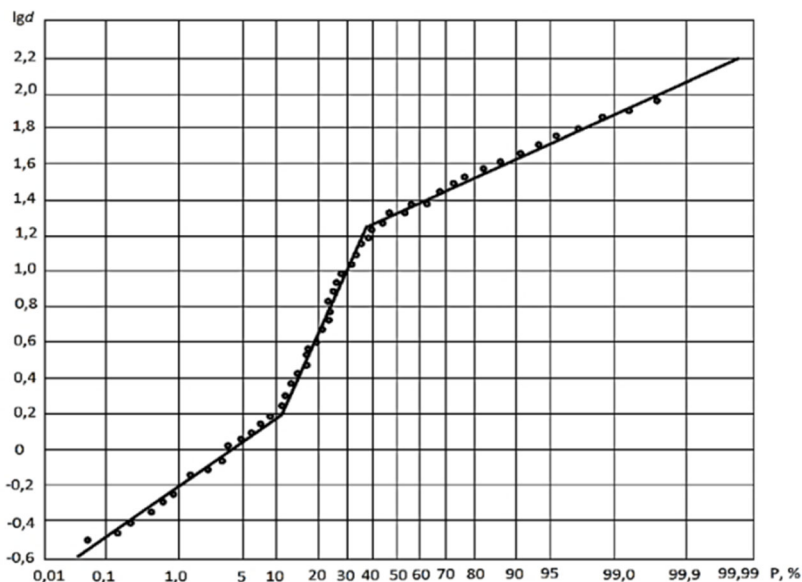


Рис. 5. Интегральная кривая распределения грансостава водоугольной топливной суспензии по фракциям на вероятностной бумаге в логарифмическом масштабе.

Источник: составлено авторами /

Figure 5. Integral distribution curve of the granulometric composition of a coal-water fuel suspension by fractions on probabilistic paper on a logarithmic scale.

Source: compiled by the authors.

В данном случае на графике присутствуют три прямых отрезка, что свидетельствует о наличии в пробе водоугольной топливной суспензии шихты из трех статистических выборок, соответствующих трем генетически различным породам угля.

Это позволяет оптимизировать получение водоугольного топлива с повышением экологической эффективности водоугольных технологий и ресурсосбережения [19–26].

Заключение

В результате исследования проанализированы возможности повышения эколого-технологической эффективности инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ, включая механику разрушения угля как трещиноватой породы в гидроударной установке.

Предложено управление инновационной угольно-водоугольной топливной технологией на основе автоматического контроля гранулометрического состава с использованием природной трещиноватости угля для управляющего воздействия при разрушении угля методом гидроудара.

Полученные путем стандартного математико-статистического анализа данные гранулометрического состава были подтверждены экспериментальными данными.

Проведенные исследования делают возможным использование природной трещиноватости угля для управляющего гидроударного воздействия и управления гранулометрическим составом инновационной водоугольной топливной суспензии в целях повышения ее экологических и технологических качеств в рамках создания опытного участка инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ.

References

- [1] Zommer TV, Chernyshev SN Innovative geotechnologies is the key to geoenvironmental sustainability of urban areas by reducing the load and control techno-landscapes on the example of innovative water-coal technologies. *MATEC Web of Conferences*. 2016;(5):03011.
- [2] Plyichev V, Emelyanov S, Kolchunov V, Bakaeva N. About the dynamic model formation of the urban livelihood system compatible with the biosphere. *Applied Mechanics and Materials*. 2015:725–726, 1224–1230.
- [3] Trubetskoy KN, Galchenko YP. Naturelike mining technologies: prospect of resolving global contradictions when developing mineral resources of the lithosphere. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2017;87(4):378–384.
- [4] Trubetskoy KN, Iofis MA, Yesina EN, Postavnin BN, Fedorov EV, Krasnyukova EV. RU 2684647 C1 Method for controlling the geomechanical state of a rock mass. 2018 (In Russ).
- [5] Zommer TV. Expert-analytical substantiation of the transition from combustion of solid coal fuel to combustion of coal-water slurry fuel. *Science Review*. 2016;(7):33–38 (In Russ).
- [6] Zommer TV, Chernyshev SN. Management of the urban landscapes on the basis of geo-bio-positive coal-watercoal technologies. *Journal of Economy and entrepreneurship*, 2017;4(2):969–973 (In Russ).
- [7] Chernyshev SN. Rock fractures. London; 1991.
- [8] Morozov AG, Korenyugina NV. Hydroimpact technologies in the production of watercoal fuel. *Energy Safety and Energy Economy*. 2010;(2):12–15 (In Russ).
- [9] Morozov AG. RU 82482 U1, Installation for burning coal-water fuel. 2009 (In Russ).
- [10] Patrakov YF, Semenova SA. Analysis of particle size distribution in coal dust by laser diffraction. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(4):71–75.
- [11] Surowiak A, Foszcz D, Niedoba T. Evaluation of jig work on the basis of granulometric analysis of particle size fractions of beneficiation products in purpose of process optimization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;641(1):012006.
- [12] Nikolenko PV, Epshtein SA, Shkuratnik VL, Anufrenkova PS. Experimental study of coal fracture dynamics under the influence of cyclic freezing–thawing using shear elastic waves. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2020.
- [13] Kossovich EL. Mechanical, structural and scaling properties of coals: depth-sensing indentation studies. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 2019;125(3):195.
- [14] Karacan CÖ, Okandan E. Fracture cleat analysis of coals from Zonguldak Basin (northwestern Turkey) relative to the potential of coalbed methane production. *International Journal of Coal Geology*. 2000;44(2):109–125.

- [15] Manjunath GL, Jha B. Nanoscale fracture mechanics of Gondwana coal. *International Journal of Coal Geology*. 2019;204:102–112.
- [16] Yu H, Zhang Y, Lebedev M, Han T, Verrall M, Wang Z, Al-Khdheawi E, Iglauer S. Nanoscale geomechanical properties of western australian coal. *J. Pet. Sci. Eng.* 2017;(1):109.
- [17] Chernyshev SN, Zommer TV, Zommer VL. A Method for Determining the Hydraulic Conductivity of Rock Mass with Fractures of Limited Length. *Power Technology and Engineering*. 2019;53(2):155–158.
- [18] Ter-Martirosyan ZG, Mirmyy AY, Ter-Martirosyan AZ, Chernyshev SN. The mechanical properties of soils with inhomogeneous granulometric composition. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(3):1715–1718.
- [19] Osintsev KV, Prikhodko IS. Application of linear programming techniques to optimize the choice of coal and water coal fuel. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1333(4):042025.
- [20] Malyshev DYU, Syrodoy SV. Justification of resource efficiency of the technologies for burning water-coal fuels with biomass additives. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2020;331(6):77–85.
- [21] Murko VI, Khyamyalyainen VA, Baranova MP. The creation of a low-capacity boiler plant on coal-enrichment waste. *International Science and Technology Conference "EastConf"*. 2019:8725397.
- [22] Liu K, Ostadhassan M, Bubach B. Applications of nano-indentation methods to estimate nanoscale mechanical properties of shale reservoir rocks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Part A 35. 2016;1310–1319.
- [23] Scholtès L, Donzé FV, Khanal M. Scale effects on strength of geomaterials, case study: Coal. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 2011;59(5):1131–1146.
- [24] Du Q, Liu X, Wang W, Zhong J, Wang S. Dynamic response of coal under impact load after supercritical CO₂-water-coal interaction, *Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society*. 2019;44(11):3453–3462.
- [25] Gorlov EG, Andrienko VG, Shpirt MY. Gasification of Ultrafine Coal–Water Suspensions. *Solid Fuel Chemistry*. 2019;53(6):347–351.
- [26] Kossovich EL, Epshtein SA, Dobryakova NN, Minin MG. Structural features and mechanical properties of anthracite, metaanthracite and graphite. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(4):25–29.

Сведения об авторах:

Зоммер Татьяна Валентиновна, научный сотрудник научно-технического отдела института комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ, аспирант направления подготовки 1.5.15 «Экология», Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет», Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. ORCID: 0000-0001-6937-9774, eLIBRARY SPIN-код: 1999-2722, eLIBRARY Author ID: 658156, Scopus Author ID: 57191867230, ResearcherId: S-3433-2018. E-mail: ZommerTV@mgsu.ru

Симонян Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии, Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет», Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. eLIBRARY SPIN-код: 9556-1207, eLIBRARY Author ID: 646817. E-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com

Морозов Андрей Геннадиевич, кандидат технических наук, директор ООО «Амальтеа-Сервис». eLIBRARY SPIN-код: 5944-5809, eLIBRARY Author ID: 666302. E-mail: info@innotoplivo.ru

Bio notes:

Tatyana V. Zommer, Researcher of the Scientific and Technical Department of the Institute of Integrated Safety in Construction of the National Research University of Moscow, MSU, postgraduate student of the 1.5.15 “Ecology”, National Research “Moscow State University of Civil Engineering”, 26 Yaroslavskoe Sh, Moscow, 129337, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6937-9774, eLIBRARY SPIN-код: 1999-2722, eLIBRARY Author ID: 658156, Scopus Author ID: 57191867230, ResearcherId: S-3433-2018. E-mail: tzommer-1@yandex.ru

Vladimir V. Simonyan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Surveys and Geoecology, National Research “Moscow State University of Civil Engineering”, 26 Yaroslavskoe Sh, Moscow, 129337, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 9556-1207, eLIBRARY Author ID: 646817. E-mail: simonyan.vladimir55

Andrey G. Morozov, Candidate of Technical Sciences, Director of «Amaltea-Service», eLIBRARY SPIN-код: 5944-5809, eLIBRARY Author ID: 666302. E-mail: info@innotoplivo.ru