

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-116-122
УДК 543.42+681.785

А.О. Волчек¹, В.С. Михайленко², Д.С. Маловик², Е.И. Кича³

¹ АО «НПО «Прибор», Санкт-Петербург, Россия

² ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Судпромкомплект», Москва, Россия

ОБЗОР СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ АГЕНТОВ В АТМОСФЕРЕ НАД МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Объект и цель научной работы. Методы исследования биологических аэрозолей и технические средства для их осуществления.

Материалы и методы. В работе проведен анализ технической документации на применяемое и перспективное оборудование.

Основные результаты. Основные параметры зарубежных и отечественных приборов биоаэрозольного анализа на основе проточно-оптического метода (ПОМ).

Заключение. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что развитие методов анализа биоаэрозольных частиц в ближайшее время будет определяться разработкой новых источников излучения для эффективного возбуждения флуоресценции частиц, а также созданием новых методик, позволяющих определять независимые количественные и качественные параметры исследуемых частиц. Характерным примером может быть создание высокоэффективной системы, объединяющей несколько подходов, в т.ч. ранее не использовавшуюся в ПОМ разрушающую лазерную спектроскопию.

Ключевые слова: биологические агенты, биоаэрозольный анализ, проточно-оптический метод, биологический мониторинг, лазерная спектроскопия, биологическая безопасность.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-116-122
UDC 543.42+681.785

A.O. Volchek¹, V.S. Mikhailenko², D.S. Malovik², E.I. Kicha³

¹ NPO Pribor JSC, St. Petersburg, Russia

² Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg, Russia

³ Sudpromkomplekt LLC, Moscow, Russia

REVIEW OF AUTOMATIC CONTROL TOOLS FOR BIOLOGICAL AGENT IN THE ATMOSPHERE ABOVE SEA SURFACE

Object and purpose of research. Methods of biological aerosol research and technical means for their implementation.

Materials and methods. Analysis of technical documentation for used and prospective equipment.

Main results. The main parameters of foreign and domestic bioaerosol analysis devices based on the flow-optical method.

Conclusion. Based on the results obtained, it can be concluded that the development of methods for the analysis of bioaerosol particles in the near future will be determined by the development of new radiation sources for the effective excitation of particle fluorescence, as well as the creation of new techniques to determine the independent quantitative and qualitative parameters of the studied particles. A typical example is the creation of a highly efficient system that combines several approaches, including destructive laser spectroscopy, which was not previously used in the flow-optical method.

Keywords: biological agents, bioaerosol analysis, supply-optical method, biological monitoring, laser spectroscopy, biological safety.

The authors declare no conflicts of interest.

Для цитирования: Волчек А.О., Михайленко В.С., Маловик Д.С., Кича Е.И. Обзор средств автоматического контроля биологических агентов в атмосфере над морской поверхностью. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 1(403): 116–122.

For citations: Volchek A.O., Mikhailenko V.S., Malovik D.S., Kicha E.I. Review of automatic control tools for biological agent in the atmosphere above sea surface. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 1(403): 116–122 (in Russian).

Введение

Introduction

Для обеспечения безопасности личного состава кораблей и судов ВМФ в условиях выполнения боевых задач необходимо применение современных средств и методов обнаружения опасных биологических агентов в атмосфере над морской поверхностью.

Все методы исследования биологических аэрозолей (БА) можно разделить на контактные лабораторные методы исследования, неспецифический бесконтактный экспресс-анализ, основанный на проточно-оптическом методе (ПОМ), и смешанные методы индикации и анализа БА.

Исторически первыми появились контактные лабораторные методы исследования аэрозолей в силу их более простой технологической реализации. Однако недостатками данных методов являлись: невозможность измерять характеристики отдельных частиц, невозможность проводить измерения в реальном времени, длительное время анализа, необходимость предварительной подготовки пробы.

С появлением проточно-оптического метода [1] анализа стало возможным проводить предварительный экспресс-анализ аэрозольного фона при измерении отдельных частицах аэрозоля со скоростями до $(3-10) \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Обладая несомненными преимуществами, ПОМ лег в основу большинства современных систем биологического мониторинга в качестве метода предварительного контроля аэрозольного фона в окружающем воздухе. В самом общем случае ПОМ подразумевает:

- воздействие на частицу в области анализа возбуждающим излучением и регистрацию ее отклика – флуоресценции и упругого рассеяния света;
- поступление частиц в анализируемый объем преимущественно по одной, что позволяет разделять сигналы от частиц разного типа в анализируемой пробе.

Аппаратуру ПОМ-мониторинга биоаэрозолей можно функционально разделить на сигнализаторы и анализаторы, или на триггеры (triggers) и подтвердители/идентификаторы (confirmer/identifier) по западной терминологии. Как сигнализаторы, так и анализаторы ПОМ производят непрерывный мониторинг воздуха в месте размещения и отслеживают общий уровень аэрозольного фона относительно некоторого порогового значения. К триггерам, как правило, не предъявляют требования по

определению групповой принадлежности аэрозоля, поэтому они относительно дешевы. Анализаторами являются более сложные и дорогие приборы, позволяющие разделять различные типы БА (клетки, токсины и т.п.).

В данном обзоре представлены основные параметры зарубежных и отечественных приборов биоаэрозольного анализа на основе ПОМ. Дано краткое описание типов систем и физических подходов, на основе которых реализованы системы.

Зарубежные системы биологического мониторинга воздуха

Foreign systems of air biomonitoring

Разработки биоаэрозольных триггеров, базирующиеся на УФ-возбуждении, началась в Канаде еще в середине 1980-х гг. Предшественником данных приборов стали измерители аэродинамических размеров APS (Aerodynamic Particle Sizer) 3300 и 3100, основанные на выделении характерного респираторного (вдыхаемого) диапазона частиц от 1 до 10 мкм по сигналу рассеяния. Однако из-за множества ложных срабатываний эти устройства не нашли широкого применения.

В результате в следующей версии сигнализаторов FLAPS (Fluorescence Aerosol Particle Sensor) [2] был применен флуоресцентный метод на длине волны возбуждения 360 нм в первых экспериментах и на длинах 325 или 354 нм гелий-кадмиевого лазера (в макетном варианте FLAPS регистрация флуоресценции происходила в диапазоне от 400 до 550 нм).

Возбуждение ближним УФ было выбрано по следующим причинам: доступность лазеров из указанного диапазона и способность отделения биологических аэрозолей (селективное возбуждение NADN (НАДН, никотинамидадениндинуклеотида) в диапазоне от 340 до 360 нм [3]) от окружающего нефлуоресцирующего фона. Однако от 1 до 3 % фоновых веществ обладают относительно сильной флуоресценцией в указанном диапазоне длин волн, что приводит к ложным срабатываниям датчика при регистрации флуоресценции от данных фоновых частиц.

Во втором варианте проточного флуориметра FLAPS2, разработанного в 1995–1996 гг., для возбуждения использовалась третья гармоника твердотельного Nd-YAG лазера (365 нм). FLAPS2 регистрировал диапазон флуоресценции от 410 до 580 нм.

В FLAPS3 [4] для возбуждения применялся лазерный диод 405 нм. Для регистрации полезного сигнала использовались два канала флуоресценции и один канал для регистрации рассеянного частицей излучения. Для определения размера частиц применялось рассеяние в прямом направлении. Последней версией данных приборов является сигнализатор FLAPS-LT. Подобная концепция применена при создании триггера BAST (Biological Agent Sensor and Trigger) и произведенных на его основе CO-BASS и LBAS.

В начале 1990-х гг. в США был создан прототип FLAPS – флуоресцентный счетчик частиц FPS (Fluorescence Particle Counter) для детектирования бактерий в воздухе. FPS мог отделять *Bacillus anthracis* и другие бактерии в воздухе от частиц каолина, которые обладали низкой флуоресценцией.

В 1999 г. в США на основе возбуждения частиц в потоке двумя твердотельными лазерами 266 и 351 нм был разработан флуоресцентный спектрометр частиц PFS (Particle Fluorescence Spectrometer) [5]. Регистрация флуоресценции триптофана и других ароматических аминокислот при возбуждении в диапазоне от 260 до 280 нм является наиболее информативным методом разделения биологических и небологических аэрозолей. Регистрируемый спектр флуоресценции в PFS находился в границах от 300 до 700 нм. Для данной системы была достигнута воспроизводимость спектра флуоресценции от отдельных частиц БА с размерами от 2 до 5 мкм.

Общим результатом работ по PFS стал анализ большого количества биологических примесей различного типа в воздушной среде в течение длительного времени [3]. Выяснилось, что 90 % частиц разделяются на несколько групп по регистрируемым параметрам. Однако различные группы при этом имели сильное перекрытие, что затрудняло анализ результатов. Полученные области распределения частиц при измерении в разные времена года и в разных географических точках оказались полностью схожи.

Значительный успех в развитии аппаратуры БА-анализа был достигнут при создании триггерных систем: BAWs, BAST и RAAD (США) [1]. Сенсор биологически опасных объектов BAWs (Biological Agent Warning Sensor), который создавался в период с 1996 по 2000 г., был основан на флуоресцентном подходе анализа биологических частиц. Для возбуждения БА в BAWs используется твердотельный лазер 266 нм.

В отличие от BAWs в триггере BAST в качестве источника возбуждения БА установлен деше-

вый УФ-светодиод 365 нм, что делает данный датчик компактным и легким.

Аналогичны рассмотренным триггерные системы BARTS (1998 г.), Bioni (2001 г.), BioLert / BioLert II (2004 г.), произведенные в Канаде.

Основная архитектура BARTS (Biological Agent Real Time Sensor) [6], включая конструкцию, систему обработки сигналов, алгоритм работы прибора, приняты от BAWs, описанного выше. В качестве возбуждающего источника использовался твердотельный лазер 355 нм. В Bioni источником излучения являлись лазеры диапазона от 340 до 360 нм. Для регистрации применялся один канал флуоресценции и один канал рассеяния. Система BioLert [7] имела два канала флуоресценции и один канал рассеяния. Источником являлся мощный лазерный диод 405 нм.

В 2003 г. в США были разработаны системы LBAS и IBAS [8]. При проектировании LBAS (Low-cost Bio-Aerosol Sensor) целью являлось создание низкостоймостного флуоресцентного сигнализатора с улучшенными рабочими характеристиками относительно BAST. Для возбуждения флуоресценции используется недорогой УФ-светодиод 365 нм. Детектирование полезного сигнала осуществляется по двум спектральным каналам флуоресценции и одному каналу рассеяния, однако данный вид триггеров не позволяет регистрировать частицы размером менее 4 мкм. Проект LBAS еще не закончен и продолжает развиваться.

Сигнализатор IBAS (Biological Analyzer and Collector) является аналогом BioLert II. В данном датчике также применен лазерный диод 405 нм для возбуждения, главным образом, флавинов, содержащихся в биологических частицах.

Среди прочих систем анализа опасных аэрозольных частиц выделяется высокоэффективная анализирующая система RAAD [1] (Rapid Agent Aerosol Detector). Данный комплекс позволяет проводить до 14 независимых измерений для каждой отдельной частицы. Под высокой эффективностью устройства подразумевается способность отделять опасные биологические частицы от неопасных с большим значением надежности. В RAAD для анализа характеристик отдельных частиц применены четыре возбуждения лазерными пучками на длинах волн 808 мкм – для измерения рассеяния, 266 и 355 нм – для возбуждения флуоресценции и 1064 нм – для проведения разрушающей лазерной спектроскопии LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy).

При измерениях LIBS сфокусированный пучок 1064 нм создает плазменный объем, внутри кото-

рого материал частицы ионизируется и распадается на элементарные атомные составляющие. По анализу узких спектральных линий, излученных возбужденными атомами и ионами внутри плазмы, судят об атомном составе БА. RAAD изначально не разрабатывалась как дешевый инструмент; напротив – акцент при проектировании был сделан на эффективность системы и качество обработки информации.

Система BAMS (BioAerosol Mass Spectrometry) [9], разработанная в США в 2004 г., совмещает методику ПОМ с масс-спектрометрическим подходом анализа БА. На первом этапе в BAMS измеряется скорость полета частицы по рассеянию нескольких последовательно сфокусированных на аэрозольную струю лазерных пучков. Далее с учетом измеренного значения частица облучается УФ-лазером и измеряется ее спектр флуоресценции. Если сигналы флуоресценции попадают в интересующий спектральный диапазон, ниже по потоку частица облучается ионизирующим лазером для последующего масс-спектрометрического анализа.

Отечественные системы биологического мониторинга воздуха

Russian systems of air biomonitoring

Первым отечественным прибором, реализующим ПОМ для регистрации БА, является сигнализатор АСП-13, разработанный Государственным научно-исследовательским институтом биологического приборостроения (ГосНИИ БП).

В качестве источника УФ-излучения (от 250 до 290 нм) в АСП-13 используется ртутная лампа ДРШ 3-250М. В данном устройстве свет от лампового источника излучения собирается зеркально-линзовым фокусирующим объективом в анализируемый объем, через который проходят частицы аэрозоля. Переизлученные потоки света собираются оптической системой регистрации и направляются на полевую диафрагму, а затем – на фотоприемники [10]. От каждой частицы, прошедшей через область анализа (область пересечения сфокусированного излучения возбуждения и потока аэрозоля), регистрируется два сигнала флуоресценции (350 ± 50) нм и (450 ± 50) нм, а также сигнал рассеяния.

Измерение спектров флуоресценции позволяет отделить БА на фоне аэрозоля мешающих примесей. Выделение респираторной фракции частиц аэрозоля от 1 до 10 мкм происходит в виртуальном импакторе пневматической системы. Данный сигнализатор

обладает быстродействием до 30 с. Недостатками сигнализатора, связанными с применением лампового источника излучения, являются: невысокая наработка на отказ изделия – 350 ч, существенное энергопотребление – до 450 Вт, значительные массогабаритные характеристики. С 2001 г. сигнализатор АСП-13 производится серийно.

Смешанные методы исследования частиц аэрозоля осуществляются в российских системах биологического мониторинга при использовании специального пробоотборного устройства. Данное устройство запускается по сигналу от датчика на основе ПОМ и производит отбор пробы для последующего обнаружения и идентификации биологических агентов и бактериальных токсинов методами специфической индикации.

Начиная с 2003 г. новое поколение приборов биологического мониторинга на основе ПОМ разрабатывается АО «НПО «Прибор» в рамках НИОКР, проводимых в интересах МО РФ и других ведомств, с учетом современных требований к технологии и порядку разработки технической документации [11–16] и оценки качества и безопасности изделий [17–19]. Созданы макеты приборов на основе импульсного лазера 266 нм. Замена лампового источника излучения в разработанных устройствах позволяет избавиться от основных недостатков, присущих АСП-13: увеличить ресурс, снизить потребляемую мощность, уменьшить габариты прибора. В настоящее время разрабатывается макет датчика на двух источниках излучения – 266 и 365 нм, что, как ожидается, позволит повысить селективность измеряемых БА.

Заключение

Conclusion

На основе рассмотренных систем можно сделать вывод, что современный этап развития экспресс-систем биологического мониторинга характерен следующими основными моментами:

- получено определенное понимание физико-биологических механизмов, лежащих в основе регистрации биологических частиц и, в частности, механизмов флуоресцентного свечения, как основного подхода приборов ПОМ;
- достигнут высокий уровень развития технологий (в частности, создания источников излучения), на основе которых разработаны рассмотренные системы;
- очевидно, что развитие методов анализа биоаэрозольных частиц в ближайшее время будет

определяться разработкой новых источников излучения для эффективного возбуждения флуоресценции частиц;

- развитие метода проточного анализа биоаэрозоля зависит с одной стороны от совершенствования возможностей уже известных подходов, а с другой – от поиска новых методик, позволяющих определять независимые количественные и качественные параметры исследуемых частиц. Характерным примером может быть создание высокоэффективной системы RAAD, объединяющей несколько подходов, в т.ч. ранее не использовавшуюся в ПОМ разрушающую лазерную спектроскопию (LIBS).

Список использованной литературы

1. Advanced Trigger Development / *T. H. Jeys, W. D. Herzog, J.D. Hybl* [et al.] // *Lincoln Laboratory Journal*. 2007. Vol. 17, No. 1. P. 29–60.
2. *Hairston P., Ho J., Quant R.* Design of an instrument for real-time detection of bioaerosols using simultaneous measurement of particle aerodynamic size and intrinsic fluorescence // *Journal of Aerosol Science*. 1997. Vol. 28, No. 3. P. 471–482. DOI: 10.1016/s0021-8502(96)00448-x.
3. Single-particle laser-induced fluorescence spectra of biological and other organic-carbon aerosols in the atmosphere: measurements at New Haven, Connecticut, and Las Cruces, New Mexico / *Y.L. Pan, R.G. Pinnick, S.C. Hill* [et al.] // *Journal of Geophysical Research*. 2007. Vol. 112. P. D24S19 (15 p.).
4. *Bains S., Niccum D., Remiarz R.* A robust laser diode-based fluorescence trigger for bioaerosol monitoring and detection // *Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics / Quantum Electronics and Laser Science Conference and Photonic Applications Systems Technologies*. Washington : Optica Publishing Group, 2007. P. PTuE2. DOI: 10.1364/PHAST.2007.PTuE2.
5. Single-shot fluorescence spectra of individual micrometer-sized bioaerosols illuminated by a 35- or a 266-nm ultraviolet laser / *Y.L. Pan, S. Holler, R.K. Chang* [et al.] // *Optics letters*. 1999. Vol. 24, No. 2. P. 116–118. DOI: 10.1364/ol.24.000116.
6. Development of a novel biological agent real time sensor (BARTS) based on fluorescence particle sizing / *G. Luoma, P. Cherrier, C. Zheng* [et al.] // *Proceedings of 7th International Symposium on Protection against Chemical and Biological Warfare Agents*. Stockholm, 2001. 12 p.
7. *DeFreez R.* Ultraviolet diode laser induced fluorescence detection of biological aerosol agents // *Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics/International Quantum Electronics Conference and Photonic Applications Systems Technologies*. Washington : Optica Publishing Group, 2004. P. CThN1.
8. *DeFreez R.* Design considerations for a practical point detection bioaerosol trigger // *Proceedings of 2nd Joint Conference on Point Detection for Chemical and Biological Defense*. Williamsburg, 2004.
9. Real-time analysis of individual atmospheric aerosol particles: Design and performance of a portable ATOFMS / *E. Gard, J.E. Mayer, B.D. Morrical* [et al.]. *Analytical chemistry*. 1997. Vol. 69, No. 20. P. 4083–4091. DOI: 10.1021/ac970540n.
10. Ламповый прибор для определения состава аэрозолей на основе люминесцентного анализа индивидуальных частиц : пат. 2279663 Рос. Федерация / *С.А. Воробьев*. № 2004117012/28; заявл. 07.06.2004; опубл. 10.07.2006, Бюл. № 19. 14 с.
11. Метод заливки электронных изделий герметиком Висксинт у-1-18 / *Е.И. Кича, В.С. Михайленко, Д.С. Маловик, М.А. Кича* // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2022. Т. 18, № 1. С. 143–153. DOI 10.17122/1999-5458-2022-18-1-143-153.
12. О составе технического проекта и форме представления его документов / *С.Н. Бударин, В.С. Михайленко, О.Н. Половинкина* [и др.] // *Вестник МАНЭБ*. 2022. Т. 27, № 2. С. 5–13.
13. Вариант оформления документа «Перечень специального испытательного оборудования» / *Е.И. Кича, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // *Вестник МАНЭБ*. 2022. Т. 27, № 2. С. 81–88. EDN: RMGCZZ.
14. Вариант оформления документа «Перечень контролируемых и измеряемых параметров» / *Е.И. Кича, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // *Вестник МАНЭБ*. 2022. Т. 27, № 2. С. 73–80. EDN: LEUPRP.
15. Вариант оформления документа «Схема деления изделия на составные части – схема деления структурная» / *Е.И. Кича, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // *Вестник МАНЭБ*. 2022. Т. 27, № 2. С. 31–36. EDN: HZCELK.
16. Вариант оформления документа «Техническое описание специального испытательного оборудования» / *Е.И. Кича, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // *Вестник МАНЭБ*. 2022. Т. 27, № 2. С. 89–92. EDN: CQVPJT.
17. *Зайцева В.В., Михайленко В.С., Кича М.А.* Методы лазерной спектроскопии: краткая характеристика и области применения // *Вестник МАНЭБ*. 2021. Т. 26, № 3. С. 61–67.
18. Зависимость точности определения предела случайной погрешности воспроизведения или определения физической величины техническим средством от количества измерений / *В.В. Зайцева, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // *Вестник МАНЭБ*. 2021. Т. 26, № 3. С. 27–30.

19. Кича М.А., Шатилов В.В., Родин В.Г. Методика оценки вредного воздействия загрязняющих веществ изделий Военно-Морского Флота на окружающую природную среду // Экология и развитие общества. 2022. № 1–2(38). С. 63–67.

References

1. Advanced Trigger Development / T.H. Jeys, W.D. Herzog, J.D. Hybl [et al.] // Lincoln Laboratory Journal. 2007. Vol. 17, No. 1. P. 29–60.
2. Hairston P., Ho J., Quant R. Design of an instrument for real-time detection of bioaerosols using simultaneous measurement of particle aerodynamic size and intrinsic fluorescence // Journal of Aerosol Science. 1997. Vol. 28, No. 3. P. 471–482. DOI: 10.1016/s0021-8502(96)00448-x.
3. Single-particle laser-induced fluorescence spectra of biological and other organic-carbon aerosols in the atmosphere: measurements at New Haven, Connecticut, and Las Cruces, New Mexico / Y.L. Pan, R.G. Pinnick, S.C. Hill [et al.] // Journal of Geophysical Research. 2007. Vol. 112. P. D24S19 (15 p.).
4. Bains S., Niccum D., Remiarz R. A robust laser diode-based fluorescence trigger for bioaerosol monitoring and detection // Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics / Quantum Electronics and Laser Science Conference and Photonic Applications Systems Technologies. Washington: Optica Publishing Group, 2007. P. PTuE2. DOI: 10.1364/PHAST.2007.PTuE2.
5. Single-shot fluorescence spectra of individual micrometer-sized bioaerosols illuminated by a 35- or a 266-nm ultraviolet laser / Y.L. Pan, S. Holler, R.K. Chang [et al.] // Optics letters. 1999. Vol. 24, No. 2. P. 116–118. DOI: 10.1364/ol.24.000116.
6. Development of a novel biological agent real time sensor (BARTS) based on fluorescence particle sizing / G. Luoma, P. Cherrier, C. Zheng [et al.] // Proceedings of 7th International Symposium on Protection against Chemical and Biological Warfare Agents. Stockholm, 2001. 12 p.
7. DeFreez R. Ultraviolet diode laser induced fluorescence detection of biological aerosol agents // Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics/International Quantum Electronics Conference and Photonic Applications Systems Technologies. Washington: Optica Publishing Group, 2004. P. CThN1.
8. DeFreez R. Design considerations for a practical point detection bioaerosol trigger // Proceedings of 2nd Joint Conference on Point Detection for Chemical and Biological Defense. Williamsburg, 2004.
9. Real-time analysis of individual atmospheric aerosol particles: Design and performance of a portable ATOFMS / E. Gard, J.E. Mayer, B.D. Morrical [et al.]. Analytical chemistry. 1997. Vol. 69, No. 20. P. 4083–4091. DOI: 10.1021/ac970540n.
10. Tube-based device for determination of aerosol composition through luminescent analysis of separate particles: pat. 2279663 Russian Federation / S.A. Vorobyev. No. 2004117012/28; Appl. 07.06.2004; publ. 10.07.2006. Bul. No. 19. 14 p. (in Russian).
11. Method of filling electronic products with viksint U-1-18 sealant / E.I. Kicha, V.S. Mikhailenko, D.S. Malovik, M.A. Kicha // Electrical & Data Processing Facilities & Systems. 2022. Vol. 18, No. 1. P. 143–153. DOI 10.17122/1999-5458-2022-18-1-143-153 (in Russian).
12. On the composition of the technical project and the form of submission of its documents / S.N. Budarin, V.S. Mikhailenko, O.N. Polovinkina et al. // Vestnik IAELPS (Proceedings of International Academy of Ecology and Life Protection Sciences). 2022. Vol. 27, No. 2. P. 5–13 (in Russian).
13. Version of the document "List of special test equipment" / E.I. Kicha, M.A. Kicha, D.S. Malovik et al. // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 81–88 (in Russian).
14. Version of the document "List of controlled and measured parameters" / E.I. Kicha, M.A. Kicha, D.S. Malovik et al. // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 73–80 (in Russian).
15. Version of the document "Scheme for dividing a product into component parts – scheme of structural division" / E.I. Kicha, M.A. Kicha, D.S. Malovik et al. // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 31–36 (in Russian).
16. Version of the document "Technical description of special test equipment" / E.I. Kicha, M.A. Kicha, D.S. Malovik et al. // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 89–92 (in Russian).
17. Zaitseva V.V., Mikhailenko V.S., Kicha M.A. Laser spectroscopy methods: A brief characteristic and applications // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 3. P. 61–67 (in Russian).
18. The accuracy dependence of determining the limit of the random error of reproduction or the determination of a physical value by technical means on the number of measurements / V.V. Zaitseva, M.A. Kicha, D.S. Malovik et al. // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 3. P. 27–30 (in Russian).
19. Kicha M.A., Shatilov V.V., Rodin V.G. Methodology for assessing the harmful effects of pollutants of navy products on the environment // Ekologiya i razvitie obshchestva (Ecology and development of society). 2022. No. 1–2(38). P. 63–67 (in Russian).

Сведения об авторах

Волчек Андрей Олегович, к.ф.-м.н., главный конструктор АО «НПО «Прибор». Адрес: 199034, Россия, Санкт-Петербург, 17-я линия В.О., д. 4–6. Тел.: +7 (812) 323-24-57. E-mail: volchek@npo-pribor.ru.

Михайленко Вадим Сергеевич, научный сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30. Тел.: +7 (812) 405-07-35. E-mail: vamih60@yandex.ru.

Маловик Дмитрий Сергеевич, младший научный сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30. Тел.: +7 (812) 405-07-35. E-mail: dimamalovik@gmail.com.

Кича Екатерина Игоревна, инженер ООО «Судпромкомплект». Адрес: 129226, Москва, Сельскохозяйственная ул., д. 12а, стр. 1. Тел.: +7 (495) 617-39-48. E-mail: ekaterina_kicha@icloud.com.

About the authors

Andrey O. Volchek, Cand. Sci. (Phys. & Math.), Chief Designer, NPO Pribor JSCC. Address: 4–6, 17th Line of Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, Russia, post code 199034. Tel.: +7 (812) 323-24-57. E-mail: volchek@npo-pribor.ru.

Vadim S. Mikhailenko, Researcher, Naval Shipbuilding and Armaments Research Centre, Kuznetsov Naval Academy. Address: 30, Chapaeva st., St. Petersburg, Russia, post code 197101. Tel.: +7 (812) 405-07-35. E-mail: vamih60@yandex.ru.

Dmitry S. Malovik, Junior Researcher, Naval Shipbuilding and Armaments Research Centre, Kuznetsov Naval Academy. Address: 30, Chapaeva st., St. Petersburg, Russia, post code 197101. E-mail: dimamalovik@gmail.com.

Ekaterina I. Kicha, Engineer, Sudpromkomplekt LLC. Address: 12a (building 1), Selskohozyaystvennaya st., Moscow, Russia, post code 129226. Tel.: +7 (495) 617-39-48. E-mail: ekaterina_kicha@icloud.com.

Поступила / Received: 12.10.22
Принята в печать / Accepted: 03.02.23
© Коллектив авторов, 2023