

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239162

**DESIGN OF SOLID OXIDE STRUCTURE ON THE COMPOSITE CATHODE FOR IT-SOFC (p. 6–11)****Dianta Mustofa Kamal**

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9336-8936>**Iwan Susanto**

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-0374>**Rahmat Subarkah**

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3590-8110>**Fuad Zainuri**

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-281X>**Belyamin**

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9494-0105>**Tia Rahmiati**

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

**Sulaksana Permana**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3473-5892>**Adi Subardi**

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0867-3624>**Yen-Pei Fu**

National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan ROC

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-4981>

Solid oxide structure of the cobalt-free composite has been exploited as a new cathode material for IT-SOFCs. The composite model system was synthesized using the metallic oxide material, which was formed by a solid-state reaction technique. The generation of the  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.25}\text{Ba}_{0.25}\text{FeO}_{3-\delta}$  (SSBF) model system was carried out during the sintering process. The weight loss and oxygen content were investigated by thermal gravimetric analysis (TG). Meanwhile, X-ray diffraction characterized the structure of the composite and thermal conductivity tested the conductivity properties. The results showed that the structure of the SSBF composite demonstrated the perovskite single phase leading to the structural design. The decomposition and evaporation of the constituent elements of the composite corresponded to weight losses during the constructing process. The oxygen content of the model system was 2.98 after the calcination process. The electrical conductivity value reached  $2 \text{ S cm}^{-1}$  at  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  and increases to a maximum of  $7.5 \text{ S cm}^{-1}$  at  $710 \text{ }^\circ\text{C}$ . The metallic element played to generating the conductive behavior at the low temperature, while the ionic structure acted as elevated temperature. So, mixed ionic and electric conductors (MIEC) were employed comprehensively for creating the conductive properties. Based on the structure and conductivity results, the SSBF composite has a good chance as an alternative cathode material with a perovskite single phase for future IT-SOFCs applications.

**Keywords:** solid oxide fuel cells, cobalt-free cathode composite, perovskite structure, oxygen content, conductivity.

**References**

1. Tan, L., Dong, X., Gong, Z., Wang, M. (2018). Analysis on energy efficiency and  $\text{CO}_2$  emission reduction of an SOFC-based energy system served public buildings with large interior zones. *Energy*, 165, 1106–1118. doi: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.054>
2. Naimaster, E. J., Sleiti, A. K. (2013). Potential of SOFC CHP systems for energy-efficient commercial buildings. *Energy and Buildings*, 61, 153–160. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.045>
3. Bompard, E., Napoli, R., Wan, B., Orsello, G. (2008). Economics evaluation of a 5kW SOFC power system for residential use. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (12), 3243–3247. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.04.017>
4. Fernandes, A., Woudstra, T., van Wijk, A., Verhoef, L., Aravind, P. V. (2016). Fuel cell electric vehicle as a power plant and SOFC as a natural gas reformer: An exergy analysis of different system designs. *Applied Energy*, 173, 13–28. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.107>
5. Ramadhani, F., Hussain, M. A., Mokhlis, H., Hajimolana, S. (2017). Optimization strategies for Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) application: A literature survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 460–484. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.052>
6. Jiang, S., Sunarso, J., Zhou, W., Shen, J., Ran, R., Shao, Z. (2015). Cobalt-free  $\text{SrNb}_x\text{Fe}_{1-x}\text{O}_{3-\delta}$  ( $x=0.05, 0.1$  and  $0.2$ ) perovskite cathodes for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 298, 209–216. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.08.063>
7. Li, C.-H., Hu, S.-H., Tay, K.-W., Fu, Y.-P. (2012). Electrochemical characterization of gradient  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$  cathodes on  $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  electrolytes for solid oxide fuel cells. *Ceramics International*, 38 (2), 1557–1562. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.09.041>
8. Wang, S., Feng, Y., Wang, D. (2014). Electrochemical comparison of cobalt-free  $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{Mo}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  based cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Ceramics International*, 40 (4), 6359–6363. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.10.133>
9. Subardi, A., Chen, C.-C., Cheng, M.-H., Chang, W.-K., Fu, Y. P. (2016). Electrical, thermal and electrochemical properties of  $\text{SmBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 204, 118–127. doi: <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.04.069>
10. Baharuddin, N. A., Mughtar, A., Somalu, M. R. (2017). Short review on cobalt-free cathodes for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (14), 9149–9155. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.097>
11. Ling, Y., Zhao, L., Lin, B., Dong, Y., Zhang, X., Meng, G., Liu, X. (2010). Investigation of cobalt-free cathode material  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  for intermediate temperature solid oxide fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (13), 6905–6910. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.021>
12. Liu, H., Zhu, K., Liu, Y., Li, W., Cai, L., Zhu, X. et. al. (2018). Structure and electrochemical properties of cobalt-free perovskite cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 279, 224–230. doi: <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.05.086>
13. Zhao, L., He, B., Zhang, X., Peng, R., Meng, G., Liu, X. (2010). Electrochemical performance of novel cobalt-free oxide  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  for solid oxide fuel cell cathode. *Journal of Power Sources*, 195 (7), 1859–1861. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.09.078>
14. Pang, S., Wang, W., Chen, T., Shen, X., Wang, Y., Xu, K., Xi, X. (2016). Systematic evaluation of cobalt-free  $\text{Ln}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  ( $\text{Ln} = \text{La, Pr, and Nd}$ ) as cathode materials for intermediate-temper-

- ature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 326, 176–181. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.06.134>
15. Ding, X., Gao, X., Zhu, W., Wang, J., Jiang, J. (2014). Electrode redox properties of  $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  as cobalt free cathode materials for intermediate-temperature SOFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (23), 12092–12100. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.009>
  16. Meng, X., Li, S., Yu, W. W., Ji, Y., Sui, Y., Wei, M. (2018). Layered perovskite  $\text{LnBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_2\text{O}_{5+\delta}$  (Ln = Pr and Nd) as cobalt-free cathode materials for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (9), 4458–4470. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.033>
  17. Ling, Y., Zhang, X., Wang, Z., Wang, S., Zhao, L., Liu, X., Lin, B. (2013). Potentiality of cobalt-free perovskite  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{Mo}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  as a single-phase cathode for intermediate-to-low-temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (33), 14323–14328. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.089>
  18. Chen, D., Chen, C., Dong, F., Shao, Z., Ciucci, F. (2014). Cobalt-free polycrystalline  $\text{Ba}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{FeO}_{3-\delta}$  thin films as cathodes for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 250, 188–195. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.010>
  19. Fu, Y. P. (2010).  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}\text{O}_{3-\delta}$ - $\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_{1.9}$  as a potential cathode for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (16), 8663–8669. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.05.109>
  20. Ding, X., Kong, X., Wu, H., Zhu, Y., Tang, J., and Zhong, Y. (2012).  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_2\text{O}_{5+\delta}$  and  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CuFeO}_{5+\delta}$  layered perovskite oxides as cathodes for IT-SOFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (3), 2546–2551. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.10.080>
  21. Subardi, A., Chen, C. C., Cheng, M. H., Chang, W. K., Fu, Y. P. (2016). Electrical, thermal and electrochemical properties of  $\text{SmBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 204, 118–127. doi: <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.04.069>
  22. Subardi, A., Liao, K. Y., Fu, Y. P. (2019). Oxygen transport, thermal and electrochemical properties of  $\text{NdBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode for SOFCs. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 39(1), 30–40. doi: [10.1016/j.jeurceramsoc.2018.01.022](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.01.022)
  23. Subardi, A., Susanto, I., Kartikasari, R., Tugino, T., Kuntara, H., Wijaya, A. E. et. al. (2021). An analysis of  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  double perovskite oxide for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 6–14. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226342>
  24. Susanto, I., Kamal, D. M., Ruswanto, S., Subarkah, R., Zainuri, F., Permana, S. et. al. (2020). Development of cobalt-free oxide ( $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ ) cathode for intermediate-temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (108)), 15–20. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217282>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239065

**THE EFFECT OF METAL WOOL ON THE CHARGING AND DISCHARGING RATE OF THE PHASE TRANSITION THERMAL STORAGE MATERIAL (p. 12–20)**

**Olga Khliyeva**

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-4989>

**Vitaly Zhelezny**

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0987-1561>

**Aleksey Paskal**

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6569-6115>

**Yana Hlek**

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7508-6350>

**Dmytro Ivchenko**

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4710-3827>

Thermal energy storage (TES) plays an important role in solar heat power systems. The use of phase change materials (PCM) and selecting additives to increase the rate of heat accumulation is a promising way to increase the efficiency and reliability of such systems.

The objects of the study were pure paraffin wax (PW) and composite PCMs based on it (containing aluminum and copper wool of 30 and 45  $\mu\text{m}$  in diameter, respectively).

An experimental setup with a cylindrical measuring cell was created, which was also considered as a model of a capsule with a thermal storage material. The rate of temperature change in the pure PW sample and samples of composite PCMs was experimentally measured. Two modes of heating and cooling were investigated: from 48 to 59  $^{\circ}\text{C}$  (mode with a phase change) and from 30 to 40  $^{\circ}\text{C}$  (mode without phase changes).

Heating time from 48 to 59  $^{\circ}\text{C}$  for the PW sample was 13 min., for the PW samples with the content of aluminum wool of 0.00588 and 0.01780  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$  – 11 and 10.5 min., for the PW samples with the content of copper wool of 0.00524 and 0.01380  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$  – 11 and 8 min., correspondingly. The minimum heating time from 30 to 40  $^{\circ}\text{C}$  was 6 min. for the sample of PW with 0.01380  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$  of copper wool in comparison with 9 min. for the sample of pure PW.

The expediency of using copper wool as an additive to thermal storage materials of PW to increase the charging and discharging rate of TES devices without significantly raising their price was confirmed. The presence of metal wool in molten PW suppresses bottom-up convective currents, so the main mechanism of heat transfer is thermal conductivity. This fact will contribute to a faster equalization of the temperature field by the height of heat storage capsules.

**Keywords:** phase change material for thermal energy storage, paraffin wax, metal wool, heating and cooling rate, thermal conductivity.

**References**

1. Javadi, F. S., Metselaar, H. S. C., Ganesan, P. (2020). Performance improvement of solar thermal systems integrated with phase change materials (PCM), a review. *Solar Energy*, 206, 330–352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.106>
2. Kahwaji, S., Johnson, M. B., Kheirabadi, A. C., Groulx, D., White, M. A. (2018). A comprehensive study of properties of paraffin phase change materials for solar thermal energy storage and thermal management applications. *Energy*, 162, 1169–1182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.068>
3. Gasia, J., Maldonado, J. M., Galati, F., De Simone, M., Cabeza, L. F. (2019). Experimental evaluation of the use of fins and metal wool as heat transfer enhancement techniques in a latent heat thermal energy storage system. *Energy Conversion and Management*, 184, 530–538. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.085>
4. Nie, C., Deng, S., Liu, J. (2020). Effects of fins arrangement and parameters on the consecutive melting and solidification of PCM in a latent heat storage unit. *Journal of Energy Storage*, 29, 101319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101319>
5. Rostami, S., Afrand, M., Shahsavari, A., Sheikholeslami, M., Kalbasi, R., Aghakhani, S. et. al. (2020). A review of melting and freezing processes of PCM/nano-PCM and their application in energy storage. *Energy*, 211, 118698. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118698>
6. Manoj Kumar, P., Sudarvizhi, D., Stalin, P. M. J., Aarif, A., Abhinandhana, R., Renuprasanth, A. et. al. (2021). Thermal characteristics

- analysis of a phase change material under the influence of nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, 45, 7876–7880. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.505>
- Karaipekli, A., Biçer, A., Sari, A., Tyagi, V. V. (2017). Thermal characteristics of expanded perlite/paraffin composite phase change material with enhanced thermal conductivity using carbon nanotubes. *Energy Conversion and Management*, 134, 373–381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.053>
  - Li, M., Mu, B. (2019). Effect of different dimensional carbon materials on the properties and application of phase change materials: A review. *Applied Energy*, 242, 695–715. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.085>
  - Atinafu, D. G., Yun, B. Y., Wi, S., Kang, Y., Kim, S. (2021). A comparative analysis of biochar, activated carbon, expanded graphite, and multi-walled carbon nanotubes with respect to PCM loading and energy-storage capacities. *Environmental Research*, 195, 110853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110853>
  - Grosu, Y., Zhao, Y., Giacomello, A., Meloni, S., Dauvergne, J.-L., Nikulin, A. et. al. (2020). Hierarchical macro-nanoporous metals for leakage-free high-thermal conductivity shape-stabilized phase change materials. *Applied Energy*, 269, 115088. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115088>
  - Prieto, C., Lopez-Roman, A., Martínez, N., Morera, J. M., Cabeza, L. F. (2021). Improvement of Phase Change Materials (PCM) Used for Solar Process Heat Applications. *Molecules*, 26 (5), 1260. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26051260>
  - Pan, M., Lai, W. (2017). Cutting copper fiber/paraffin composite phase change material discharging experimental study based on heat dissipation capability of Li-ion battery. *Renewable Energy*, 114, 408–422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.004>
  - Zhelezny, V., Motovoy, I., Khliyeva, O., Lukianov, N. (2019). An influence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on the caloric properties and parameters of the phase transition of isopropyl alcohol in solid phase. *Thermochemica Acta*, 671, 170–180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.11.020>
  - Zhelezny, V., Khliyeva, O., Motovoy, I., Lukianov, N. (2019). An experimental investigation and modelling of the thermal and caloric properties of nanofluids isopropyl alcohol - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Thermochemica Acta*, 678, 178296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2019.05.011>
  - Khliyeva, O. Ya., Nikulin, A. G., Zhelezny, V. P., Paskal, A. A., Semenyuk, Yu. V. (2021). Thermal conductivity of metal wool armored phase change materials for thermal energy storage. *Int. conf.: Functional materials for innovative energy*. Kyiv, 8.
  - Punniakodi, B. M. S., Senthil, R. (2021). A review on container geometry and orientations of phase change materials for solar thermal systems. *Journal of Energy Storage*, 36, 102452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102452>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.236915**  
**ESTABLISHING PATTERNS IN THE EFFECT OF**  
**TEMPERATURE REGIME WHEN MANUFACTURING**  
**NANOCOMPOSITES ON THEIR HEAT-CONDUCTING**  
**PROPERTIES (p. 21–26)**

**Nataliia Fialko**

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

**Roman Dinzhos**

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv, Mykolaiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1105-2642>

**Julii Sherenkovskii**

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9883-4913>

**Nataliia Meranova**

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7223-8753>

**Raisa Navrodska**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7476-2962>

**Diana Izvorska**

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8061-9150>

**Volodymyr Korzhyk**

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9106-8593>

**Maxim Lazarenko**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0719-3522>

**Neli Koseva**

Institute of Polymers at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8445-8953>

This paper reports the experimental study carried out to establish the dependence of the thermal conductivity of polypropylene-based nanocomposites filled with carbon nanotubes on the main parameter of the temperature regime of their manufacturing – the level of overheating a polymer melt relative to its melting point. The study has been conducted for nanocomposites that were manufactured by applying a method based on the mixing of components in the polymer melt applying a special disk extruder. During the composite manufacturing process, the level of melt overheating varied from 10 to 75 K, with the mass share of filler ranging from 0.3 to 10.0 %.

It is shown that increasing the overheating of a polymer melt causes an increase in the thermal conductivity of the composites. However, when the overheating has reached a certain value, its further growth does not increase the thermal conductivity of nanocomposites. Based on the established pattern, the rational level of this overheating has been determined. That resolves the tasks of manufacturing highly heat-conducting nanocomposites and implementing appropriate energy-saving technology. Data have been acquired on the effects of the impact of the amount of polymer melt overheating on the values of the first and second percolation thresholds for the examined nanocomposites. It is established that the value of the first percolation threshold is more sensitive to the specified amount of overheating.

The dependences of the density of the examined composites on the level of polymer melt overheating have been derived. The correlation between a given dependence and the nature of a corresponding change in the thermal conductivity of the composites has been established.

Applying the proposed highly heat-conducting nanocomposites is promising for micro and nanoelectronics, energy, etc.

**Keywords:** polymeric nanocomposites, carbon nanotubes, nanocomposite thermal conductivity, percolation thresholds, nanocomposite density.

## References

- Datsyuk, V., Trotsenko, S., Trakakis, G., Boden, A., Vyzas-Asimakopoulos, K., Parthenios, J. et. al. (2020). Thermal properties enhancement of epoxy resins by incorporating polybenzimidazole nanofibers filled with graphene and carbon nanotubes as reinforcing material. *Polymer Testing*, 82, 106317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2019.106317>

2. Wang, R., Xie, C., Luo, S., Xu, H., Gou, B., Zeng, L. (2020). Preparation and properties of MWCNTs-BNNSs/epoxy composites with high thermal conductivity and low dielectric loss. *Materials Today Communications*, 24, 100985. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.100985>
3. Namsheer, K., Rout, C. S. (2021). Conducting polymers: a comprehensive review on recent advances in synthesis, properties and applications. *RSC Advances*, 11 (10), 5659–5697. doi: <https://doi.org/10.1039/d0ra07800j>
4. Xu, X., Chen, J., Zhou, J., Li, B. (2018). Thermal Conductivity of Polymers and Their Nanocomposites. *Advanced Materials*, 30 (17), 1705544. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201705544>
5. Mohammad Nejad, S., Srivastava, R., Bellussi, F. M., Chávez Thielemann, H., Asinari, P., Fasano, M. (2021). Nanoscale thermal properties of carbon nanotubes/epoxy composites by atomistic simulations. *International Journal of Thermal Sciences*, 159, 106588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106588>
6. Fialko, N. M., Dinzhos, R. V., Sherenkovskiy, Y. V., Meranova, N. O., Navrodskaia, R. A. (2017). Heat conductivity of polymeric micro- and nanocomposites based on polyethylene at various methods of their preparation. *Industrial Heat Engineering*, 39 (4), 21–26. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>
7. Anis, B., Fllah, H. E., Ismail, T., Fathallah, W. M., Khalil, A. S. G., Hemed, O. M., Badr, Y. A. (2020). Preparation, characterization, and thermal conductivity of polyvinyl-formaldehyde/MWCNTs foam: A low cost heat sink substrate. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 2934–2945. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.044>
8. Zhang, Y., Choi, J. R., Park, S.-J. (2017). Thermal conductivity and thermo-physical properties of nanodiamond-attached exfoliated hexagonal boron nitride/epoxy nanocomposites for microelectronics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 101, 227–236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.06.019>
9. Uyor, U., Popoola, A., Popoola, O., Aigbodion, V. (2019). Effects of titania on tribological and thermal properties of polymer/graphene nanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 33 (8), 1030–1047. doi: <https://doi.org/10.1177/0892705718817337>
10. Yang, L., Zhang, L., Li, C. (2020). Bridging boron nitride nanosheets with oriented carbon nanotubes by electrospinning for the fabrication of thermal conductivity enhanced flexible nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 200, 108429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108429>
11. Dinzhos, R., Fialko, N., Prokopov, V., Sherenkovskiy, Y., Meranova, N., Koseva, N. et. al. (2020). Identifying the influence of the polymer matrix type on the structure formation of microcomposites when they are filled with copper particles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (107)), 49–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214810>

**DOI 10.15587/1729-4061.2021.237529**

**DESIGNING A BENCH FOR TESTING MEDICALLY AND TECHNICALLY AN INFORMATION AND MEASURING SYSTEM FOR MULTI-FREQUENCY ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY OF HUMAN LUNGS (p. 27–40)**

**Grayr Aleksanyan**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
Novocherkassk, Russian Federation

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9611-6275>

This paper solves the problem of developing and creating multifunctional tools for conducting research into systems of multi-frequency electrical impedance tomography of human lungs. A test bench consisting of modern medical equipment, simulating pre- and postoperative environments to create conditions that are most simi-

lar to clinical ones, under which it is planned to operate multi-frequency electrical impedance tomography systems, was proposed and manufactured. This makes it possible to reduce significantly the time for approbation, testing, and elimination of practical inaccuracies and problems of clinical application of the developed medical and technical facilities. A positive result is achieved due to the possibility of forming new test plans with specified conditions and different levels of complexity. This enables enhancing the effectiveness of subsequent clinical tests on patients who are treated in a resuscitation unit or an intensive care unit. The operability of the bench is proved by the repeatability of obtained results of monitoring ventilation and perfusion for each examined person, the continuity of dynamic visualization of the breathing process, as well as a high degree of correlation of obtained values of differences of potentials with the readings of a bedside monitor of a patient. An information and measuring system of multi-frequency electric impedance tomography of human lungs, developed by the author earlier, was used as the EIT device. The EIT tests were performed for the frequency range of 50 kHz – 400 kHz at a current of 5 mA. All experimental studies involved volunteers who gave written information consent to participate in the tests. The results of the research show that the proposed bench can be used in practice to solve a wide range of scientific and applied problems in the field of electrical impedance tomography.

**Keywords:** electrical impedance tomography, lungs, perfusion, information and measuring system, bench, visualization, conductivity.

**References**

1. Gorbatenko, N. I., Katsupeev, A. A., Aleksanyan, G. K., Shcherbakov, I. D., Kucher, A. I. (2020). Integration principles of the electrical impedance tomography module with a lung ventilator. *Journal of Physics: Conference Series*, 1679, 032080. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1679/3/032080>
2. Leonhardt, S., Lachmann, B. (2012). Electrical impedance tomography: the holy grail of ventilation and perfusion monitoring? *Intensive Care Medicine*, 38 (12), 1917–1929. doi: <http://doi.org/10.1007/s00134-012-2684-z>
3. Zhao, Z., Fu, F., Frerichs, I. (2020). Thoracic electrical impedance tomography in Chinese hospitals: a review of clinical research and daily applications. *Physiological Measurement*, 41 (4), 04TR01. doi: <http://doi.org/10.1088/1361-6579/ab81df>
4. Becher, T., Buchholz, V., Hassel, D., Meinel, T., Schädler, D., Frerichs, I., Weiler, N. (2021). Individualization of PEEP and tidal volume in ARDS patients with electrical impedance tomography: a pilot feasibility study. *Annals of Intensive Care*, 11 (1). doi: <http://doi.org/10.1186/s13613-021-00877-7>
5. Spinelli, E., Kircher, M., Stender, B., Ottaviani, I., Basile, M. C., Marongiu, I. et. al. (2021). Unmatched ventilation and perfusion measured by electrical impedance tomography predicts the outcome of ARDS. *Critical Care*, 25 (1). doi: <http://doi.org/10.1186/s13054-021-03615-4>
6. Wolf, G. K., Gómez-Laberge, C., Rettig, J. S., Vargas, S. O., Smallwood, C. D., Prabhu, S. P. et. al. (2013). Mechanical Ventilation Guided by Electrical Impedance Tomography in Experimental Acute Lung Injury\*. *Critical Care Medicine*, 41 (5), 1296–1304. doi: <http://doi.org/10.1097/ccm.0b013e3182771516>
7. Rosemeier, I., Reiter, K., Obermeier, V., Wolf, G. K. (2019). Mechanical Ventilation Guided by Electrical Impedance Tomography in Children With Acute Lung Injury. *Critical Care Explorations*, 1 (7), e0020. doi: <http://doi.org/10.1097/ccx.000000000000020>
8. Muders, T., Luepschen, H., Zinserling, J., Greschus, S., Fimmers, R., Guenther, U. et. al. (2012). Tidal recruitment assessed by electrical impedance tomography and computed tomography in a porcine model of lung injury\*. *Critical Care Medicine*, 40 (3), 903–911. doi: <http://doi.org/10.1097/ccm.0b013e318236f452>
9. Nestler, C., Simon, P., Petroff, D., Hammermüller, S., Kamrath, D., Wolf, S. et. al. (2017). Individualized positive end-expiratory pres-

sure in obese patients during general anaesthesia: a randomized controlled clinical trial using electrical impedance tomography. *British Journal of Anaesthesia*, 119 (6), 1194–1205. doi: <http://doi.org/10.1093/bja/aex192>

10. Mauri, T., Eronia, N., Turrini, C., Battistini, M., Grasselli, G., Rona, R. et. al. (2016). Bedside assessment of the effects of positive end-expiratory pressure on lung inflation and recruitment by the helium dilution technique and electrical impedance tomography. *Intensive Care Medicine*, 42 (10), 1576–1587. doi: <http://doi.org/10.1007/s00134-016-4467-4>
11. Kim, M., Bae, J., Yoo, H.-J. (2017). Wearable 3D lung ventilation monitoring system with multi frequency electrical impedance tomography. 2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS). doi: <http://doi.org/10.1109/biocas.2017.8325163>
12. Aguiar Santos, S., Czaplik, M., Orschulik, J., Hochhausen, N., Leonhardt, S. (2018). Lung pathologies analyzed with multi-frequency electrical impedance tomography: Pilot animal study. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 254, 1–9. doi: <http://doi.org/10.1016/j.resp.2018.03.016>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231733**  
**DESIGN OF A DIRECT CURRENT MOTOR**  
**WITH A WINDINGLESS ROTOR FOR ELECTRIC**  
**VEHICLES (p. 41–50)**

**Dmytro Ivliev**

Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9938-9321>

**Volodymyr Kosenkov**

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7463-3028>

**Oleksandr Vynakov**

Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6630-8986>

**Elvira Savolova**

Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9266-9323>

**Viktoria Yarmolovych**

Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0708-2972>

Modern electric vehicles typically exploit synchronous motors with magnetoelectric excitation as traction engines. While possessing a series of undeniable advantages, the synchronous motor has one significant drawback – the high cost predetermined by the high price of permanent magnets. In addition, the impossibility to disable a magnetic field in case of engine malfunction can lead to an emergency on the road. Given this, there is a need to design new structures of electrical machines with electromagnetic excitation.

The structure of a DC traction motor with electromagnetic excitation involving the rotor or stator segmentation makes it possible to considerably weaken the field of the armature transverse reaction by decreasing magnetic conductivity of the magnetic circuit in the transverse direction. Therefore, such a structure lacks commutating poles and a compensation winding. There are no permanent magnets in the structure, all windings are stationary, an electronic switch is used instead of a collector, and a windingless low-inertia rotor does not require additional measures to remove heat. That all has made it possible to significantly reduce the cost of active materials for the traction engine and improve its reliability.

To test the performance of the new design, a full-size model of the engine and a working experimental prototype were fabricated. Ap-

plying a synchronous jet engine with magnetization for the BMW i3 electric car as an analog, the engine calculations were performed and its simulation was carried out. The results of the analysis show that the mass of the new engine is 35 % greater than the mass of the analog but the cost of active materials is less than that of the analog by 63 %. The results testify to the possibility of implementing a given structure industrially.

**Keywords:** DC motor, armature transverse reaction, number of pole pairs, switch.

### References

1. De Santiago, J., Bernhoff, H., Ekegård, B., Eriksson, S., Ferhatovic, S., Waters, R., Leijon, M. (2012). Electrical Motor Drivelines in Commercial All-Electric Vehicles: A Review. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61 (2), 475–484. doi: <https://doi.org/10.1109/tvt.2011.2177873>
2. Sarlioglu, B., Morris, C. T., Han, D., Li, S. (2015). Benchmarking of electric and hybrid vehicle electric machines, power electronics, and batteries. 2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION). doi: <https://doi.org/10.1109/optim.2015.7426993>
3. Staton, D., Goss, J. (2017). Open Source Electric Motor Models for Commercial EV & Hybrid Traction Motors. MDL. Available at: <https://docplayer.net/64747945-Open-source-electric-motor-models-for-commercial-ev-hybrid-traction-motors-dr-david-staton-dr-james-goss.html>
4. Merwerth, J. (2014). The hybrid-synchronous machine of the new BMW i3 & i8. Available at: [http://hybridfordonscentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404\\_BMW.pdf](http://hybridfordonscentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404_BMW.pdf)
5. Specifications of the BMW iX3, valid from 07/2020 (2020). Available at: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0314265EN/specifications-of-the-bmw-ix3-valid-from-07-2020?language=en>
6. Bentley motors looks to the future of electric drive (2020). Bentley Motors. Available at: <https://www.bentleymedia.com/en/newsitem/1128-bentley-motors-looks-to-the-future-of-electric-drive#images>
7. Burress, T. (2015). Non-Rare Earth Motor Development. ORNL. Available at: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f24/edt062\\_burress\\_2015\\_o.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f24/edt062_burress_2015_o.pdf)
8. Dorrell, D. G., Knight, A. M., Popescu, M., Evans, L., Staton, D. A. (2010). Comparison of different motor design drives for hybrid electric vehicles. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. doi: <https://doi.org/10.1109/ecce.2010.5618318>
9. Rare Earth Elements: Market Issues and Outlook (2019). Adamas Intelligence. Available at: <https://www.adamasintel.com/rare-earth-market-issues-and-outlook/>
10. Rare Earth Alternatives in Critical Technologies (2011). Advanced Research Projects Agency – Energy. Available at: <https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs/react>
11. EuRare Project (2017). NERC. Available at: <http://eurare.org/>
12. Development of Magnetic Materials for High-Efficiency Motors (2014). NEDO. Available at: [https://www.nedo.go.jp/english/activities/activities\\_ZZJP\\_100078.html](https://www.nedo.go.jp/english/activities/activities_ZZJP_100078.html)
13. Miljavec, D. (2021). D3.2: Report on considered electrical motor technologies, evaluation matrix, concept decision. Available at: [http://drivemode-h2020.eu/wp-content/uploads/2021/02/DRIVEMODE\\_D3.2\\_Report-on-electrical-motor-technologies\\_v1.0.pdf](http://drivemode-h2020.eu/wp-content/uploads/2021/02/DRIVEMODE_D3.2_Report-on-electrical-motor-technologies_v1.0.pdf)
14. Finken, T., Hameyer, K. (2009). Design and optimization of an IPMSM with fixed outer dimensions for application in HEVs. 2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/iemdc.2009.5075438>

15. Le nouveau moteur électrique renforce l'excellence mécanique de Cléon. (2015). Auto-innovations. Available at: <https://www.auto-innovations.com/communiqué/417.html>
16. The first-ever BMW iX3 (2020). Available at: <https://www.press.bmwgroup.com/latin-america-caribbean/article/detail/T0311128EN/the-first-ever-bmw-ix3?language=en>
17. FY 2016 Annual Progress Report for Electric Drive Technologies Program (2017). Energy. Available at: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/08/f36/FY16%20EDT%20Annual%20Report\\_FINAL.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/08/f36/FY16%20EDT%20Annual%20Report_FINAL.pdf)
18. Bulgar, V. V., Yakovlev, A. V., Ivlev, D. A., Ivlev, A. D. (2013). Nizkoskorostnye elektricheskie mashiny postoyannogo toka induktornogo tipa. Odessa: «Bahva», 307.
19. Kosenkov, V. D., Ivliev, D. A., Yakovlev, O. V., Zheliba, T. A. (2015). The analysis of stationary thermal field in the direct-current motor inductor type. *Visnyk Khmelnytskoho Natsionalnoho Universytetu*, 5 (229), 93–97.
20. Ivliev, D. (2019). Nyzkoshvydkisnyi henerator postiyonoho strumu z bezobmotkovym rotorom dlia vitroenerhetychnoi ustanovky. Odessa, 21.
21. Ismagilov, F., Hayrullin, I., Vavilov, V. (2017). Vysokooborotnye elektricheskie mashiny s vysokokoertsitivnymi postoyannymi magnitami. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 248.
22. Burrell, T. (2017). Electrical Performance, Reliability Analysis, and Characterization. ORNL. Available at: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/06/f34/edt087\\_burrell\\_2017\\_o.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/06/f34/edt087_burrell_2017_o.pdf)
23. Gai, Y., Kimiabeigi, M., Chuan Chong, Y., Widmer, J. D., Deng, X., Popescu, M. et. al. (2019). Cooling of Automotive Traction Motors: Schemes, Examples, and Computation Methods. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66 (3), 1681–1692. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2018.2835397>
24. Ometto, A., Parasiliti, F., Villani, M. (2015). Permanent Magnet-assisted Synchronous Reluctance Motors for Electric Vehicle applications. 9th International Conference «Energy Efficiency in Motor Driven Systems» EEMODS'15. Available at: [https://autodocbox.com/Electric\\_Vehicle/70901524-University-of-l-aquila-permanent-magnet-assisted-synchronous-reluctance-motors-for-electric-vehicle-applications.html](https://autodocbox.com/Electric_Vehicle/70901524-University-of-l-aquila-permanent-magnet-assisted-synchronous-reluctance-motors-for-electric-vehicle-applications.html)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237312**  
**COMPARING THE PHYSICAL PRINCIPLES OF ACTION OF SUSPENSION DAMPING DEVICES BASED ON THEIR INFLUENCE ON THE MOBILITY OF WHEELED VEHICLES (p. 51–60)**

**Vladislav Dushchenko**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6308-7068>

**Serhii Vorontsov**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1273-7742>

**Vyacheslav Masliyev**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4575-7077>

**Oleg Agapov**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0652-2593>

**Roman Nanivskiy**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6504-1178>

**Yurii Cherevko**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7468-8213>

**Anton Masliiev**

Department of Social Protection of the Population of the  
 Novobavarsky District Administration, Kharkiv City Council,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1120-0660>

This paper reports the comparison of two physical principles of action of suspension damping devices based on their influence on the mobility indicators for an 8×8 wheeled machine. A radical difference between these principles of action is the dependence of resistance forces on the speed of the relative movement of working bodies (internal friction: hydraulic shock absorbers) or on the relative movement of working bodies (external friction: friction shock absorbers).

Widespread hydraulic shock absorbers have certain disadvantages that do not make it possible to further increase the mobility of wheeled or tracked vehicles without the use of control and recuperation systems. In turn, in friction shock absorbers, the use of new materials has eliminated many of their shortcomings and thus can provide significant advantages.

It was established that the application of friction shock absorbers for a given wheeled vehicle did not significantly affect the speed compared to hydraulic ones. The main factor that prevented the implementation of the advantages of friction shock absorbers was the insufficient suspension travel. However, friction shock absorbers absorbed 1.76...2.3 times less power, which reduced the load on nodes and increased efficiency (autonomy). In addition, a more uniform load on suspensions was ensured, which improved their resource, and, due to the prevailing vertical oscillations of the suspended body over the longitudinal-angular ones, the geometric passability improved as well.

The comparison of two physical principles of action of damper suspension devices in a wheeled vehicle has shown that the use of friction shock absorbers could provide significant advantages in resolving the task relates to improving the mobility and would fundamentally affect the choice of the suspension energy recuperation system if it is applied.

**Keywords:** wheeled vehicle, mobility, suspension, damping devices, friction shock absorbers, recuperation system.

#### References

1. Kabinet Ministriv Ukrainy. Rozporiadzhennia No. 398-r vid 14 chervnia 2017 roku. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/npas/250071205>
2. Shustrye i neulovimye. Pentagon pridumal asimmetrichnyy otvet rossiyskim tankam. Available at: <https://www.dsnews.ua/future/shustrye-i-neulovimye-pentagon-pridumal-asimmetrichnyy-04072018220000>
3. Derbaremdiker, A. D. (1985). Amortizatory transportnyh mashin. Moscow: Mashinostroenie, 200.
4. Dushchenko, V. V. (2018). Systemy pidresoriuvannia viyskovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn: rozrakhunok ta syntez. Kharkiv: NTU «KhPY», 336.
5. Obzorov, V. S. (1984). Razvitie sistem podressorivaniya tankov. Zarubezhnaya voennaya tekhnika. Bronetankovaya tekhnika i vooruzhenie. *Obzory*, 2, 54–62.
6. Obzorov, V. S., Yurchenko, P. I., Nikitin, A. P., Shuyskiy, Yu. A. (1984). Zapadnogermanskiy tank «Leopard-2». Zarubezhnaya voennaya tekhnika. Bronetankovaya tekhnika i vooruzhenie. *Obzory*, 14, 14–36.
7. Ryabov, I. V., Novikov, V. V., Pozdeev, A. V. (2016). Efficiency of Shock Absorber in Vehicle Suspension. *Procedia Engineering*, 150, 354–362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.721>
8. Coelho, H. T., Santos, M. B., Lepore Neto, F. P., Mahfoud, J. (2014). Control strategies for friction dampers: numerical assessment and ex-

- perimental investigations. *MATEC Web of Conferences*, 16, 07007. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20141607007>
9. Krason, W., Hryciow, Z., Wysocki, J. (2019). Numerical studies on influence of friction coefficient in multi-leaf spring on suspension basic characteristics. *AIP Conference Proceedings*, 2078, 020049. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5092052>
  10. Zhou, Z., Guo, W., Shen, T., Wang, F., Ju, J., Wang, H., Song, E. (2012). Research and Application on Dynamic Stiffness of Leaf Spring. *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*, 105–119. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33795-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33795-6_10)
  11. Dushchenko, V., Vorontsov, S., Naniivsky, R. (2020). Investigation of energy losses in hydraulic shock absorbers of the BTR-4 armored personnel carrier suspension and assessment of the feasibility of using its recovery system. *Military Technical Collection*, 23, 40–49. doi: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.40-49>
  12. Lv, X., Ji, Y., Zhao, H., Zhang, J., Zhang, G., Zhang, L. (2020). Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System. *Energies*, 13 (2), 441. doi: <https://doi.org/10.3390/en13020441>
  13. Zheng, P., Wang, R., Gao, J. (2019). A Comprehensive Review on Regenerative Shock Absorber Systems. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 8 (1), 225–246. doi: <https://doi.org/10.1007/s42417-019-00101-8>
  14. Nikonov V. O., Posmetev, V. I. (2018). State of the problem and analysis of constructions of energy recovery systems in suspension of wheel machines. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskij vestnik*, 2 (2 (24)), 20–39.
  15. Posmetyev, V. I., Drapalyuk, M. V., Zelikov, V. A. (2012). Estimation of efficiency of application of system recovery of energy in car suspender. *Scientific Journal of KubSAU*, 76 (02), 476–490. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/41.pdf>
  16. Dushchenko, V. V., Masliev, V. G., Naniivskyi, R. A., Masliev, A. O. (2019). Application of magnetorheological elastomers for performance control of cushioning systems for wheeled vehicles. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 5, 50–59. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2019.5.09>
  17. Liubarskyi, B., Lukashova, N., Petrenko, O., Pavlenko, T., Iakunin, D., Yatsko, S., Vashchenko, Y. (2019). Devising a procedure to choose optimal parameters for the electromechanical shock absorber for a subway car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (100)), 16–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176304>
  18. Liubarskyi, B., Lukashova, N., Petrenko, O., Yeritsyan, B., Kovalchuk, Y., Overianova, L. (2019). Procedure for modeling dynamic processes of the electromechanical shock absorber in a subway car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (101)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181117>
  19. Aleksandrov, E. E., Volontsevich, D. O., Dushchenko, V. V., Epifanov, V. V., Kohanovskiy, N. V. (2012). Matematicheskoe modelirovanie protsessov vozmuschnennogo dvizheniya agregatov i sistem bronetankovoy tekhniki. *Kharkiv: NTU «KhPI»*, 356.
  20. Gerr, Yu. B., Solov'ev, V. M., Shpak, F. P. (1974). Ob integral'nom statisticheskom pokazatele vozdeystviya mikroprofilya na transportnye mashiny. *Vestnik bronetankovoy tekhniki*, 5, 9–13.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239162****ПОБУДОВА ТВЕРДООКСИДНОЇ СТРУКТУРИ НА КОМПОЗИТНОМУ КАТОДІ ДЛЯ СТ-ТОПЕ (с. 6–11)****Dianta Mustofa Kamal, Iwan Susanto, Rahmat Subarkah, Fuad Zainuri, Belyamin, Tia Rahmiati, Sulaksana Permana, Adi Subardi, Yen-Pei Fu**

Твердооксидну структуру безкобальтового композиту було використано в якості нового катодного матеріалу для СТ-ТОПЕ. Модельна система композиту була синтезована з використанням металевго оксидного матеріалу, отриманого методом твердої тільної реакції. Формування модельної системи  $\text{Sm}_{0,5}\text{Sr}_{0,25}\text{Ba}_{0,25}\text{FeO}_{3-\delta}$  (SSBF) здійснювали в процесі спікання. Втрату ваги і вміст кисню досліджували методом термогравіметричного аналізу (ТГ). При цьому, за допомогою рентгеноструктурного аналізу характеризували структуру композиту, властивості провідності випробовували за допомогою теплопровідності. Результати показали, що структура композиту SSBF демонструє однофазність перовськіту, що призводить до побудови структури. Розпад і випаровування складових елементів композиту відповідали втратам ваги в процесі побудови структури. Після прожарювання вміст кисню в модельній системі склав 2,98. Значення електропровідності досягло  $2 \text{ См см}^{-1}$  при  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  і збільшується до максимуму  $7,5 \text{ См см}^{-1}$  при  $710 \text{ }^\circ\text{C}$ . Металевий елемент грав роль провідника при низькій температурі, в той час як іонна структура діяла як підвищена температура. Таким чином, для створення провідних властивостей були комплексно використані змішані іонні та електричні провідники (ЗІЕП). Виходячи з результатів структури та провідності, композит SSBF має хороші шанси в якості альтернативного катодного матеріалу з однофазним перовськітом для майбутніх застосувань СТ-ТОПЕ.

**Ключові слова:** твердооксидні паливні елементи, безкобальтовий катодний композит, структура перовськіту, вміст кисню, провідність.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239065****ВПЛИВ ПРИСУТНОСТІ МЕТАЛЕВОГО ВОЛОКНА НА ШВИДКІСТЬ ЗАРЯДКИ ТА РОЗРЯДКИ ТЕРМОАКУМУЛЮВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ (с. 12–20)****О. Я. Хлісва, В. П. Желєзний, О. А. Паскаль, Я. О. Глек, Д. О. Івченко**

Акумуляція теплової енергії (АТЕ) відіграє важливу роль в системах сонячної теплоенергетики. Перспективним способом підвищення ефективності і надійності таких систем є використання матеріалів з фазовим переходом (МФП) і вибір добавок для збільшення швидкості акумуляції тепла.

Об'єктами дослідження служили чистий парафіновий віск (ПВ) і композитні МФП на його основі (містять алюмінієве і мідне волокно діаметром 30 і 45 мкм відповідно).

Була створена експериментальна установка з циліндричною вимірювальною коміркою, яка також розглядалася як модель капсули з термоакуюлюючим матеріалом. Експериментально виміряна швидкість зміни температури в зразку чистого ПВ і зразках композитних МФП. Були досліджені два режими нагріву і охолодження: від 48 до 59 °C (режим з фазовим переходом) і від 30 до 40 °C (режим без фазових переходів).

Час нагріву від 48 до 59 °C для зразка ПВ склав 13 хв., для зразків ПВ з вмістом алюмінієвого волокна 0,00588 і 0,01780  $\text{м}^3\cdot\text{м}^{-3}$  – 11 і 10,5 хв., для зразків ПВ з вмістом мідного волокна 0,00524 і 0,01380  $\text{м}^3\cdot\text{м}^{-3}$  – 11 і 8 хв. відповідно. Мінімальний час нагріву від 30 до 40 °C становив 6 хв. для зразка ПВ з 0,01380  $\text{м}^3\cdot\text{м}^{-3}$  мідного волокна в порівнянні з 9 хв. для зразка чистого ПВ.

Підтверджена доцільність використання мідного волокна в якості добавки до термоакуюлюючих матеріалів на основі ПВ для збільшення швидкості зарядки і розрядки пристроїв АТЕ без істотного підвищення їх вартості. Наявність металевго волокна в розплавленому ПВ пригнічує висхідні конвективні потоки, тому основним механізмом теплопередачі є теплопровідність. Це сприятиме швидшому вирівнюванню температурного поля по висоті теплоакуюлюючих капсул.

**Ключові слова:** матеріал з фазовим переходом для акумуляції теплової енергії, парафіновий віск, металеве волокно, швидкість нагріву та охолодження, теплопровідність.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.236915****ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ОДЕРЖАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ЇХНІ ТЕПЛОПРОВІДНІ ВЛАСТИВОСТІ (с. 21–26)****Н. М. Фіалко, Р. В. Дінжос, Ю. В. Шеренковський, Н. О. Меранова, Р. А. Навродская, Diana Izvorska, В. М. Коржик, М. М. Лазаренко, Neli Koseva**

Виконано експериментальні дослідження зі встановлення залежності теплопровідності нанокмполитів на основі поліпропілену, наповненого вуглецевими нанотрубками, від основного параметра температурного режиму їхнього отримання – рівня перегріву розплаву полімеру стосовно температури його плавлення. Дослідження проведено для нанокмполитів, отриманих з використанням методу, що базується на змішуванні компонентів в розплаві полімеру із застосуванням спеціального дискового екструдера. У процесі отримання композитів рівень перегріву розплаву змінювався від 10 до 75 К при варіюванні масової частки наповнювача від 0,3 до 10,0 %.

Показано, що збільшення перегріву розплаву полімеру зумовлює підвищення теплопровідності композитів. Однак після досягнення певної величини зазначеного перегріву його подальше зростання не забезпечує збільшення теплопровідності нанокмполитів. На основі встановленої закономірності визначено раціональний рівень даного перегріву. Останній відповідає завданням отримання



високотеплопровідних нанокompозитів і реалізації відповідної енергозберігаючої технології. Отримано дані щодо ефектів впливу величини перегріву розплаву полімеру на значення першого і другого перколяційних порогів для розглянутих нанокompозитів. Встановлено факт більшої чутливості значення першого перколяційного порога до величини зазначеного перегріву.

Визначено залежності щільності досліджуваних композитів від рівня перегріву розплаву полімеру. Встановлено наявність кореляції цієї залежності і характеру відповідної зміни теплопровідності композитів.

Використання пропонувані високотеплопровідних нанокompозитів є перспективним для мікро- і наноелектроніки, енергетики та ін.

**Ключові слова:** полімерні нанокompозити, вуглецеві нанотрубки, теплопровідність нанокompозитів, перколяційні пороги, щільність нанокompозитів.

**DOI 10.15587/1729-4061.2021.237529**

### **РОЗРОБКА ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТЕНДУ МЕДИКО-ТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БАГАТОЧАСТОТНОЇ ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ ЛЕГЕНІВ ЛЮДИНИ (с. 27–40)**

**Grayr Aleksanyan**

В роботі вирішується проблема з розробки та створення багатофункціонального інструментарію для проведення досліджень систем багаточастотної електроімпедансної томографії легенів людини. Запропоновано та виготовлено дослідний стенд, що складається з сучасної медичної техніки, що моделює перед- і післяопераційну обстановку для створення умов максимально схожих з клінічними, в яких планується експлуатація систем багаточастотної електроімпедансної томографії. Це дозволяє значно зменшити час на апробацію, тестування та усунення практичних неточностей та проблем клінічного застосування розроблених медико-технічних засобів. Позитивний результат досягається за рахунок можливості формування нових планів випробувань із заданими умовами та різними рівнями складності. Це дозволяє підвищити ефективність подальших клінічних досліджень на пацієнтах, які перебувають на лікуванні у відділенні реанімації або інтенсивної терапії. Працездатність стенду підтверджується повторюваністю одержуваних результатів моніторингу вентиляції та перфузії для кожного випробуваного, безперервністю динамічної візуалізації процесу дихання, а також високим ступенем кореляції отриманих значень різниць потенціалів з показаннями прикроватного монітора пацієнта. Як пристрій ЕІТ використана інформаційно-вимірювальна система багаточастотної електроімпедансної томографії легенів людини, що розроблена автором раніше. Випробування методом ЕІТ виконані для частотної діапазону 50–400 кГц при силі струму ПМ 5 мА. Всі експериментальні дослідження виконані на добровольцях, що дали письмову інформаційну згоду на участь у випробуваннях. Результати досліджень показують, що запропонований стенд може бути використаний на практиці для вирішення широкого спектру наукових і прикладних задач в області електроімпедансної томографії.

**Ключові слова:** електроімпедансна томографія, легкі, перфузія, інформаційно-вимірювальна система, стенд, візуалізація, провідність.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231733**

### **РОЗРОБКА ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З БЕЗОБМОТКОВИМ РОТОРОМ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ (с. 41–50)**

**Д. А. Івлєв, В. Д. Косенков, О. Ф. Винаков, Е. В. Савьолова, В. Я. Ярмолович**

Зазвичай у сучасних електромобілях у якості тягових електродвигунів використовують синхронні двигуни з магнітоелектричним збудженням. Маючи ряд переваг серед інших типів електричних машин, цей двигун має один істотний недолік – високу вартість, обумовлену високою ціною на постійні магніти. Крім цього, неможливість відключити магнітне поле при несправності двигуна може призвести до виникнення аварійної ситуації на дорозі. У зв'язку із цим виникає необхідність у розробці нових конструкцій електричних машин з електромагнітним збудженням.

Конструкція тягового двигуна постійного струму з електромагнітним збудженням за рахунок сегментації статора або ротора дозволяє суттєво послабити поле поперечної реакції якоря шляхом зниження магнітної провідності магнітопроводу в поперечному напрямку. Тому в даній конструкції немає необхідності в установці додаткових полюсів і компенсаційної обмотки. У конструкції відсутні постійні магніти, усі обмотки нерухомі, замість колектора використовується електронний комутатор, а безобмотковий малоінерційний ротор не потребує додаткових мір по відводу тепла. Усе це дозволило суттєво зменшити вартість активних матеріалів тягового двигуна й підвищити його надійність.

Для перевірки працездатності нової конструкції були створені повнорозмірний макет двигуна та робочий експериментальний зразок. Приймаючи в якості аналога синхронний реактивний двигун з підмагнічуванням для електромобіля BMW i3, були проведені розрахунки двигуна і його моделювання. Результати аналізу показують, що маса нового двигуна більше маси аналога на 35 %, але при цьому вартість активних матеріалів менше, ніж у аналога, на 63 %. Отримані результати дають підстави щодо можливості втілення даної конструкції у реальне промислове виробництво.

**Ключові слова:** двигун постійного струму, поперечна реакція якоря, число пар полюсів, комутатор.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237312**

### **ПОРІВНЯННЯ ФІЗИЧНИХ ПРИНЦИПІВ ДІЇ ДЕМПФІРУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ПІДВІСКИ ПО ЇХ ВПЛИВУ НА РУХЛИВІСТЬ КОЛІСНИХ МАШИН (с. 51–60)**

**В. В. Дущенко, С. М. Воронцов, В. Г. Маслів, О. М. Агапов, Р. А. Нанівський, Ю. М. Черевко, А. О. Маслів**

Проведено порівняння двох фізичних принципів дії демпфірувальних пристроїв підвіски по їх впливу на показники рухливості колісної машини формули 8×8. Докорінною відмінністю даних принципів дії є залежність сил опору від швидкості відносного пере-

міщення робочих органів (внутрішні тертя – гідравлічні амортизатори) або від відносного переміщення робочих органів (зовнішні тертя – фрикційні амортизатори).

Гідравлічні амортизатори, що набули широкого поширення, мають певні недоліки, які не дозволяють подальше підвищення рухливості колісних або гусеничних машин без застосування систем керування та рекуперації. У свою чергу, фрикційні амортизатори, завдяки застосуванню нових матеріалів, позбулися багатьох своїх недоліків та можуть забезпечити вагомі переваги.

Отримано, що для даної колісної машини застосування фрикційних амортизаторів, у порівнянні з гідравлічними, не суттєво вплинуло на швидкохідність. Головним чинником, що завадив реалізації переваг фрикційних амортизаторів став недостатній хід підвіски. Проте, фрикційні амортизатори поглинали у 1,76...2,3 рази меншу потужність, що зменшувало навантаженість вузлів та підвищувало економічність (автономність). Крім того, забезпечувалася більш рівномірна навантаженість підвісок, що збільшувало їх ресурс, а внаслідок превалювання вертикальних коливань підресореного корпусу над поздовжньо-кутовими, підвищувалася і геометрична прохідність.

Порівняння двох фізичних принципів дії демпфірувальних пристроїв підвіски колісної машини показало, що застосування фрикційних амортизаторів може забезпечити вагомі переваги при вирішенні задачі підвищення рухливості та принципово вплине на вибір системи рекуперації енергії підвіски у разі її застосування.

**Ключові слова:** колісна машина, рухливість, підвіска, демпфірувальні пристрої, фрикційні амортизатори, система рекуперації.