



Научная статья

2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

УДК 679.826:621.892

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.040

EDN: PIPQKX

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСЛЯНОЙ НАНОАЛМАЗНОЙ ПРИСАДКИ НА РАБОТУ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

Андрей Ефимович Буров ¹, Алексей Петрович Пузырь ²

¹ Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск, Россия, aeburov@ict.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4360-0335>

² Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Россия, apuzyr@mail.ru

Аннотация. Эксплуатационные характеристики машин и механизмов, имеющих узлы трения, напрямую зависят от используемых смазочных материалов, поэтому улучшение их трибологических свойств является актуальной задачей. Наноалмазы детонационного синтеза являются одним из перспективных материалов для присадок в смазочные композиции из-за уникальных механических, физических и химических свойств. В данной работе приводятся результаты длительных натурных испытаний двух одинаковых воздушных компрессоров поршневого типа максимальной мощностью 3.6 кВт и рабочим давлением до 10 бар с использованием смазочного масла, содержащего и не содержащего присадку на основе модифицированных наноалмазов детонационного синтеза. Исследования проводились при комнатной температуре на стенде, оборудованном устройствами для автоматического задания цикла нагружения и регистрации потребляемой электроэнергии, температуры масла и времени, необходимого для достижения заданного уровня давления. Компрессоры непрерывно функционировали при идентичном режиме циклической эксплуатации в течение 576 часов. Полученные результаты свидетельствуют, что добавление 0,01 мас.% модифицированных детонационных наноалмазов в смазочное масло ведет к улучшению эксплуатационных характеристик компрессора, уменьшая потребляемую мощность и время, необходимое для достижения заданного уровня давления, а также снижая рабочую температуру масла.

Ключевые слова: детонационные наноалмазы, присадка к маслам, поршневой компрессор, натурные испытания, эксплуатационные характеристики.

Благодарности: Авторы благодарны г. Чанг Ку Ри за возможность проведения экспериментов.

Для цитирования: Буров А. Е., Пузырь А. П. Исследование влияния масляной наноалмазной присадки на работу поршневого компрессора // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 281–284. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.040. EDN: <https://elibrary.ru/PIPQKX>.

Original article

STUDY OF INFLUENCE OF NANODIAMOND OIL ADDITIVE ON OPERATION OF A PISTON COMPRESSOR

Andrey E. Burov ¹, Alexey P. Puzyr ²

¹ Federal Research Centre for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, Russia, aeburov@ict.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4360-0335>

² Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, apuzyr@mail.ru

Abstract. The performance of machines and mechanisms with friction units directly depend on lubricants used, so improving their tribological properties is an important problem. Detonation nanodiamonds are a promising nanomaterial for lubricant additives due to their unique mechanical, physical, and chemical properties. This paper presents the results of long-term full-scale tests of two identical piston air-compressors with a maximum power of 3.6 kW and an operating pressure of up to 10 bar, using lubricating oil with and without an additive based on modified nanodiamonds. The compressors continuously operated under identical cyclic operation conditions for 576 hours. The studies were conducted at room temperature on a rig equipped with devices for automatically setting the loading cycle and recording the energy consumption, oil temperature, and the time required to reach the specified pressure level. The obtained results indicate that the addition of 0.01 wt% modified detonation nanodiamonds to the lubricating oil leads to an improvement in the performance characteristics of the compressor, reducing the power consumption and the time required to reach a given pressure level, as well as lowering the operating temperature of the oil.

Keywords: Detonation nanodiamonds, oil additive, piston type compressor, full-scale test, performance characteristics.

Acknowledgements: The authors are grateful to Mr. Chang Ku Rhee for the opportunity to conduct the experiments.

For citation: Burov, A. E., Puzyr, A. P. (2026). Study of influence of nanodiamond oil additive on operation of a piston compressor. Polzunovskiy vestnik, (2), 281–284. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.040. EDN: <https://elibrary.ru/PIPQKX>.

ВВЕДЕНИЕ

Трение и износ являются основными причинами энергетических потерь и отказов контактирующих

элементов узлов механических систем. Анализ, выполненный в работе [1], показывает, что внедрение новых смазочных материалов и технологий может

потенциально снизить затраты энергии, потребляемой на преодоление трения и износа, на 40 %.

Включение функциональных присадок в масла является одним из эффективных способов улучшения их трибологических характеристик. Как правило, такие присадки содержат фосфор (P), серу (S), хлор (Cl) и другие активные группы, которые адсорбируясь на поверхности трения или вступая в реакцию с металлической поверхностью, образуют пленки, обладающие противоизносными и антифрикционными свойствами. Однако присутствие соединений, включающих P, S и Cl будет вызывать коррозию деталей и загрязнение окружающей среды [2]. Существование этих проблем обуславливает проведение исследований по разработке экологически чистых присадок к смазочным композициям и изучение их влияния на работоспособность машин и механизмов.

Помимо других технических приложений, наноалмазы детонационного синтеза (НА) являются одним из перспективных наноматериалов для присадок для смазочных композиций из-за уникальных механических, физических и химических свойств, таких как высокая теплопроводность, удельная поверхность, химическая стабильность, легкая функционализация поверхности и нетоксичность [3–5]. Кроме того, за счет малого размера частицы НА лучше внедряются в неровности трущихся поверхностей, чем более крупные частицы пакета присадок. При условии их равномерного распределения в масле, большое количество частиц будет находиться в объеме даже при относительно невысоких концентрациях. Использование НА в качестве добавок показало улучшение антифрикционных, противозадирных и противоизносных свойств, а также более высокую несущую способность смазочных материалов, не снижая при этом их термоокислительную стабильность и сопротивление воздействию коррозии [6–11].

Было предложено несколько гипотез, объясняющих влияние НА на снижение износа и трения: формирование поверхностной защитной пленки с повышенной несущей и теплообменной способностью; внедрение наночастиц в поверхности трения, приводящее к их упрочнению; действие в качестве нанопошлинников качения между контактирующими поверхностями; ингибирование окисления смазочных материалов при высоких температурах; эффект полировки шероховатостей [6, 8]. Привлекательной особенностью смазочных композиций на основе наноалмазов является тот факт, что для обеспечения улучшенных трибологических свойств требуется относительно небольшое количество наночастиц (0,01–0,4 мас.%) [11, 12].

Улучшение трибологических характеристик масел в результате введения НА было продемонстрировано в стандартных лабораторных исследованиях при относительно небольшом времени тестирования и ограниченном числе регистрируемых параметром. Поэтому вопрос смазочной эффективности масел с НА в натурных экспериментах на реальных технических устройствах остается открытым [13]. Например, формирования устойчивого трибослоя на трущихся поверхностях, которое относят к одной из причин улучшения свойств смазочных материалов с НА, вряд ли возможно за короткий временной отрезок испытаний.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик воздушного поршневого компрессора при использовании масла, содержащего и не содержащего модифицированные наноалмазы.

МЕТОДЫ

В работе использовался порошок коммерческих наноалмазов детонационного синтеза (ООО «Реал-Дзержинск», Россия), модифицированный по технологии, которая подробно описана в работе [14], для получения материала, обладающего высокой коллоидной стабильностью и малым содержанием примесей. После процедуры модифицирования водную суспензию НА с помощью центрифугирования разделяли на несколько фракций различной дисперсности и затем высушивали. Для экспериментов применяли фракцию со средним размером частиц 70,0 нм и индексом полидисперсности 0,21, значения которых были определены методом динамического светорассеяния. Масляную суспензию (присадку) с содержанием 1 мас.% НА получали постепенным добавлением 0,45 г порошка к 50 мл масла. Однородному диспергированию НА способствовали обработкой ультразвуком с помощью аппарата серии «Волна» (U-Sonic, Россия). Затем присадку постепенно разбавляли коммерческим синтетическим маслом класса ISO VG 100 (базовое масло) до получения 0,01 мас. % НА. Ранее [12] было показано, что данная концентрация НА в моторных маслах является оптимальной с точки зрения их противоизносных свойств.

Для проведения натурных испытаний были приобретены от одного производителя два новых идентичных воздушных компрессора поршневого типа максимальной мощностью 3,6 кВт и рабочим давлением до 10 бар. Исследования проводились при комнатной температуре на стенде, оборудованном устройствами для автоматического задания цикла нагружения и регистрации потребляемой электроэнергии, температуры масла и времени, необходимого для достижения заданного уровня давления. Указанные параметры, которые являются эксплуатационными характеристиками и представляют собой интегральную совокупность различных свойств, в комплексе определяющих работоспособность и функциональность объекта. Поэтому их использование, по нашему мнению, дает более полное представление и количественные показатели для оценки эффективности присадок по сравнению с лабораторными исследованиями. Параметры фиксировались трижды в день, их средние значения приведены ниже.

Первоначально резервуары для смазки обоих машин были заполнены базовым маслом (200 мл), после чего для осуществления приработки компрессоры эксплуатировали в течение суток по циклу – 1 мин. работы при давлении 2,5 бар с последующим сбросом давления и 5 мин. охлаждением. После этапа приработки масло было удалено и заменено на свежее базовое масло в одном из компрессоров. В масляный бак другого компрессора было залито масло, содержащее НА. В дальнейшем машины эксплуатировались в следующем режиме: увеличение давление до 7 бар – выдержка 1 мин. – сброс давления и охлаждение в течение 5 мин. Суммарное время испытаний машин после смены масла составило 576 часов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Благодаря высокой поверхностной энергии частицы НА склонны к агломерации, образуя кластеры микронных размеров [3]. Плохие дисперсия и седиментационная устойчивость в смазочных средах являются основной проблемой, ограничивающей применение НА в качестве присадок и требующая использование различных стабилизирующих агентов [2,

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСЛЯНОЙ НАНОАЛМАЗНОЙ ПРИСАДКИ НА РАБОТУ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

9]. Проблема менее выражена в лабораторных исследованиях, поскольку трибологические тесты, как правило, являются непрерывными и непродолжительными, но может иметь первостепенное значение в реальных условиях эксплуатации узлов трения.

Модификация позволяет вводить в масла НА в количестве до 8–10 масс.% без применения дополнительных мер стабилизации. Для проверки седиментационной стабильности частиц образцы полученной масляной суспензии модифицированных НА выдерживали более трех месяцев перед испытанием. В течение всего срока хранения не отмечалось образование осадка частиц, которое сопровождается «просветлением» суспензии в верхних слоях (рисунок 1, а), как это хорошо проявляется для суспензии, содержащей немодифицированные НА, при значительно меньшем времени хранения (рисунок 1, б).

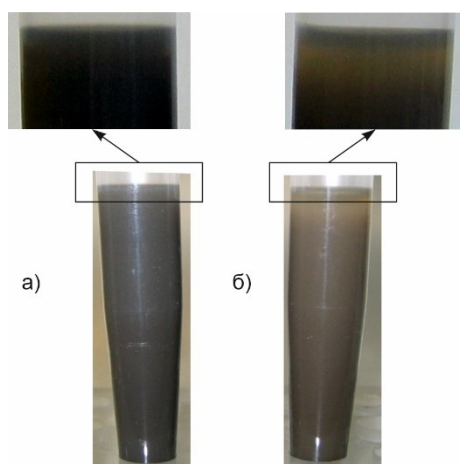


Рисунок 1 – Масляная суспензия 1 масс.% НА:
а) модифицированных после трех месяцев хранения,
б) исходных после недели хранения

Figure 1 – Oil suspension of 1 wt. %: a) modified after three months storage, b) original NA after week storage

Высокая коллоидная устойчивость НА сохраняется и при внесении присадки в масло. Это позволяет сохранить постоянную концентрацию частиц в объеме масла во время простоя и избежать ускоренного износа поверхностей трения вследствие образования областей высоких локальных концентраций, а также снижения трибологических характеристик масла из-за образования зон с пониженным содержанием НА.

Использование присадки, содержащей НА, показало ее положительный эффект на все параметры работы компрессоров, регистрируемые в испытаниях. В результате ее введения в смазочное масло существенно сократилось время, необходимое для достижения уровня рабочего давления 6 и 7 бар в среднем на 7 и 10%, соответственно (рисунок 2). Следует отметить общую тенденцию снижения значений этого показателя со временем эксплуатации, которая, очевидно, обусловлена приработкой контактирующих поверхностей двигателя.

Об улучшении фрикционных свойств масла за счет добавления НА говорит сравнение температуры смазывающей композиции при эксплуатации машин. Представленные на рисунке 3 данные, регистрируемые после работы компрессоров в течение 1 мин. при 7 давлении бар, свидетельствуют о более низкой температуре рабочего масла с НА, по сравнению с температурой базового масла (в среднем на 8 %).

Резкое повышение температуры масел (точки графика при 120 и 192 ч. работы) можно объяснить аварийным отключением системы кондиционирования помещения, в котором проводились испытания.

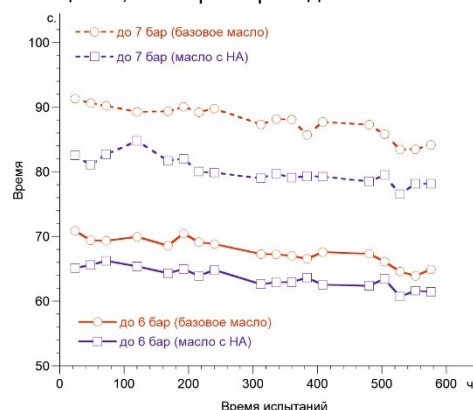


Рисунок 2 – Время работы компрессоров, необходимое для достижения заданного уровня давления

Figure 2 – The operating time of compressors required to achieve a given pressure level

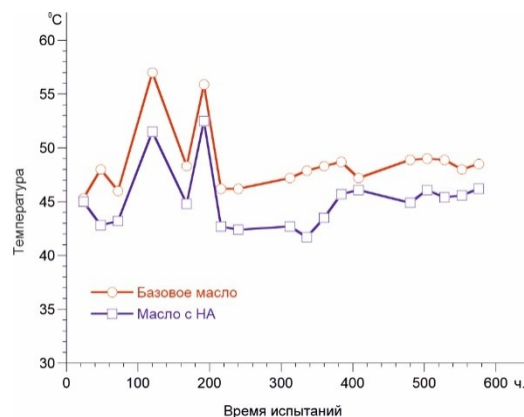


Рисунок 3 – Температура масла после 1 мин. работы компрессоров при давлении 7 бар

Figure 3 – The oil temperature after operating 1 min at 7 bar pressure

Потребляемая мощность является основной характеристикой энергозатратности работы машин и служит основным интегральным показателем эффективности присадки с НА. Динамика потребляемой мощности электродвигателей компрессоров представлена на рисунке 4.

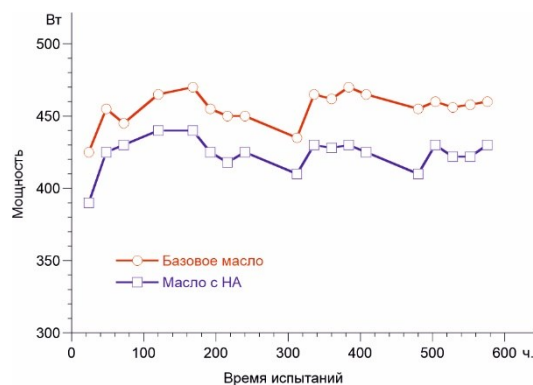


Рисунок 4 – Потребляемая мощность электродвигателей компрессоров

Figure 4 – Power consumption of compressor electric motors

На всем протяжении испытаний потребляемая мощность электродвигателя компрессора с НА была ниже его аналога без использования НА присадки на 7–11 %. Суммарная экономия энергии за счет использования НА за все время эксплуатации машин составила 18.4 кВт·ч (8 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показали, что добавление 0,01 мас.% модифицированных детонационных наноалмазов в смазочное масло ведет к улучшению эксплуатационных характеристик компрессора, уменьшая потребляемую мощность (на 8 %) и время, необходимое для достижения заданного уровня давления (до 10 %), а также снижая рабочую температуру масла (на 8 %).

Проведение длительных натурных испытаний машин и механизмов с использованием смазочных материалов, содержащих и не содержащих наноалмазные присадки, дает более полное представление и количественные показатели для оценки эффективности присадок по сравнению с лабораторными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Holmberg K., Erdemir A. The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars // *Tribology international*. 2019. Vol. 135. P. 389–396. doi: 10.1016/j.triboint.2019.03.024.
2. Characterization and tribology performance of polyaniline-coated nanodiamond lubricant additives / Huang R. [et al.] // *Nanotechnology Reviews*. 2022. V. 11. P. 2190–2201. doi: 10.1515/ntrev-2022-0135.
3. Новиковский Е.А., Ананьева Е.С. Экспериментальное исследование зависимости физико-механических характеристик модифицированных эпоксидных композиций от степени их наполнения углеродными ультрадисперсными частицами // *Ползуновский вестник*. 2016. № 3. С. 177–181.
4. Kausar A. Polymer/Nanodiamond Nanocomposites: Fundamentals, Properties and Applications. Elsevier. 2024. 294 p. doi: 10.1016/B978-0-443-15908-4.00005-6.
5. Nanodiamonds - Advanced Material Analysis, Properties and Applications / Ed. by J.-C. Arnault. Amsterdam: Elsevier, 2017. 507 p.
6. О механизме смазочного действия присадок наноалмазов детонационного синтеза в смазочных композициях / А. А. Шепелевский [и др.] // *ЖТФ*. 2017. том 87, вып. 9. С. 1354–1361. doi: 10.21883/JTF.2017.09.44909.2139.
7. Effect of Nanodiamonds on Friction Reduction Performance in Presence of Organic and Inorganic Friction Modifiers / A.K. Piya [et al.] // *Lubricants*. 2025. Vol. 13. P. 1. doi: 10.3390/lubricants13010001.
8. Application of Nano-Crystalline Diamond in Tribology / Y. Xia [et al.] // *Materials*. 2023. V. 16. P. 2710. doi: 10.3390/ma16072710.
9. Dispersion of reduced nanodiamond and its application in lubrication / H. Zhong [et al.] // *Materials Today Communications*. 2023. Vol. 37. P. 106999. doi: 10.3390/ma16072710.
10. Bawa'neh H., Albiss B.A., Ocak Y.S. Improving tribological performance of lubricating oil using functionalized nanodiamonds as an additive material // *RSC Advances*. 2025. Vol. 15. P. 26766–26775. doi: 10.1039/d5ra03156g.
11. Ivanov I., Shenderova O. Nanodiamond-based nanolubricants for motor oils // *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2017. Vol. 21. P. 17–29. doi: 10.1016/j.cossms.2016.07.003.
12. Modified nanodiamonds as antiwear additives to commercial oils / A.P. Puzyr [et al.] // *Tribology Trans.* 2012. Vol. 55. P. 149–154. doi: 10.1080/10402004.2011.637662.
13. Styer J. Fuel Economy Beyond ILSAC GF-5: Correlation of Modern Engine Oil Tests to Real World Performance // *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*. 2012. Vol. 5, № 3. P. 1025–1033. doi: 10.4271/2012-01-1618.
14. Puzyr A.P., Burov A.E., Bondar V.S. Modification and

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.

Comparative Study of Commercial Nanodiamonds // *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 2015. Vol. 23. P. 93–97. doi: 10.1080/1536383X.2013.794338.

Информация об авторах

А. Е. Буров – кандидат технических наук, директор Красноярского филиала ФИЦ ИВТ, старший научный сотрудник Института биофизики СО РАН.

А. П. Пузырь – старший научный сотрудник Института биофизики СО РАН.

REFERENCES

1. Holmberg, K. & Erdemir, A. (2019). The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology international*, (135), 389-396. doi: 10.1016/j.triboint.2019.03.024.
2. Huang, R., Han, S., Zhang, T., Wang, Z., Grinkevych, K., Chen, X. & Xu, J. (2022). Characterization and tribology performance of polyaniline-coated nanodiamond lubricant additives. *Nanotechnology Reviews*, (11), 2190-2201. doi: 10.1515/ntrev-2022-0135.
3. Novikovskiy, E.A. & Ananyeva, E.S. (2016). Experimental study of the dependence of the physical and mechanical characteristics of modified epoxy compositions on the degree of their filling with carbon ultradispersed particles. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 177-181. (In Russ.).
4. Kausar, A. (2024). Polymer/Nanodiamond Nanocomposites: Fundamentals, Properties and Applications. Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-443-15908-4.00005-6.
5. Ed. by Arnault, J.-C. (2017). Nanodiamonds - Advanced Material Analysis, Properties and Applications. Amsterdam: Elsevier.
6. Shepelevskiy, A.A., Esina, A.V., Voznyakovskiy, A.P. & Fadin, Yu.A. (2017). On the mechanism of lubricating action of detonation synthesis nanodiamond additives in lubricant compositions. *JTF*, (87), 1354-1361. (In Russ.). doi: 10.21883/JTF.2017.09.44909.2139.
7. Piya, A.K., Yang, L., Emami, N. & Morina, A. (2025). Effect of Nanodiamonds on Friction Reduction Performance in Presence of Organic and Inorganic Friction Modifiers. *Lubricants*, (13), 1. doi: 10.3390/lubricants13010001.
8. Xia, Y., Lu, Y., Yang, G., Chen, C., Hu, X., Song, H., Deng, L., Wang, Y., Yi, J. & Wang, B. (2023). Application of Nano-Crystalline Diamond in Tribology. *Materials*, (16), 2710. doi: 10.3390/ma16072710.
9. Zhong, H., Wang, Q., Qu, J., Li, X., Mukerabigwi, J.F., Asibaik, L., Fang, Y. & Cao, Yu. (2023). Dispersion of reduced nanodiamond and its application in lubrication. *Materials Today Communications*, (37), 106999. doi: 10.3390/ma16072710.
10. Bawa'neh, H., Albiss, B.A. & Ocak, Y.S. (2025). Improving tribological performance of lubricating oil using functionalized nanodiamonds as an additive material. *RSC Advances*, (15), 26766-26775. doi: 10.1039/d5ra03156g.
11. Ivanov, I. & Shenderova, O. (2017). Nanodiamond-based nanolubricants for motor oils. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, (21), 17-29. doi: 10.1016/j.cossms.2016.07.003.
12. Puzyr, A.P., Burov, A.E., Selyutin, G.E., Voroshilov, V.A. & Bondar, V.S. (2012). Modified nanodiamonds as antiwear additives to commercial oils. *Tribology Transactions*, (55), 149-154. doi: 10.1080/10402004.2011.637662.
13. Styer, J. (2012). Fuel Economy Beyond ILSAC GF-5: Correlation of Modern Engine Oil Tests to Real World Performance. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, (5), 1025-1033. doi: 10.4271/2012-01-1618.
14. Puzyr, A.P., Burov, A.E. & Bondar, V.S. Modification and Comparative Study of Commercial Nanodiamonds. (2015). *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, (23), 93-97. doi: 10.1080/1536383X.2013.794338.

Information about the authors

A.E. Burov - Candidate of Technical Sciences, Director of the Krasnoyarsk Branch of the FRC ICT, Senior Researcher at the Institute of Biophysics SB RAS.

A.P. Puzyr - Senior Researcher at the Institute of Biophysics SB RAS.