

АБСОРБЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СТЕКЛООМЫВАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Ю. М. БОРОДЯНСКИЙ¹, С. В. КОЛЕСНИЧЕНКО², Е. Е. МАЙОРОВ^{3*},
А. А. КОНСТАНТИНОВА⁴, Е. А. ПЕТРОВА⁵, Е. В. ПОПОВА⁶

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, Россия

²Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова,
Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия
*majorov_ee@mail.ru

⁴Военная академия связи им. С. М. Будённого,
Санкт-Петербург, Россия

⁵Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики,
Санкт-Петербург, Россия

⁶Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность применения абсорбционной спектроскопии для изучения оптических свойств стеклоомывающих жидкостей „Sintech“, „Freeze Way“ и „Frozox“ для автомобилей разных марок. Приведены оптическая схема и внешний вид измерительного прибора — спектрофотометра UV-2600i, а также показан измерительный блок, где крепятся кюветы с веществом. Получены спектральные кривые поглощения, отличные друг от друга по форме, наблюдаемые сдвиги кривых связаны с поверхностно активными веществами, функциональными добавками и красителями.

Ключевые слова: стеклоомывающие жидкости, спектрофотометр, спектр, абсорбционная спектроскопия, коэффициент поглощения, монохроматор, оптические свойства

Ссылка для цитирования: Бородянский Ю. М., Колесниченко С. В., Майоров Е. Е., Константинова А. А., Петрова Е. А., Попова Е. В. Абсорбционная спектроскопия стеклоомывающих жидкостей для автомобилей // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 7. С. 520—526. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-7-520-526.

ABSORPTION SPECTROSCOPY OF WINDSHIELD WASHER FLUIDS FOR CARS

Yu. M. Borodyansky¹, S. V. Kolesnichenko², E. E. Maiorov^{3*},
A. A. Konstantinova⁴, E. A. Petrova⁵, E. V. Popova⁶

¹The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, Russia

²Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russia

³St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, Russia
*majorov_ee@mail.ru

⁴S. M. Budyonny Military Academy of Telecommunications,
St. Petersburg, Russia

⁵St. Petersburg University of Management Technologies and Economics,
St. Petersburg, Russia

⁶St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
St. Petersburg, Russia

Abstract. The possibility of using absorption spectroscopy to study the optical properties of windshield washer fluids "Sintech", "Freeze Way", and "Frozox" for cars of different brands is considered. The optical scheme and external view of the measuring instrument, the UV-2600i spectrophotometer, are shown, as well as the measuring block with attached cuvettes for the substance to be analyzed. The obtained spectral absorption curves differ from each other in shape, the observed shifts of the curves are associated with surfactants, functional additives, and dyes.

Keywords: windshield washer fluids, spectrophotometer, spectrum, absorption spectroscopy, absorption coefficient, monochromator, optical properties

For citation: Borodyansky Yu. M., Kolesnichenko S. V., Maiorov E. E., Konstantinova A. A., Petrova E. A., Popova E. V. Absorption spectroscopy of windshield washer fluids for cars. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 7. P. 520—526 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-7-520-526.

Введение. На протяжении нескольких десятков лет автолюбители находятся в поиске идеальных стеклоомывающих жидкостей (СЖ) для зимнего времени года. Вопрос выбора качественных СЖ важен, так как он напрямую связан со здоровьем человека. При некачественной „незамерзайке“ увеличивается токсичность вещества, что может вызвать при его вдыхании сонливость, раздражение, сухость глаз, тошноту и головную боль. Это, в свою очередь, может приводить к тому, что водитель, управляя техническим средством повышенной опасности, будет неадекватно совершать маневры на дороге, и соответственно говорить о какой-нибудь безопасности бессмысленно.

Существует широкий спектр методов и средств контроля жидкофазных сред, в частности, это химические методы анализа [1, 2]. Однако получения химических данных может быть недостаточно для более детального анализа веществ. Поэтому перспективным и актуальным представляется использование оптических методов и средств для определения оптических параметров СЖ [3, 4].

Применение абсорбционной спектроскопии для исследования стеклоомывающих жидкостей дает возможность дополнить существующие параметры оптическими данными. Анализ литературных источников показал, что точные количественные данные по оптическим свойствам исследуемых веществ, включая коэффициент поглощения (K) во всем диапазоне длин волн, практически отсутствуют [5—10]. В настоящее время такие данные неполны, противоречивы, представлены на качественном уровне, так что в лучшем случае представляют интерес оценочного характера.

Существенную и научную значимость, как средство контроля СЖ, может иметь спектроскопия, в частности абсорбционная, в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра применительно к коэффициенту поглощения и комплексному составу СЖ, где поглощение обусловлено оптическими переходами между электронными состояниями в спиртах, поверхностно активных веществах, функциональных добавках и красителях, формирующих СЖ [11, 12]. На основе полученных экспериментальных данных могут быть уточнены и оптимизированы алгоритмы контроля СЖ, а при необходимости и внесены в лабораторный измерительный комплекс на производстве этих жидкофазных сред. Именно применение абсорбционной спектроскопии для изучения оптических свойств стеклоомывающих жидкостей для автомобилей — предмет исследования в настоящей статье.

Метод и объект исследования. Измерения спектров оптического поглощения проводились на автоматизированном спектрофотометре UV-2600i компании „Shimadzu“ (Япония). Прибор, внешний вид которого представлен на рис. 1, позволяет проводить анализ в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра [13, 14] и исследует объекты разного агрегатного состояния, а также порошкообразные среды. Прибор обеспечивает высокочувствительные и стабильные измерения спектров поглощения жидких образцов [15, 16]. Прибор состоит из двухлучевой оптической схемы, содержащей два источника излучения (дейтериевую и галогенную лампы), электронный измерительный блок, одиночный монохроматор Черни — Тернера с LO-RAY-LIGH дифракционной решеткой, специальное отсекающее зеркало и фотоэлектронный умножитель. Спектрофотометр отличается широкой спектральной областью работы и автоматически поддерживает постоянный выделяемый спектральный интервал во всем диапазоне сканирования, что существенно повышает достоверность измерений.

Предусмотрена защита от внешних загрязнителей. Регистрация светового сигнала после прохождения монохроматора осуществляется с помощью фотоприемного устройства.



Рис. 1

Оптическая схема автоматизированного спектрофотометра UV-2600i представлена на рис. 2: WI — галогенная лампа, D_2 — дейтериевая лампа, W — окошко, S_1 , S_2 — щели, L.M. — зеркало переключения источника излучения, M_1 — M_5 — зеркала, GR — решетка, F — фильтр, B.S. — светоделитель, Sam — кювета с измеряемым образцом, Ref — кювета с образцом сравнения, L — линза, P.D. — фотодиоды.

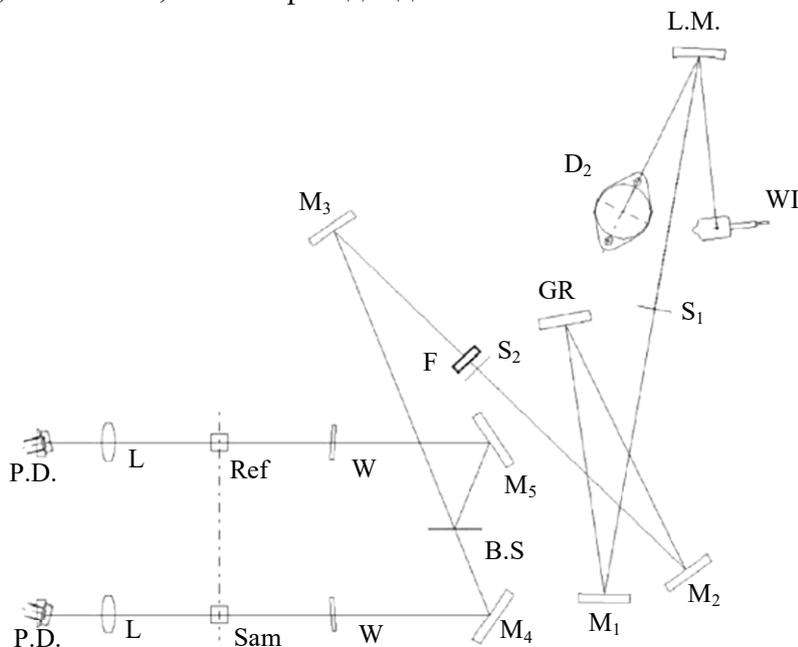


Рис. 2

В двухлучевой схеме прибора с двумя фотодетекторами опорный и объектный световые пучки приходят каждый к своему фотодетектору [17, 18]. Такое построение позволяет развести по своим каналам объектный и опорный лучи, не совмещая их в один фотоприемник, тем самым увеличивая пространство в кюветном отделении, что удобно для измерения веществ с любым агрегатным состоянием, чтобы исследуемая поверхность была как можно ближе к световому излучению. Технические характеристики спектрометра UV-2600i удовлетворяют требованиям контроля исследуемых жидкостей.

Спектральному анализу подлежали стеклоомывающие жидкости „Sintech“, „Freeze Way“ и „Frozoх“ для автомобилей разных марок. Данные стеклоомывающие незамерзающие жидкости предназначены для очистки лобовых, боковых и задних стекол автомобиля в холодное время года при температуре до -30 °С. Инициатором измерений оптических свойств этих жидкостей

стала она из торговых сетей Санкт-Петербурга; эти стеклоомыватели имеют хорошие химические характеристики, более того, они самые востребованные у автомобилистов.

При выборе зимней жидкости для стеклоомывателя обращают внимание в основном на процент входящего в состав спирта и на температуру кристаллизации. По заявлению производителей этих жидкостей, доля спирта должна составлять от 25 до 75 %: у омывающей жидкости с порогом замерзания $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 25 %, у средства с порогом замерзания $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ — от 50 до 75 %. Представленные жидкости для стеклоомывателя на основе этилового и изопропилового спирта безопасны для здоровья человека и хорошо очищают стекла.

Экспериментальные результаты. Образцы исследуемых СЖ были введены в кюветы, а сами кюветы помещены в каналы измерений прибора (рис. 3) напротив круглых окон.

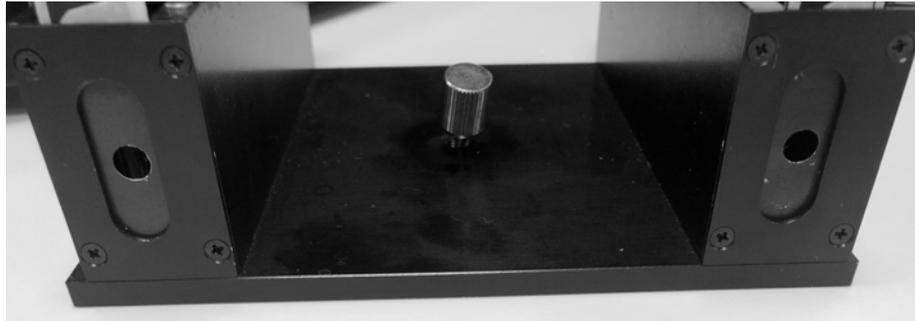


Рис. 3

Для получения оптических свойств образцы жидкостей облучались в измерительном блоке. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в различных стеклоомывающих жидкостях для зимнего периода времени представлены на рис. 4: 1 — „Sintech“, 2 — „Freeze Way“, 3 — „Frozoх“.

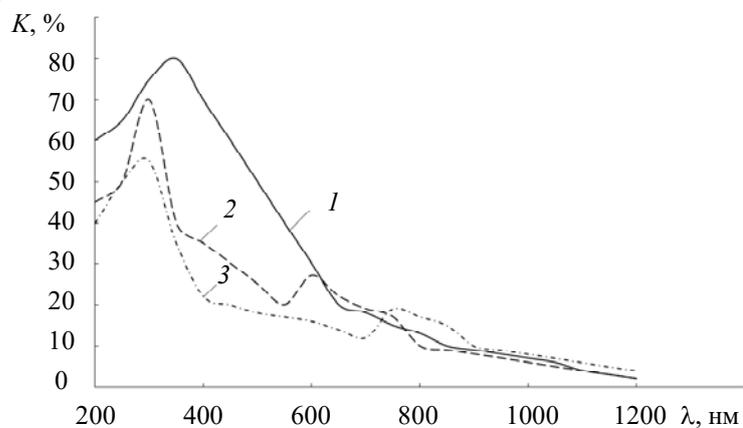


Рис. 4

Анализ рис. 4 показывает, что спектры поглощения у СЖ „Sintech“ в ультрафиолетовой области, где $\lambda = 375...385\text{ нм}$, имеют максимум. Далее спектральная кривая монотонно убывает, а в диапазоне $1000...1200\text{ нм}$ стремится к нулю. Максимум поглощения у „Freeze Way“ находится в диапазоне $260...265\text{ нм}$. Далее кривая имеет сложную форму распределения и на интервале $\lambda = 630...638\text{ нм}$ наблюдается всплеск, где коэффициент $K = 28\%$; начиная с $\lambda = 770\text{ нм}$ данное распределение также монотонно убывает. Что касается „Frozoх“, то как и у „Freeze Way“, максимальное значение K зафиксировано в диапазоне $260...265\text{ нм}$, только в более длинноволновой области спектра имеется небольшой всплеск на $\lambda = 770...780\text{ нм}$, и далее кривая стремится к минимуму. По форме спектральные кривые поглощения отличны друг от друга, а сдвиги, по-видимому, связаны с поверхностно активными веществами, функциональными добавками и красителями.

Подводя итог эксперименту, можно сказать, что у всех исследуемых жидкостей максимальное значение коэффициента поглощения было определено в ультрафиолетовой области спектра, а минимальное — в инфракрасном диапазоне длин волн.

Заключение. Представлены результаты исследования, направленного на взаимодействие исследуемого вещества — стеклоомывающих жидкостей для автомобилей — с ультрафиолетовым, видимым и инфракрасным излучением. Зафиксированы переходы как между электронными энергетическими уровнями молекул, так и между колебательными и вращательными энергетическими уровнями. Приведенные экспериментальные результаты могут представлять интерес для химических производств по созданию жидкостей для стеклоомывателя, а также и для оптического приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пентин Ю. А., Вилков Л. В.* Физические методы исследования в химии. М.: Мир, 2003. 367 с.
2. *Хайдаров Г. Г., Хайдаров А. Г., Машек А. Ч., Майоров Е. Е.* Влияние температуры на поверхностное натяжение // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 4. Физика, химия. 2012. Вып. 1. С. 24—28.
3. *Александров Е. Б., Запасский В. С.* Лазерная магнитная спектроскопия. М.: Наука, 2020. 279 с.
4. *Шмидт В.* Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2007. 995 с.
5. *Майоров Е. Е., Машек А. Ч., Цыганкова Г. А., Хайдаров А. Г., Абрамян В. К., Зайцев Ю. Е.* Разработка лабораторного спектрофотометра видимой области спектра для контроля жидкофазных сред // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 8. С. 42—46.
6. *Майоров Е. Е., Машек А. Ч., Цыганкова Г. А., Писарева Е. А.* Исследование оптических свойств черных щелоков рефрактометрическими и спектрофотометрическими методами при производстве сульфатной целлюлозы // Научные ведомости Белгород. гос. ун-та. 2018. Т. 50, № 1. С. 55—63. DOI: 10.18413/2075-4639-2018-50-1-55-63.
7. *Майоров Е. Е., Машек А. Ч., Цыганкова Г. А., Писарева Е. А.* Исследование спектрофотометра ультрафиолетовой области длин волн для анализа спектров пропускания дисперсных сред // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 4. С. 357—365.
8. *Майоров Е. Е., Туровская М. С., Литвиненко А. Н., Черняк Т. А., Дагаев А. В., Пономарев С. Е., Курлов В. В., Катунин Б. Д.* Исследование разработанного спектрофотометра для ультрафиолетовой области спектра и его технико-экономическое обоснование // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 7. С. 38—43.
9. *Майоров Е. Е., Константинова А. А., Шаламай Л. И., Цыганкова Г. А., Машек А. Ч., Пушкина В. П., Хохлова М. В., Коцкович В. Б., Дагаев А. В.* Исследования оптических спектров диметилсульфоксида (CH₃)₂SO // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2019. № 7. С. 212—223.
10. *Арефьев А. В., Бородянский Ю. М., Майоров Е. Е., Дагаев А. В., Хохлова М. В., Гулиев Р. Б.* Разработка экспериментальной методики для фотометрического анализа нефтепродуктов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2020. № 9. С. 1—5. DOI: 10.25791/pribor.09.2020.1202.
11. *Шаламай Л. И., Кузьмина Д. А., Майоров Е. Е., Мендоса Е. Ю., Сакерина А. И., Нарушак Н. С.* Исследование оптических свойств твердых тканей зуба и композитных материалов посредством фотометрического анализа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2020. № 8. С. 11—17. DOI: 10.25791/pribor.08.2020.1196.
12. *Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Кузьмина Д. А., Мендоса Е. Ю., Нарушак Н. С., Сакерина А. И.* Спектральный анализ стоматологического реставрационного материала и зубной ткани пациентов разных возрастных групп *in vitro* // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2020. № 8. С. 105—114.
13. *Кузьмина Д. А., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Нарушак Н. С., Сакерина А. И., Шаламай Л. И.* Экспериментальные исследования оптических свойств твердых тканей передних зубов и современных синтетических пломбировочных материалов // Стоматология для всех. 2020. № 4. С. 58—62. DOI: 10.35556/idr-2020-4(93)58-62.

14. Кузьмина Д. А., Мендоса Е. Ю., Майоров Е. Е., Нарушак Н. С., Шаламай Л. И. Спектроскопия отражения тканей зубов *in vitro* и наногибридных реставрационных материалов // MEDICUS. Междунар. медицинский научный журнал. 2020. № 5 (35). С. 68—73.
15. Кузьмина Д. А., Майоров Е. Е., Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Нарушак Н. С. Использование метода спектроскопии отражения для распознавания подлинности стоматологических реставрационных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 1. С. 63—70. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-1-63-70.
16. Шаламай Л. И., Мендоса Е. Ю., Кузьмина Д. А., Майоров Е. Е. Исследование оптических свойств композитных материалов и твердых тканей зуба пациентов *in vitro* // Dental Forum. 2021. № 1. С. 3—6.
17. Громов О. В., Майоров Е. Е., Черняк Т. А., Удахина С. В., Писарева Е. А., Константинова А. А. Измерения оптических свойств кожного покрова *in vivo* под воздействием современных увлажняющих средств // Междунар. научно-исследовательский журнал. 2021. № 3 (105). С. 38—43. DOI: 10.23670/IRJ.2021.105.3.006.
18. Майоров Е. Е., Черняк Т. А., Цыганкова Г. А., Машек А. Ч., Константинова А. А., Писарева Е. А. Спектральное исследование текстильного оптического отбеливателя и органического красителя // Научное приборостроение. 2021. Т. 31, № 1. С. 73—83. DOI: 10.18358/np-31-1-e010.

Сведения об авторах

- Юрий Михайлович Бородинский** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, кафедра безопасности информационных систем; E-mail: borodyanskyum@gmail.com
- Сергей Викторович Колесниченко** — д-р. техн. наук, доцент; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, кафедра математического моделирования и прикладной информатики; E-mail: serjkor@yandex.ru
- Евгений Евгеньевич Майоров** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной математики; E-mail: majorov_ee@mail.ru
- Анна Алексеевна Константинова** — канд. техн. наук, доцент; Военная академия связи им. С. М. Будённого, кафедра общепрофессиональных дисциплин; E-mail: konstantinova.a.a@mail.ru
- Екатерина Александровна Петрова** — канд. экон. наук, доцент; Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, кафедра информационных технологий и математики; E-mail: Ekaterina.petrova.fibd@gmail.com
- Елена Владимировна Попова** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, кафедра математики; E-mail: serana5@inbox.ru

Поступила в редакцию 17.02.22; одобрена после рецензирования 28.02.22; принята к публикации 31.05.22.

REFERENCES

1. Pentin Yu.A., Vilkov L.V. *Fizicheskiye metody issledovaniya v khimii* (Physical Research Methods in Chemistry), Moscow, 2003, 367 p. (in Russ.)
2. Khaidarov G.G., Khaidarov A.G., Mashek A.Ch., Mayorov E.E. *Bulletin of St. Petersburg University. Physics chemistry*, 2012, no. 1, pp. 24—28. (in Russ.)
3. Alexandrov E.B., Zapassky V.S. *Lazernaya magnitnaya spektroskopiya* (Laser Magnetic Spectroscopy), Moscow, 2020, 279 p. (in Russ.)
4. Schmidt W. *Optical Spectroscopy in Chemistry and Life Sciences. An Introduction*, NY, Wiley, 2005.
5. Mayorov E.E., Mashek A.Ch., Tsygankova G.A., Khaidarov G.G., Khaidarov A.G., Zaitsev Y.E., Abrahamyan V.K. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2016, no. 8, pp. 42—46. (in Russ.)
6. Mayorov E.E., Mashek A.Ch., Tsygankova G.A., Pisareva Y.A. *Belgorod State University Scientific Bulletin*, 2018, no. 1(50), pp. 55—63, DOI: 10.18413/2075-4639-2018-50-1-55-63. (in Russ.)
7. Maiorov E.E., Mashek A.Ch., Tsygankova G.A., Pisareva E.A. *News of the Tula State University. Technical sciences*, 2018, no. 4, pp. 357—365. (in Russ.)
8. Maiorov E.E., Turovskaya M.S., Litvinenko A.N., Chernyak T.A., Dagaev A.V., Ponomarev S.E., Kurlov V.V., Katunin B.D. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2018, no. 7, pp. 38—43. (in Russ.)
9. Maiorov E.E., Konstantinova A.A., Shalamay L.I., Tsygankova G.A., Mashek A.Ch., Pushkina V.P., Khokhlova M.V., Kotskovich V.B., Dagaev A.V. *News of the Tula State University. Technical sciences*, 2019, no. 7, pp. 212—223. (in Russ.)

10. Arefiev A.V., Borodyansky Yu.M., Majorov E.E., Dagaev A.V., Khokhlova M.V., Guliev R.B. *News of the Tula State University. Technical sciences*, 2020, no. 9, pp. 1–5, DOI: 10.25791/pribor.09.2020.1202. (in Russ.)
11. Shalamay L.I., Kuzmina D.A., Maiorov E.E., Mendosa E.Yu., Sakerina A.I., Narushak N.S. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2020, no. 8, pp. 11–17, DOI: 10.25791/pribor.08.2020.1196. (in Russ.)
12. Maiorov E.E., Shalamay L.I., Kuzmina D.A., Mendosa E.Yu., Narushak N.S., Sakerina A.I. *News of the Tula State University. Technical sciences*, 2020, no. 8, pp. 105–114. (in Russ.)
13. Kuzmina D.A., Mendoza E.Yu., Maiorov E.E., Narushak N.S., Sakerina A.I., Shalamay L.I. *Dentistry for everyone*, 2020, no. 4, pp. 58–62, DOI.org/10.35556/idr-2020-4(93)58-62. (in Russ.)
14. Kuzmina D.A., Mendosa E.Yu., Maiorov E.E., Narushak N.S., Shalamay L.I. *MEDICUS*, 2020, no. 5(35), pp. 68–73. (in Russ.)
15. Kuzmina D.A., Maiorov E.E., Shalamay L.I., Mendosa E.Yu., Narushak N.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2021, no. 1(64), pp. 63–70, DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-1-63-70. (in Russ.)
16. Shalamay L.I., Mendoza E.Yu., Kuzmina D.A., Maiorov E.E. *Dental forum*, 2021, no. 1, pp. 3–6. (in Russ.)
17. Gromov O.V., Mayorov E.E., Chernyak T.A., Udakhina S.V., Pisareva E.A., Konstantinova A.A. *Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal* (International Research Journal), 2021, no. 3(105), pp. 38–43, DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.105.3.006>. (in Russ.)
18. Maiorov E.E., Chernyak T.A., Tsygankova G.A., Mashek A.C., Konstantinova A.A., Pisareva E.A. *Nauchnoe Priborostroyeniye* (Scientific Instrumentation), 2021, no. 1(31), pp. 73–83, DOI: 10.18358/np-31-1-e010. (in Russ.)

Data on authors

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yuriy M. Borodyansky | — PhD, Associate Professor; The Bonch-Bruевич St. Petersburg State University of Telecommunications, Department of Information Systems Security; E-mail: borodyanskyum@gmail.com |
| Sergey V. Kolesnichenko | — Dr. Sci., Associate Professor; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Department of Mathematical Modeling and Applied Computer Science; E-mail: serjkop@yandex.ru |
| Evgeny E. Maiorov | — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Applied Mathematics; E-mail: majorov_ee@mail.ru |
| Anna A. Konstantinova | — PhD, Associate Professor; S. M. Budyonny Military Academy of Telecommunications, Department of General Professional Disciplines; E-mail: konstantinova.a.a@mail.ru |
| Ekaterina A. Petrova | — PhD, Associate Professor; St. Petersburg University of Management Technologies and Economics, Department of Information Technologies and Mathematics; E-mail: Ekaterina.petrova.fibd@gmail.com |
| Elena V. Popova | — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Department of Mathematics; E-mail: serana5@inbox.ru |

Received 17.02.22; approved after reviewing 28.02.22; accepted for publication 31.05.22.