





Анализ тепловых процессов при механоактивации MoS₂ и МУНТ





| | | | |
|--------------------------|--------------|--|---|
| Александр В. Щегольков | ¹ | energynano@yandex.ru |  0000-0002-4317-0689 |
| Захиват Муртада М. Аттыя | ¹ | chemical.eng85@gmail.com |  0000-0002-8526-8668 |
| Наталия В. Земцова | ¹ | natasha_paramonova_68@mail.ru |  0000-0002-5274-6133 |
| Алексей В. Щегольков | ¹ | alexxx5000@mail.ru |  0000-0002-1838-3842 |

¹ Тамбовский государственный технический университет ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия

Аннотация. Развитие современной транспортной индустрии предъявляет повышенные требования к надежности и экономичности автотранспортной техники, а также ужесточение экологических нормативов. Это касается не только совершенствования элементов двигателя внутреннего сгорания (ДВС), трансмиссии и подвески, но и улучшения свойств топлива и моторного масла. Для механоактивации МУНТ и MoS₂ был использован аппарат вихревого слоя ABC-150 - механическое воздействие которого, осуществляется благодаря перемещению тел помола (цилиндрической формы) в переменном электромагнитном поле, а также планетарная мельница Пульверизетте 5 (сферические тела). Проведенные исследования показывают, что механоактивация вызывает нагрев диспергируемых МУНТ и MoS₂, что при реализации диспергирования в потоке жидкости требует лимитирования этого процесса именно по температурному параметру. При этом следует отметить возможность одновременной механоактивации и распределения в топливе или моторном масле МУНТ и MoS₂, что обеспечивает высокую технологичность процесса и снижает затраты связанные с необходимостью применения дополнительного оборудования. Механоактивация в планетарной мельнице сопровождается более высокой равномерностью температурного поля, но при этом в ABC процесс механоактивации является более интенсивным и требует меньших затрат времени. Представленная технология механоактивации может быть использована для повышения эффективности распределения МУНТ и MoS₂, как в топливе, так и моторном масле. Контроль температурного режима может быть осуществлен путем варьирования, как временем механоактивирования, так и количеством и типом тел помола

Ключевые слова: топливо, моторное масло, механоактивация, температурное поле, диоксид молибдена, углеродные нанотрубки

Analysis of thermal processes during mechanoactivation of MoS₂ and MWCNTS

| | | | |
|----------------------------|--------------|--|---|
| Alexandr S. Shchegolkov | ¹ | energynano@yandex.ru |  0000-0002-4317-0689 |
| Zahivat Murtadha M. Attyah | ¹ | chemical.eng85@gmail.com |  0000-0002-8526-8668 |
| Natalia V. Zemtsova | ¹ | natasha_paramonova_68@mail.ru |  0000-0002-5274-6133 |
| Aleksei S. Shchegolkov | ¹ | alexxx5000@mail.ru |  0000-0002-1838-3842 |

¹ Tambov State Technical University st. Soviet, 106, Tambov, 392000, Russia

Abstract. The development of the modern transport industry makes increased demands on the reliability and efficiency of road transport equipment, as well as tightening environmental standards. This applies not only to improving the elements of the internal combustion engine (ICE), transmission and suspension, but also to improving the properties of fuel and engine oil. For the mechanical activation of MWCNT and MoS₂, the vortex layer apparatus ABC-150 was used - the mechanical action of which is carried out due to the movement of grinding bodies (cylindrical) in an alternating electromagnetic field, as well as the Pulverisette 5 planetary mill (spherical bodies). The studies carried out show that mechanical activation causes heating of dispersed MWCNTs and MoS₂, which, when dispersing in a liquid flow, requires limiting this process precisely by the temperature parameter. At the same time, it should be noted the possibility of simultaneous mechanical activation and distribution of MCNT and MoS₂ in fuel or engine oil, which ensures high processability of the process and reduces costs associated with the need to use additional equipment. Mechanical activation in a planetary mill is accompanied by a higher uniformity of the temperature field, but at the same time in ABC the process of mechanical activation is more intense and requires less time. The presented technology of mechanical activation can be used to increase the efficiency of distribution of MCNTs and MoS₂, both in fuel and in engine oil. Temperature control can be carried out by varying both the mechanical activation time and the number and type of grinding bodies

Keywords: fuel, engine oil, mechanical activation, temperature field, molybdenum dioxide, carbon nanotubes

Введение

Развитие современной транспортной индустрии предъявляет повышенные требования к надежности и экономичности автотранспортной техники, а также ужесточение экологических нормативов. Это касается не только совершенствования элементов двигателя внутреннего сгорания (ДВС), трансмиссии и подвески, но и улучшения свойств топлива и моторного масла.

Необходимым и важным условием для повышения качества дизельного топлива до требований нормативных документов ТР ТС 013/2011 и ГОСТ Р 52368–2005 (ЕН 590:2009) является использование различных функциональных присадок. То же самое относится и к моторным маслам.

Влияние различных типов присадок на свойства биодизельного или дизельного топлива в контексте повышения производительности ДВС и снижения концентрации газообразных

Для цитирования

Щегольков А.В., Захиват М.М.А., Земцова Н.В., Щегольков А.В. Анализ тепловых процессов при механоактивации MoS₂ и МУНТ // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 290–294. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-290-294

For citation

Shchegolkov A.V., Zahivat M.M.A., Zemtsova N.V., Shchegolkov A.V. Analysis of thermal processes during mechanoactivation of MoS₂ and MWCNTs. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 290–294. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-290-294

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

вредных веществ при работе ДВС было всесторонне рассмотрено в работе [1]. Рассмотренные в работе присадки были разделены на пять категорий, то есть кислородсодержащие добавки, добавки на металлической и неметаллической основе, вода, антиоксиданты и добавки на полимерной основе. Кислородсодержащие добавки увеличивают задержка зажигания и уменьшают теплоту сгорания готовых топливных смесей, что негативно сказывается на работе ДВС. В тоже время добавки на металлической основе и углеродных нанотрубках (УНТ) оказались многообещающими с точки зрения их влияния на характеристики ДВС и параметры выбросов. Их положительные качества были связаны с уменьшением задержки зажигания и особенностями поверхности УНТ приводящих к более чистому горению [1].

В работе [2] также рассмотрены наноматериалы, которые могут быть использованы, как топливные присадки для улучшения характеристик дизельного двигателя [2]. В качестве наноматериалов могут быть использованы наночастицы оксида алюминия и многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) [3]. Применение наноматериалов в топливе позволяет добиться снижения выбросов выхлопных газов и повышения эффективности двигателей [4].

Для синтеза МУНТ может быть использована технология на основе СВЧ [5].

Снижение содержания серы в дизельном топливе решается с помощью каталитической окислительной десульфуризации. Каталитическая окислительная десульфуризация дизельного топлива может быть осуществлена в течение нескольких циклов реактивного периодического действия с помощью катализаторов на основе Мо и/или V для получения дизельного топлива с низким содержанием серы. Для объяснения результатов каталитической активности оксиды Мо и/или V использованы гранулы оксида алюминия [6].

Наиболее распространенным химическим элементом, который может быть использован для улучшения свойств моторных масел относится – дисульфид молибдена (MoS_2) [7]. В различных типах моторных масел его массовая концентрация может варьироваться в диапазоне от 0,08 до 0,16 мас.%. При этом используется такая дисперсия MoS_2 при которой размер отдельных частиц менее 0,5 мкм. Распределение MoS_2 в моторном масле с размером частиц менее 0,5 мкм позволяет беспрепятственно прокачиваться в моторном масле с MoS_2 через перегородки масляного фильтра с размером фильтрующих отверстий в пределах 15–25 мкм.

MoS_2 также может быть использован для улучшения свойств дизельного топлива [8].

В работе [9] проведены исследования характеристик трения для дисульфида молибдена и температурно-зависимый коэффициент трения (COF). COF: 0,0005, который может быть сверхсмазочным состоянием для покрытий из MoS_2 или тонких пленок. Рассматривая смазку на основе дисульфида молибдена, авторы применяли подход переходного состояния для расчета характеристик трения в зависимости от температуры.

Улучшить свойства дисперсных структур вкочающих в себя МУНТ и MoS_2 можно с помощью процесса механоактивации. Механоактивация может привести к изменению аспектного отношения, степени дефектности и разбиения или выравнивания агломератов в МУНТ. При этом механоактивация позволит создать некомпенсированные химические связи или свободные радикалы с запасом «избыточной» энергии [10–20].

Реализовать процесс механоактивации дисперсных структур возможно непосредственно в жидкости – топливе или моторном масле, а также сухом состоянии с последующей стадией – перемешивания в топливе или моторном масле. В этом отношении приобретает актуальность исследования распределения температурного поля при механической активации, таких материалов, как дисульфид молибдена (MoS_2) и МУНТ.

Цель работы – оценка температурных режимов при механоактивации с помощью цилиндрических и сферических тел помола в аппарате вихревого слоя и планетарной мельнице.

Материалы и методы

Для механоактивации МУНТ и MoS_2 был использован аппарат вихревого слоя ABC-150 – механическое воздействие которого, осуществляется благодаря перемещению тел помола (цилиндрической формы) в переменном электромагнитном поле, а также планетарная мельница Пульверизетте 5 (сферические тела).

При перемешивании в ротационном смесителе WF-20B (Китай) с фиксированной частотой вращения ротора смесителя 25000 об/мин – происходит перераспределение МУНТ и MoS_2 в объеме, что объясняется ростом гомогенизованности многокомпонентной дисперсной системы. Это оказывает влияние на эффективность второй – основной стадии, где используются механоактивационные установки ABC-150 или Пульверизетте 5. Вторая стадия обеспечивает уменьшение размеров МУНТ и MoS_2 .

На рисунке 1 показаны тела помола.



(a) (b)

Рисунок 1. Тела помола (a) – сферические; (b) – цилиндрические

Figure 1. Grinding bodies (a) are spherical; (b) - cylindrical

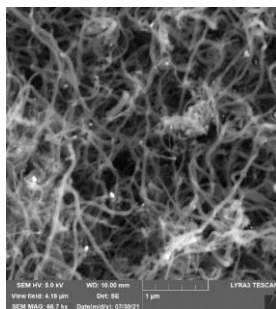


Рисунок 2. СЭМ МУНТ
Figure 2. SAM MOUNT

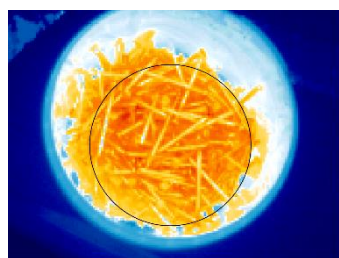


Рисунок 3. Температурное поле МУНТ и MoS₂ после механоактивации в ABC-150

Figure 3. Temperature field of MWCNTs and MoS₂ after mechanical activation in ABC 150

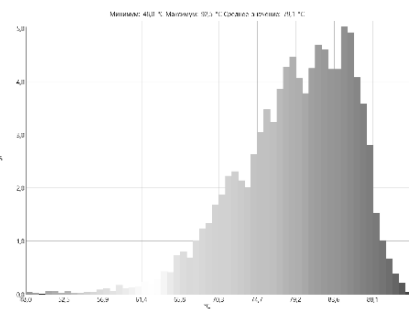


Рисунок 4. Диаграмма температурного поля МУНТ и MoS₂

Figure 4. Temperature field diagram for MWCNTs and MoS₂

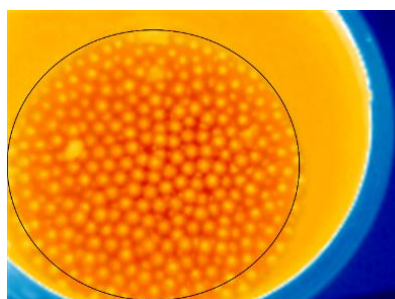


Рисунок 5. Температурное поле МУНТ и MoS₂ после механоактивации в Пульверизетте 5

Figure 5. Temperature field of MWCNTs and MoS₂ after mechanical activation in Pulverisetta 5

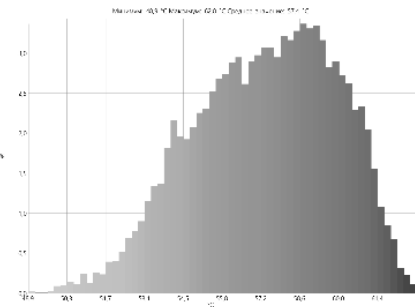


Рисунок 6. Диаграмма температурного поля МУНТ и MoS₂ после механоактивации в Пульверизетте 5

Figure 6. Diagram of the temperature field of MWCNTs and MoS₂ after mechanical activation in Pulverisetta 5

Обсуждение

Проведенные исследования показывают, что механоактивация вызывает нагрев диспергируемых МУНТ и MoS₂, что при реализации диспергирования в потоке жидкости требует лимитирования этого процесса именно по температурному параметру. При этом следует отметить возможность одновременной механоактивации и распределения в топливе или моторном масле МУНТ и MoS₂, что обеспечивает высокую технологичность процесса и снижает затраты связанные с необходимостью применения дополнительного оборудования. Механоактивация

в планетарной мельнице сопровождается более высокой равномерностью температурного поля, но при этом в АВС процесс механоактивации является более интенсивным и требует меньших затрат времени (рисунки 4 и 6).

Заключение

Представленная технология механоактивации может быть использована для повышения эффективности распределения МУНТ и MoS₂, как в топливе, так и моторном масле. Контроль температурного режима может быть осуществлен путем варьирования, как временем механоактивирования, так и количеством и типом тел помола.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке управления образования и науки Тамбовской области в рамках

Соглашения № 10-МУ-20 о поддержке победившего проекта № 23-МУ-20 (02) областного конкурса «Гранты для поддержки прикладных исследований молодых учёных 2020 года»

Литература


- 1 Khalife E., Tabatabaei M., Demirbas A., Aghbashlo M. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2017. V. 59. P. 32–78. doi: 10.1016/j.pecs.2016.10.001.
- 2 Kegl T., Kovač Kralj A., Kegl B., Kegl M. Nanomaterials as fuel additives in diesel engines: A review of current state, opportunities, and challenges // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2021. V. 83. P. 100897. doi: 10.1016/j.pecs.2020.100897.
- 3 Tomar M., Kumar N. Effect of multi-walled carbon nanotubes and alumina nano-additives in a light duty diesel engine fuelled with schleichera oleosa biodiesel blends // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020. V. 42. P. 100833. doi: 10.1016/j.seta.2020.100833.
- 4 Hatami M., Hasanpour M., Jing D. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels // *Journal of Molecular Liquids*. 2020. V. 318. P. 114250. doi: 10.1016/j.molliq.2020.114250.
- 5 González-García O., Cedeño-Caero L. V-Mo based catalysts for oxidative desulfurization of diesel fuel // *Catalysis Today*. 2009. V. 148. №. 1–2. P. 42–48. doi: 10.1016/j.cattod.2009.03.010.
- 6 Bojarska Z., Kopytowski J., Mazurkiewicz-Pawlicka M., Bazarnik P. et al. Molybdenum disulfide-based hybrid materials as new types of oil additives with enhanced tribological and rheological properties // *Tribology International*. 2021. V. 160. P. 106999. doi: 10.1016/j.triboint.2021.106999.
- 7 Ramesh P., Krishnan G.S., Kumar J.P., Bakkiyaraj M. et al. A critical investigation on viscosity and tribological properties of molybdenum disulfide nano particles on diesel oil // *Materials Today: Proceedings*. 2021. V. 43. №. 2. P. 1830–1833. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.718.
- 8 Kwang-Hua Ch. R. Temperature-dependent negative friction coefficients in superlubric molybdenum disulfide thin films // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2020. V. 143. P. 109526. doi: 10.1016/j.jpcs.2020.109526.
- 9 Щегольков А.В. Синтез углеродных нанотрубок с помощью СВЧ: технология, свойства и структура // *Российский химический журнал*. 2021. Т. 65. № 4. С. 56–60. doi: 10.6060/rcj.2021654.9.
- 10 Щегольков А.В. Влияние механоактивации многослойных углеродных нанотрубок на электрофизические свойства наноструктурированных эластомеров // *Российский химический журнал*. 2021. Т. 65. № 4. С. 88–94. doi: 10.6060/rcj.2021654.15.
- 11 De Volder M.F.L., Tawfick S.H., Baughman R.H., Hart A.J. Carbon nanotubes: present and future commercial applications // *science*. 2013. V. 339. №. 6119. P. 535–539. doi: 10.1126/science.1222453
- 12 O'connell M.J. Carbon nanotubes: properties and applications. CRC press, 2018.
- 13 Liu Y., Zhao Y., Sun B., Chen C. Understanding the toxicity of carbon nanotubes // *Accounts of chemical research*. 2013. V. 46. №. 3. P. 702–713. doi: 10.1021/ar300028m
- 14 Purohit R., Purohit K., Rana S., Rana R.S. et al. Carbon nanotubes and their growth methods // *Procedia materials science*. 2014. V. 6. P. 716–728. doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.088
- 15 Rahmandoust M., Ayatollahi M. R. Carbon Nanotubes // *Characterization of carbon nanotube based composites under consideration of defects*. Springer, Cham, 2016. P. 5–63. doi: 10.1007/978-3-319-00251-4_2
- 16 Rafiee R., Moghadam R.M. On the modeling of carbon nanotubes: a critical review // *Composites Part B: Engineering*. 2014. V. 56. P. 435–449. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.08.037
- 17 Mubarak N.M., Abdullah E.C., Jayakumar N.S., Sahu J.N. An overview on methods for the production of carbon nanotubes // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2014. V. 20. №. 4. P. 1186–1197. doi: 10.1016/j.jiec.2013.09.001
- 18 Abdalla S., Al-Marzouki F., Al-Ghamdi A.A., Abdel-Daiem A. Different technical applications of carbon nanotubes // *Nanoscale research letters*. 2015. V. 10. №. 1. P. 1–10. doi: 10.1186/s11671-015-1056-3
- 19 Saifuddin N., Raziah A.Z., Junizah A.R. Carbon nanotubes: a review on structure and their interaction with proteins // *Journal of Chemistry*. 2013. V. 2013. doi: 10.1155/2013/676815
- 20 Mohanta D., Patnaik S., Sood S., Das N. Carbon nanotubes: Evaluation of toxicity at biointerfaces // *Journal of pharmaceutical analysis*. 2019. V. 9. №. 5. P. 293–300. doi: 10.1016/j.jpha.2019.04.003


References


- 1 Khalife E., Tabatabaei M., Demirbas A., Aghbashlo M. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2017. vol. 59. pp. 32–78. doi: 10.1016/j.pecs.2016.10.001.
- 2 Kegl T., Kovač Kralj A., Kegl B., Kegl M. Nanomaterials as fuel additives in diesel engines: A review of current state, opportunities, and challenges. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2021. vol. 83. pp. 100897. doi: 10.1016/j.pecs.2020.100897.
- 3 Tomar M., Kumar N. Effect of multi-walled carbon nanotubes and alumina nano-additives in a light duty diesel engine fuelled with schleichera oleosa biodiesel blends. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020. vol. 42. pp. 100833. doi: 10.1016/j.seta.2020.100833.
- 4 Hatami M., Hasanpour M., Jing D. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels. *Journal of Molecular Liquids*. 2020. vol. 318. pp. 114250. doi: 10.1016/j.molliq.2020.114250.
- 5 González-García O., Cedeño-Caero L. V-Mo based catalysts for oxidative desulfurization of diesel fuel. *Catalysis Today*. 2009. vol. 148, no. 1–2. pp. 42–48. doi: 10.1016/j.cattod.2009.03.010.


- 6 Bojarska Z., Kopytowski J., Mazurkiewicz-Pawlicka M., Bazarnik P. et al. Molybdenum disulfide-based hybrid materials as new types of oil additives with enhanced tribological and rheological properties. *Tribology International*. 2021. vol. 160. pp. 106999. doi: 10.1016/j.triboint.2021.106999.
- 7 Ramesh P., Krishnan G.S., Kumar J.P., Bakkiyaraj M. et al. A critical investigation on viscosity and tribological properties of molybdenum disulfide nano particles on diesel oil. *Materials Today: Proceedings*. 2021. vol. 43. no. 2. pp. 1830–1833. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.718.
- 8 Kwang-Hua Ch. R. Temperature-dependent negative friction coefficients in superlubric molybdenum disulfide thin films. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2020. vol. 143. pp. 109526. doi: 10.1016/j.jpcs.2020.109526.
- 9 Shchegolkov A.V. Synthesis of carbon nanotubes using microwave: technology, properties and structure. *Russian Chemical Journal*. 2021. vol. 65. no. 4. pp. 56–60. doi: 10.6060 / rcj.2021654.9 (in Russian).
- 10 Shchegolkov A.V. Influence of mechanical activation of multilayer carbon nanotubes on the electrophysical properties of nanostructured elastomers. *Russian Chemical Journal*. 2021. vol. 65. no. 4. pp. 88–94. doi: 10.6060 / rcj.2021654.15 (in Russian).
- 11 De Volder M.F.L., Tawfick S.H., Baughman R.H., Hart A.J. Carbon nanotubes: present and future commercial applications. *science*. 2013. vol. 339. no. 6119. pp. 535-539. doi: 10.1126/science.1222453
- 12 O'connell M.J. Carbon nanotubes: properties and applications. CRC press, 2018.
- 13 Liu Y., Zhao Y., Sun B., Chen C. Understanding the toxicity of carbon nanotubes. *Accounts of chemical research*. 2013. vol. 46. no. 3. pp. 702-713. doi: 10.1021/ar300028m
- 14 Purohit R., Purohit K., Rana S., Rana R.S. et al. Carbon nanotubes and their growth methods. *Procedia materials science*. 2014. vol. 6. pp. 716-728. doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.088
- 15 Rahmandoust M., Ayatollahi M. R. Carbon Nanotubes. Characterization of carbon nanotube based composites under consideration of defects. Springer, Cham, 2016. pp. 5-63. doi: 10.1007/978-3-319-00251-4_2
- 16 Rafiee R., Moghadam R.M. On the modeling of carbon nanotubes: a critical review. *Composites Part B: Engineering*. 2014. vol. 56. pp. 435-449. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.08.037
- 17 Mubarak N.M., Abdullah E.C., Jayakumar N.S., Sahu J.N. An overview on methods for the production of carbon nanotubes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2014. vol. 20. no. 4. pp. 1186-1197. doi: 10.1016/j.jiec.2013.09.001
- 18 Abdalla S., Al-Marzouki F., Al-Ghamdi A.A., Abdel-Daiem A. Different technical applications of carbon nanotubes. *Nanoscale research letters*. 2015. vol. 10. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/s11671-015-1056-3
- 19 Saifuddin N., Raziah A.Z., Junizah A.R. Carbon nanotubes: a review on structure and their interaction with proteins. *Journal of Chemistry*. 2013. vol. 2013. doi: 10.1155/2013/676815
- 20 Mohanta D., Patnaik S., Sood S., Das N. Carbon nanotubes: Evaluation of toxicity at biointerfaces. *Journal of pharmaceutical analysis*. 2019. vol. 9. no. 5. pp. 293-300. doi: 10.1016/j.jpha.2019.04.003

Сведения об авторах

Александр В. Щегольков к.т.н., доцент, кафедра техники и технологии производства нанопроductов, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, energynano@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4317-0689>

Захиват Муртада М. Агтя аспирант, кафедра техники и технологии производства нанопроductов, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, chemical.eng85@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-8526-8668>

Наталья В. Земцова аспирант, кафедра техники и технологии производства нанопроductов, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, natasha_paramonova_68@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5274-6133>

Алексей В. Щегольков аспирант, кафедра техники и технологии производства нанопроductов, Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия, alexxx5000@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1838-3842>


Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат


Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Alexandr S. Shchegolkov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, engineering and technology of nanoproducts production department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya, 106, Tambov, 392000, Russia, energynano@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4317-0689>

Zahiwat Murtadha M. Attyah graduate student, engineering and technology of nanoproducts production department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya, 106, Tambov, 392000, Russia, chemical.eng85@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-8526-8668>

Natalia V. Zemtsova graduate student, engineering and technology of nanoproducts production department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya, 106, Tambov, 392000, Russia, natasha_paramonova_68@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5274-6133>

Aleksei S. Shchegolkov graduate student, engineering and technology of nanoproducts production department, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya, 106, Tambov, 392000, Russia, alexxx5000@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1838-3842>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

| | | |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 15/10/2021 | После редакции 08/11/2021 | Принята в печать 26/11/2021 |
| Received 15/10/2021 | Accepted in revised 08/11/2021 | Accepted 26/11/2021 |