УДК 543.421
DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-3-234-240

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ МОЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Е. Е. Майоров[1*], Г. А. Костин[2], Т. А. Черняк[2]

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия*
[*] *majorov_ee@mail.ru*
[2] *Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Рассматриваются вопросы изучения оптических свойств авиационных технических моющих жидкостей в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Корректная идентификация моющих жидкостей для промывки газовоздушного тракта газотурбинного двигателя имеет важнейшее значение для обеспечения безопасности полетов. Представлен метод ультрафиолетовой спектроскопии и приведена оптическая схема спектрофлуориметрического анализатора. Измерены спектральные зависимости коэффициента поглощения исследуемых сред, смешанных с дистиллированной водой и определены максимальные значения поглощающей способности исследуемых проб в ультрафиолетовом диапазоне длин волн.

Ключевые слова: *коэффициент поглощения, спектрофлуориметрический анализатор, кювета, проба, длина волны, технические моющие жидкости*

Ссылка для цитирования: *Майоров Е. Е., Костин Г. А., Черняк Т. А.* Исследование оптических свойств авиационных технических моющих жидкостей в ультрафиолетовом диапазоне длин волн // Изв. вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 3. С. 234—240. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-3-234-240.

INVESTIGATION OF OPTICAL PROPERTIES OF AVIATION TECHNICAL WASHING LIQUIDS IN THE ULTRAVIOLET WAVELENGTH RANGE

E. E. Maiorov[1*], G. A. Kostin[2], T. A. Chernyak[2]

[1] *St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia,*
[*] *majorov_ee@mail.ru*
[2] *St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia*

Abstract. The issues of studying the optical properties of aviation technical washing liquids in the ultraviolet wavelength range are considered. Correct identification of cleaning fluids for washing the gas-air path of a gas turbine engine is essential for ensuring flight safety. The method of ultraviolet spectroscopy is presented and the optical scheme of the spectrofluorimetric analyzer is given. The spectral dependences of the absorption coefficient of the studied media mixed with distilled water are measured, and the maximum values of the absorbance of the studied samples in the ultraviolet wavelength range are determined.

Keywords: absorption coefficient, spectrofluorimetric analyzer, cuvette, sample, wavelength, technical detergents

For citation: Maiorov E. E., Kostin G. A., Chernyak T. A. Investigation of optical properties of aviation technical washing liquids in the ultraviolet wavelength range. *Journal of Instrument Engineering.* 2023. Vol. 66, N 3. P. 234—240 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-3-234-240.

Введение. Максимальная безопасность полетов — важнейшая задача гражданской авиации. Техническими службами аэропорта огромное внимание уделяется работоспособности газотурбинного двигателя в процессе эксплуатации воздушного судна, поэтому вопросы

© *Майоров Е. Е., Костин Г. А., Черняк Т. А., 2023*

промывки газовоздушного тракта для удаления нагарообразных, масляных, сажистых и пылевых загрязнений имеют особое значение [1, 2]. Для решения этих задач в авиации применяются технические моющие средства отечественного производства М-1 и М-2, а также зарубежные аналоги Turbotect и Zok. В процессе эксплуатации летательного аппарата на лопатках турбины образуется налет из частиц масел, морской соли, пыли и почвы, что приводит к ухудшению термодинамических характеристик газотурбинного двигателя [3, 4]. В частности, увеличивается эмиссия вредных веществ, расход топлива, рабочая температура, уменьшается коэффициент полезного действия и выходная мощность двигателя. Это, в свою очередь, может привести к возникновению коррозийных областей, разрушению защитных поверхностей деталей и агрегатов, а в результате к выходу из строя газотурбинного двигателя. Поэтому техническими службами аэропорта должен производиться регулярный профилактический контроль за чистотой поверхностей узлов и агрегатов газовоздушного тракта газотурбинного двигателя, а технические моющие жидкости должны удовлетворять требованиям к эксплуатации [5, 6].

В последнее время на рынке химической продукции участились случаи появления поддельных жидкостей, химические параметры которых не соответствуют заявленным гос. стандартами. Достоверный анализ состава этих веществ возможен с помощью оптико-электронных приборов и комплексов.

На сегодняшний день используются различные методы и средства измерения физико-химических и оптических параметров веществ в жидком агрегатном состоянии [7, 8]. Одни из них — это методы спектрального анализа, применяемые для качественного и количественного анализа с использованием приборов и систем, работа которых основана на выявлении оптических спектров поглощения, пропускания и отражения исследуемого вещества [9, 10].

Изучение авиационных технических моющих жидкостей спектральными методами, в частности абсорбционной спектроскопией, позволяет определить оптические параметры исследуемых сред [11, 12]. В научной литературе приводятся физико-химические и оптические параметры этих веществ, причем оптические параметры найдены преимущественно в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн [13, 14]. Однако данные по коэффициенту поглощения (K) в ультрафиолетовом диапазоне отсутствуют [15, 16].

В этой связи практическую и научную значимость представляет абсорбционная спектроскопия в ультрафиолетовой области спектра для исследования указанных сред, где поглощение обусловлено оптическими переходами между электронными состояниями в щелочных компонентах, поверхностно-активных веществах и комплексообразователях [17, 18]. На основе полученных экспериментальных данных могут быть уточнены и оптимизированы алгоритмы контроля и внесены в лабораторный измерительный комплекс на производстве технических моющих жидкостей.

В настоящей статье представлены результаты исследования оптических свойств авиационных технических моющих жидкостей в ультрафиолетовом диапазоне длин волн.

Постановка задачи. Используя спектрофлуориметрический анализатор „Флюорат-02-Панорама“, измерить максимальные значения коэффициента поглощения технических моющих жидкостей в диапазоне длин волн от 210 до 400 нм.

Метод и объект исследования. Объекты исследования — технические моющие жидкости: отечественного производства М-1 и зарубежных марок Turbotect T-950, Mcgean-Rohco Zok-27.

М-1 — водный раствор щелочных компонентов, содержащий поверхностно-активные вещества и комплексообразователи. Это бесцветная или с незначительным желтоватым оттенком однородная прозрачная жидкость. При работе с этим моющим веществом необходимо использовать средства индивидуальной защиты, соответствующие утверждѐнным стандартам (хлопчатобумажные халаты, костюмы, комбинезоны, кожаную обувь, фильтрующие

респираторы, в аварийных ситуациях — противогазы, защитные очки, полиэтиленовые или резиновые перчатки), избегать вдыхания моющего средства и попадания его внутрь, на кожу и в глаза.

Turbotect T-950 — прозрачная или с голубоватым оттенком и мягким запахом жидкость, содержащая этоксилированные жирные спирты и этоксилированные разветвленные оксоспирты. При использовании жидкости следует соблюдать рекомендации производителя — для работы необходимы средства индивидуальной защиты органов дыхания, кожи, глаз, лица.

Mcgean-Rohco Zok-27 — прозрачная жидкость, содержащая поверхностно-активные вещества и эмульгаторы в деионизированном водном растворе. При работе с жидкостью также необходимо использовать средства индивидуальной защиты, избегать вдыхания моющего средства и попадания его внутрь, на кожу и в глаза.

Измерения спектров оптического поглощения проводились на спектрофлуориметрическом анализаторе „Флюорат-02-Панорама“ (выпускается ООО „Люмэкс“, Санкт- Петербург, Россия), позволяющем проводить анализ в ультрафиолетовой области спектра. Прибор, внешний вид которого представлен на рис. 1, предназначен для проведения научных исследований спектров возбуждения и регистрации флуоресценции различных веществ, измерения их фотометрических характеристик, а также для аналитического и санитарного контроля различных природных объектов. Спектроанализатор состоит из оптической схемы, в которой есть приемник и источник излучения, электронного измерительного блока, источника питания (ФЭУ), системы сканирования монохроматоров, пульта контроля с цифровым индикатором и приемников излучения.

Рис. 1

Оптическая схема спектроанализатора (рис. 2) содержит четыре основных канала: I — возбуждение люминисценции (осветительный), II — опорный, III — фотометрический (канал пропускания), IV — канал регистрации люминесценции (флюориметрический). В состав схемы входят: *1* — источник излучения, *2* — элемент устранения второго порядка дефракции, *3* — монохроматор канала возбуждения, *4* и *7* — светофильтры, *5* и *10* — светоделители, *6* — кювета, *8* — монохроматор канала регистрации, *9* — фотоприемное устройство, *11* — фотоприемник фотометрического канала, *12* — фотоприемник опорного канала.

Спектроанализатор работал в фотометрическом режиме измерений. Световой пучок от источника излучения (ксеноновая лампа) проходил через монохроматор *3* и попадал на све-

тоделитель *5*, далее через кварцевую кювету *6* с исследуемым веществом отражался от светоделителя *10* и направлялся на фотоприемник *11* в фотометрический канал.

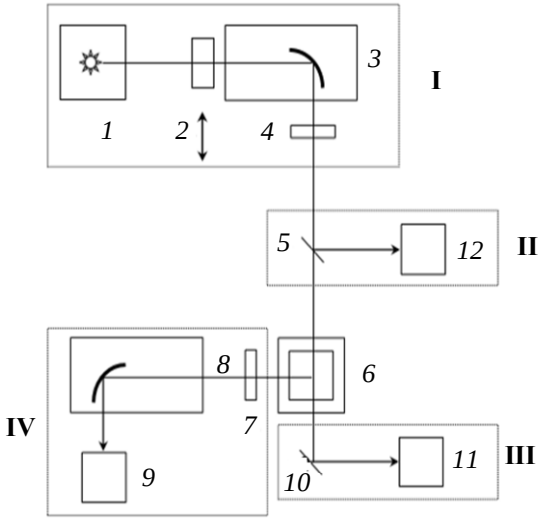

Рис. 2

Технические характеристики спектрофлуориметрического анализатора „Флюорат-02-Панорама“

Спектральный диапазон, нм	210…840
Спектральное разрешение монохроматоров, нм	8
Погрешность установки монохроматоров, нм	3
Отношение сигнал/шум	100:1
Объем анализируемой пробы в стандартной кювете К-10, мл	3
Питание:	
напряжение, В	110—220
частота, Гц	50—60
Потребляемая мощность, Вт	40
Размеры прибора, мм	400×355×150
Масса, кг	15

Экспериментальные результаты. Образцы проб были приготовлены в лабораторных условиях. Для спектрофотометрических измерений проб технических моющих жидкостей использовалась градуированная пипетка для химического анализа с погрешностью измерений ± 0,2 мл. С помощью пипетки осуществлялся забор необходимого для анализа авиационного технического средства и производилось взвешивание на микровесах LT-JS 20, погрешность которых составляла ± 0,001 г. Затем авиационные жидкости смешивались с дистиллированной водой и во всех образцах проб содержание их составляло 0,02 % (или 0,2 мл на 1 л воды). Далее пробы помещались в кварцевые кюветы (К10), и на спектроанализаторе измерялся их спектр.

В ходе эксперимента изучались ультрафиолетовые спектры поглощения дистиллированной воды с жидкостями М-1, Turbotect Т-950 и Mcgean-Rohco Zok-27. Поглощение дистиллированной воды в этом диапазоне длин волн отсутствует и принималось за ноль. На рис. 3 показаны спектральные зависимости коэффициента поглощения (K) в различных авиационных технических жидкостях: *1* — М-1, *2* — Turbotect Т-950, *3* — Mcgean-Rohco Zok-27. Как видно на графике, максимальное значение K для жидкости М-1, смешанной с водой, находится в диапазоне длин волн λ=390…400 нм; для жидкости Turbotect Т-950 максимум кривой наблюдается при λ=370…380 нм, а для Mcgean-Rohco Zok-27 — при λ=375…385 нм.

Для каждого из исследуемых веществ, размешанных в дистиллированной воде, основными поглотителями в ультрафиолетовом диапазоне длин волн стали поверхностно-активные вещества. При концентрации авиационной жидкости в воде (0,02 %) посредством абсорбционного анализа определен состав поверхностно-активных веществ. Данный спектральный

анализ позволяет идентифицировать техническое моющее средство для конкретного воздушного судна.

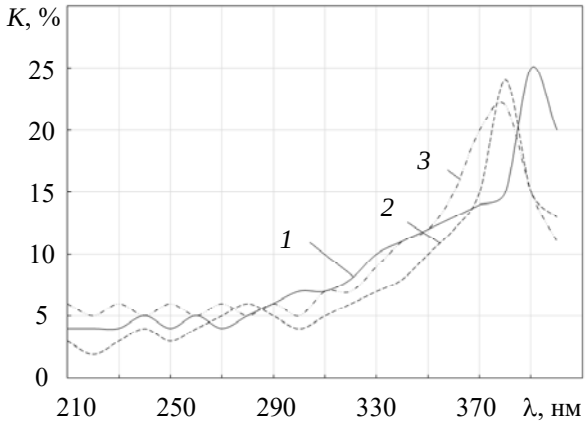

Рис. 3

Заключение. Корректная идентификация авиационных технических моющих жидкостей для промывки газовоздушного тракта газотурбинного двигателя является важнейшей задачей для технических подразделений, обслуживающих воздушные суда. От того насколько верно выбрано средство, зависит качество промывки и соответственно работа двигателя, что непосредственно влияет на безопасность полетов.

Рассмотренный в статье метод ультрафиолетовой спектроскопии, как метод неразрушающего контроля, экологичен и экономичен. Получены спектральные кривые исследуемых проб и определены максимальные значения коэффициента поглощения. Полученные данные могут дополнить физико-химические свойства исследованных веществ. Приведенные экспериментальные результаты представляют интерес как для химических производств, создающих данные моющие средства, так и для оптического приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каблов Е. Н., Старцев О. В., Медведев И. М.* Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2(35). С. 76—87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.

2. *Вахрушев Е. С.* Промывка ГВД двигателя — одно из важнейших условий сохранения его эффективности // Информ. бюл.: „Пермские газовые турбины. Транспорт газа и энергетика“. 2009. № 15 [Электронный ресурс]: <http://www.pmz.ru>, 19.09.2022.

3. Моющие жидкости [Электронный ресурс]: <http://lemix-samara/ru/liquid.html>, 05.10.2022.

4. *Stalder J. P.* Gas Turbine Compressor Washing State of the Art: Field Experiences // Journal of Engineering for Gas Turbine and Power. 2001. Vol. 123. P. 363—370.

5. *Syverud E., Brekke O., Bakken L.* Axial compressor deterioration causer by saltwater ingestion // Journal of Turbomachinery. 2007. Vol. 129, N 1. P.119—126.

6. Chemical Cleaning Solution for Gas Turbine Blades: WO 2001/040548 (Pat.); Filed 30.11.2000; Publ. 30.10.2002.

7. *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.

8. *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 // Науч. вед. Белгород. гос. ун-та. 2018. Т. 50, № 1. С. 55—63. DOI: 10.18413/2075-4639-2018-50-1-55-63.

9. *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.

10. *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.

11. *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 $(CH_3)_2SO$ // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2019. № 7. С. 212—223.

12. *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.

13. *Майоров Е. Е., Афанасьева О. В., Соколовская М. В.* Исследование оптических свойств продуктов косметологии спектрофотометром, работающим в дальнем ультрафиолетовом диапазоне длин волн // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып.8. С. 128—133. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-128-133.

14. *Иоффе Б. В.* Рефрактометрические методы химии. Л.: Химия, 1983. 352 с.

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. *Костин Г. А., Черняк Т. А., Майоров Е. Е., Курлов В. В., Таюрская И. С.* Спектрофотометрия углеводородного топлива для летательных аппаратов дозвуковой авиации // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып. 8. С. 100—105. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-100-105.

17. *Костин Г. А., Черняк Т. А., Майоров Е. Е., Курлов В. В., Таюрская И. С.* Исследование оптических свойств авиационных гидравлических жидкостей методом оптической спектроскопии // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып.8. С. 80—85. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-80-85.

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

Евгений Евгеньевич Майоров — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной математики; E-mail: majorov_ee@mail.ru

Геннадий Александрович Костин — д-р техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, кафедра прикладной математики и информатики; проректор по науке и цифровизации; E-mail: ga_kostin@spbguga.ru, g_kostin@mail.ru

Татьяна Анатольевна Черняк — канд. экон. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, кафедра высшей математики; зав. кафедрой; E-mail: 79119113039@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.10.22; одобрена после рецензирования 01.11.22; принята к публикации 25.01.23.

REFERENCES

1. Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. *Aviacionnye Materialy and Tehnologii*, 2015, no. 2(35), pp. 76–87, DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87. (in Russ.)
2. http://www.pmz.ru.
3. http://lemix-samara/ru/liquid.html. (in Russ.)
4. Stalder J.P. *Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, 2001, vol. 123, pp. 363–370.
5. Syverud E., Brekke O., Bakken L. *Journal of Turbomachinery*, 2007, no. 1(129), pp. 119–126.
6. Patent WO 2001/040548, *Chemical Cleaning Solution for Gas Turbine Blades*, Priority 30.11.00, Published 30.10.02.
7. Maiorov E.E., Mashek A.Ch., Tsygankova G.A., Khaidarov A.G., Abramyan V.K., Zaitsev Yu.E. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2016, no. 8, pp. 42–46. (in Russ.)
8. Maiorov E.E., Mashek A.Ch., Tsygankova G.A., Pisareva E.A. *Scientific Bulletin of Belgorod State University*, 2018, no. 1(50), pp. 55–63, DOI: 10.18413/2075-4639-2018-50-1-55-63. (in Russ.)
9. 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.)

10. 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.)
11. 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.)
12. Arefiev A.V., Borodyansky Yu.M., Maiorov E.E., Dagaev A.V., Khokhlova M.V., Guliyev R.B. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2020, no. 9, pp. 1–5, DOI: 10.25791/pribor.09.2020.1202 (in Russ.)
13. Maiorov E.E., Afanas'eva O.V., Sokolovskaya M.V. *News of the Tula State University*. Technical Sciences, 2022, no. 8, pp. 128–133, DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-128-133. (in Russ.)
14. Ioffe B.V. *Refraktometricheskiye metody khimii (Refractometric Methods of Chemistry)*, Leningrad, 1983, 352 p. (in Russ.)
15. Kuzmina D.A., Maiorov E.E., Shalamai L.I., Mendoza 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. Kostin G.A., Chernyak T.A., Maiorov E.E., Kurlov V.V., Tayurskaya I.S. *News of the Tula State University*. Technical Sciences, 2022, no. 8, pp. 100–105, DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-100-105. (in Russ.)
17. Kostin G.A., Chernyak T.A., Maiorov E.E., Kurlov V.V., Tayurskaya I.S. *News of the Tula State University*. Technical Sciences, 2022, no. 8, pp. 80–85, DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-80-85. (in Russ.)
18. Maiorov E.E., Chernyak T.A., Tsygankova G.A., Mashek A.Ch., Konstantinova A.A., Pisareva E.A. *Nauchnoe Priborostroenie (Scientific Instrumentation)*, 2021, no. 1(31), pp. 73–83, DOI: 10.18358/np-31-1-e010. (in Russ.)

Data on authors

Evgeny E. Maiorov — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Applied Mathematics; E-mail: majorov_ee@mail.ru

Gennady A. Kostin — Dr. Sci, Professor; St. Petersburg State University of Civil Aviation, Department of Applied Mathematics and Informatics; Vice-Rector for Science and Digitalization; E-mail: ga_kostin@spbguga.ru, g_kostin@mail.ru

Tatiana A. Chernyak — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Civil Aviation, Department of Higher Mathematics; Head of the Department; E-mail: 79119113039@yandex.ru

Received 25.10.22; approved after reviewing 01.11.22; accepted for publication 25.01.23.