

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ашмарин В. В.¹

*(АО «Государственный научно-исследовательский
институт приборостроения», Москва)*

Борзунов А. В.²

*(Московский авиационный институт (Национальный
исследовательский университет), Москва)*

Проведен комплексный анализ современных тенденций развития инерциальных навигационных систем для беспилотных летательных аппаратов, выполненный на основе обширного патентного исследования, базирующегося на анализе большого количества патентов, охватывающих период с 2003 по 2024 год, что позволяет получить достоверную картину технического прогресса в данной области. Основное внимание в работе уделяется четырём ключевым направлениям совершенствования инерциальных навигационных систем: повышению точности определения координат, увеличению надёжности и стойкости к внешним воздействиям, уменьшению массогабаритных характеристик и снижению стоимости, а также расширению функциональных возможностей систем. Особое место в исследовании занимает анализ развития автономности и помехозащищённости как приоритетных направлений модернизации. В ходе проведения исследования проведён детальный анализ элементной базы зарубежных инерциальных навигационных систем тактического класса, выявлены основные технические характеристики современных систем. На основе патентного анализа определены ведущие разработки в данной сфере и составлена картина географического распределения инновационных разработок. Методологической основой исследования послужил комплексный подход, включающий патентный анализ, сравнительную оценку технических характеристик и выявление тенденций развития инерциальных навигационных систем. Результаты проведённого исследования позволяют не только оценить текущее состояние технологий, но и сформировать прогнозы дальнейшего развития автономных навигационных систем для беспилотной авиации.

Ключевые слова: инерциальная навигационная система, беспилотный летательный аппарат, патентные исследования.

¹ Владимир Валерьевич Ашмарин, к.т.н., начальник бюро (v.v.ashmarin@mail.ru).

² Аркадий Васильевич Борзунов, к.т.н., доцент (arcbor@mail.ru).

1. Введение

Тенденции развития бортовых комплексов управления беспилотных летательных аппаратов (БЛА) продолжают складываться в ответ на растущие требования к точности, надежности и адаптивности систем. Важную роль в анализе современного состояния и будущего развития бортовых комплексов управления БЛА играют патентные исследования, так как они позволяют получить ценную информацию о текущих технологиях, достижениях и направлениях развития. В условиях быстро меняющегося мира, где инновации в области авиационной промышленности становятся все более критически важными, патентные исследования предоставляют ряд преимуществ, которые могут оказать значительное влияние на стратегическое развитие и конкурентоспособность [6].

Патентная информация, занимая особое место в ряду различных видов научно-технической информации, обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с остальными видами научно-технической информации. Среди таких преимуществ можно выделить максимальную достоверность и полноту, оперативность, позволяющую предвидеть товары и услуги за несколько лет до их фактического появления на рынке.

Патентная информация – это совокупность сведений о результатах научно-технической деятельности, содержащихся в описаниях патентных документов, публикуемых патентными ведомствами всех стран мира [7].

Существующие информационно-поисковые программы позволяют выполнять поиск по индексам международной патентной классификации, по ключевым словам, по именам авторов и заявителей, по номерам, дате публикаций и дате заявки. Международная патентная классификация представляет собой иерархическую систему для тематической классификации и поиска патентных материалов в конкретных областях.

Анализ патентной документации в интересующей области техники позволяет получить представление об уровне техники и сложившихся тенденциях, выявить наиболее перспективные направления развития, конкретные технические решения, ис-

пользуемые для целей научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Отбор патентной документации осуществляется по результатам проведения патентного поиска, в ходе которого формируется массив релевантных документов, в отношении которых осуществляется дальнейший анализ.

Целью работы является определение технического уровня и выявление тенденций развития инерциальных навигационных систем беспилотных летательных аппаратов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Проведение патентного поиска по электронным базам данных и информационного поиска по любым общедоступным электронным ресурсам и сведениям в мире.

2. Анализ уровня техники в ведущих областях по техническому решению и главной функции объекта исследований и выявление тенденций его развития [2, 15, 16].

2. Уровень техники объекта исследования

Базовым направлением развития инерциальных систем летательных аппаратов является технология бесплатформенных систем, которая характеризуется целым рядом известных преимуществ, но в первую очередь – надежностью и резким повышением технического ресурса. По своему назначению рассматриваемые системы можно подразделить на:

- бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС);
- гиро- и курсовертикали;
- информационные системы (приборы) каналов управления и стабилизации движения летательного аппарата (как правило, это резервные системы).

Интенсификация работ в области БИНС и их составных блоков связана с развитием главным образом ракетно-космических технологий. Ученым и специалистам, работающим в этой отрасли, принадлежат основные публикации в области теории и проектирования БИНС, например, монография В.Н. Бранца и И.П. Шмыглевского [3], а также труд

В.В. Матвеева и В.Я. Распопова [8]. Вопросы построения БИНС и бесплатформенных систем ориентации с малыми массой, габаритами и энергопотреблением, которые являются одними из самых востребованных систем ориентации и управления в различных областях техники, также рассматриваются в диссертации В.А. Орлова [10].

Ключевыми характеристиками бортового комплекса управления БЛА являются точность и надежность, которые обеспечиваются за счет применения различных методов коррекции данных и использования передовых технологий их создания. Точностные характеристики, обеспечиваемые БИНС, предназначенной для выполнения задач инерциальной навигации при управлении БЛА и стабилизации в пространстве, в первую очередь определяются погрешностями датчиков первичной информации. Так как при увеличении времени работы БИНС погрешности нарастают, даже наиболее точные из существующих на сегодняшний день датчиков не обеспечивают в автономном режиме работы БИНС вывод БЛА в требуемую область с требуемой точностью [1, 4, 14].

Современное развитие микросистемной техники, в частности, появление микромеханических инерциальных чувствительных элементов (акселерометров и гироскопов) позволяет создавать миниатюрные БИНС, обладающие малыми массой и габаритами, и использовать их в новых областях техники [10, 22, 25].

Объем и точность формирования выходной информации определяется типом БИНС, что находит свое прямое отражение на требованиях к точности используемых в системе гироскопов и акселерометров [5, 12].

Современное состояние и перспективы развития комплексов бортового радиоэлектронного оборудования освещены и составлены Н.В. Павловым [11] на основании материалов, опубликованных в средствах массовой информации РФ, а также аналитических обзоров по материалам зарубежной информации и технических переводов зарубежных статей, осуществленных в 2010–2013 гг. во ФГУП «ГосНИИАС». Обзор также охватывает вопросы развития интегрированных инерциальных навигационных систем, систем технического зрения, систем предупре-

ждения опасного сближения с землей и систем организации воздушного движения – программы NextGen и SESAR [11].

В последние годы стали доступны инерциальные устройства нового типа с компактными гироскопами и акселерометрами на основе микроэлектромеханической технологии (MEMS) с низкой стоимостью и малыми габаритами [12, 19, 24, 26]. Их применение в составе инерциальных систем с коррекцией описано в труде [9].

Провести оценку текущего состояния уровня технического развития БИНС позволяют патентные исследования. Анализ общедоступных научно-технических и информационных источников дает возможность выявить основные технические характеристики современных зарубежных БИНС (см. таблицу 1) [13, 17, 18, 20, 21, 23].

Таблица 1. Основные технические характеристики современных зарубежных БИНС

Наименование характеристики	HG1900 (Honeywell (US)) [20]	ER-MIMU02 (Ericco (CN)) [18]	NAV-200 (Inertial Labs (US)) [21]	MOTUS (Advanced Navigation (AU)) [23]
Гироскоп				
Диапазон измерений, град/с	±1000	±450	±450	±475
Дрейф нуля (при экспл.), град/ч (1σ)	1,0	2,0	0,3	<3
Акселерометр				
Диапазон измерений, g	±30	±16	±40	±10
Дрейф нуля (при экспл.), mg (1σ)	0,3	0,024	0,007	<0,45
Общие				
Масса, г	500	50	155	98
Объем, см ³	285	30	128	85
Ударное воздействие, g	25	30	40	150
Рабочие температуры, °C	-40 ... +75	-40 ... +80	-40 ... +85	-40 ... +85

Рассмотренные БИНС на сегодняшний день являются наиболее точными системами тактического класса для БЛА малой дальности и обеспечивают определение кинематических параметров движения, стабилизацию и управление по заданной траектории в режимах инерциальной навигации и самонаведения. Внешний вид БИНС приведен на рис. 1 [18, 20, 21, 23].

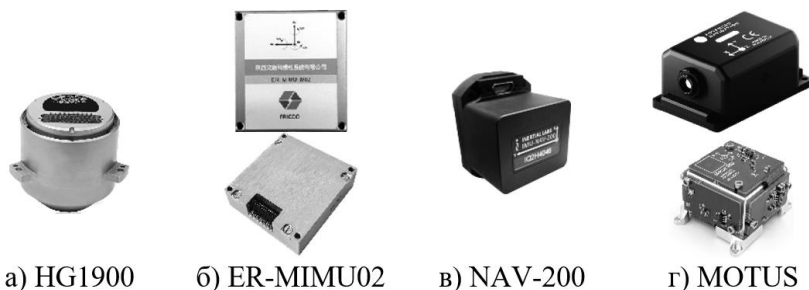


Рис. 1. Внешний вид зарубежных БИНС

Помимо оценки технического уровня современных БИНС важно прогнозировать будущее технического прогресса исследуемой области. Патентные исследования с целью определения тенденций развития позволяют выявлять направления, где существует потенциал для инноваций, определять пробелы в существующих технологиях и обнаруживать организации-конкуренты. Помимо этого анализ патентной информации позволяет не только формировать перечень требований потребителя к продукции, но и определить степень их значимости.

Для определения тенденций развития БИНС БЛА была сформирована выборка патентов (63 патента в диапазоне 2003–2024 гг.) с распределением их по географической принадлежности в процентном соотношении (см. рис. 2).

В дополнение к рис. 2 на рис. 3 представлено распределение выборки патентов по географической принадлежности и количеству публикаций в год на указанном диапазоне.

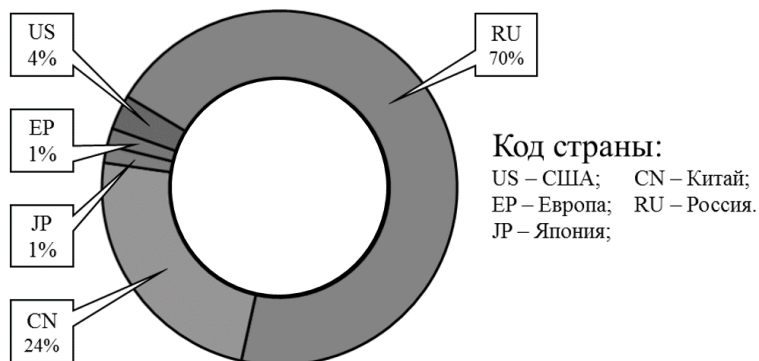


Рис. 2. Распределение отобранных патентов по географической принадлежности и статусам

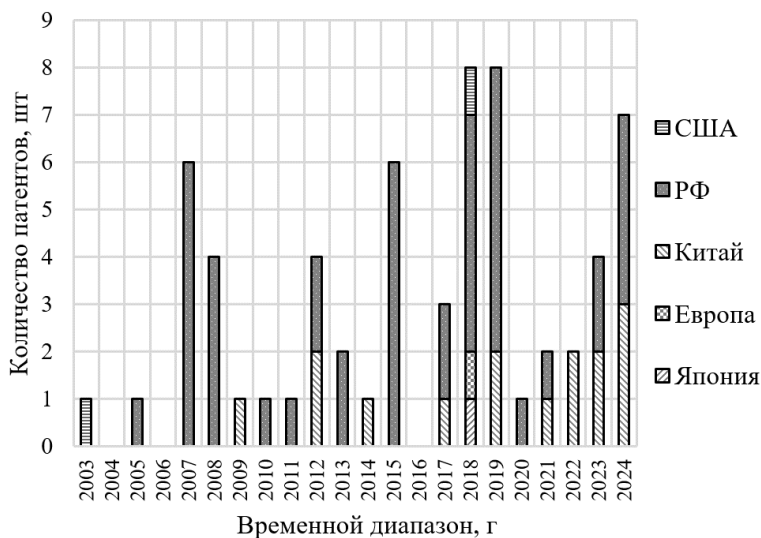


Рис. 3. Распределение отобранных патентов по географической принадлежности и количеству публикаций в год

Анализ выборки патентов позволил выявить достигаемые в них технические результаты и установить следующие основные направления патентования исследуемой области:

- P1 – Повышение точности определения координат местоположения;
- P2 – Повышение надежности и стойкости к внешним воздействиям;
- P3 – Уменьшение массогабаритных характеристик и снижение стоимости;
- P4 – Расширение функциональных возможностей.

На основе выявленных направлений исследований были сформированы динамические ряды патентования и построено семейство кривых, отображающих динамику изобретательской активности (см. рис. 4) – графическое представление патентной активности (числа зарегистрированных патентов) в определённой области или по определённой теме за определённый период времени.

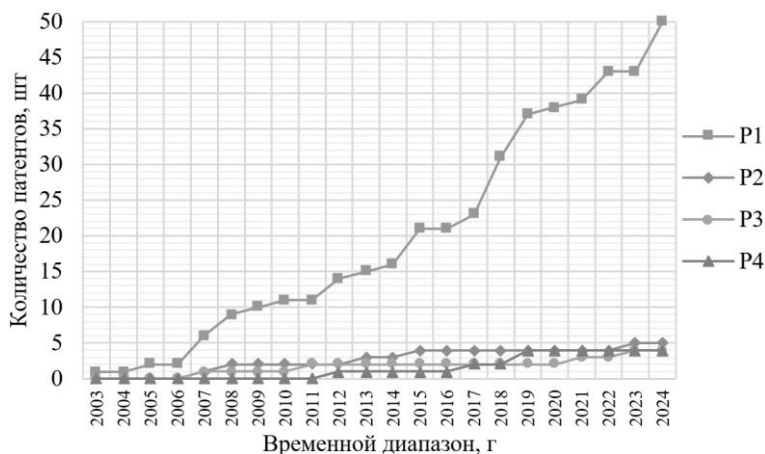


Рис. 4. Семейство кривых, отображающих динамику изобретательской активности

При проведении анализа выборки патентов одновременно с выявлением направлений патентования удалось сформулировать основные направления разработок в отобранных патентах, которые приведены в таблице 2.

Для прогнозирования дальнейших изменений в исследуемой области был применен регрессионный анализ, позволяю-

щий вычислить некоторые значения переменной по известным значениям. Одним из инструментов регрессионного анализа является линия тренда, позволяющая графически отобразить тенденции развития патентования и предсказать будущие значения за пределами реальных данных (см. рис. 5).

Таблица 2. Направления разработок в отобранных патентах

Направление патентования	Направления разработок в патентах
Повышение точности определения координат местоположения	<ul style="list-style-type: none"> • Методы улучшения точности и надежности ИНС; • Использование алгоритмов фильтрации Калмана и других методов обработки данных; • Компенсация систематических погрешностей и дрейфа датчиков; • Разработка интеллектуальных алгоритмов обработки данных с использованием машинного обучения
Повышение надежности и стойкости к внешним воздействиям	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка отказоустойчивых ИНС с резервированием датчиков; • Методы защиты от радиоэлектронных помех и GPS-спуфинга; • Использование инерциальной навигации для работы в сложных условиях
Уменьшение массогабаритных характеристик и снижение стоимости	<ul style="list-style-type: none"> • Интеграция ИНС с другими бортовыми системами; • Возложение на ИНС вспомогательных функций; • Разработка и применение новых перспективных датчиков первичной информации
Расширение функциональных возможностей	<ul style="list-style-type: none"> • Интеграция ИНС с другими датчиками для повышения точности и надежности навигации • Использование данных GPS, барометров, магнитометров, видеокамер и других источников • Разработка алгоритмов сенсорного синтеза для оптимальной обработки данных

График дополнен уравнением линии тренда и значением квадрата смешанной корреляции R^2 (достоверность аппроксимации), отражающее близость значений линии тренда к фактическим данным и принимающее значение в пределах $0 \leq R^2 \leq 1$. Линия тренда в наибольшей степени приближается к значениям точек кривой изобретательской активности, если значение равно или близко к единице [2, 15, 16].

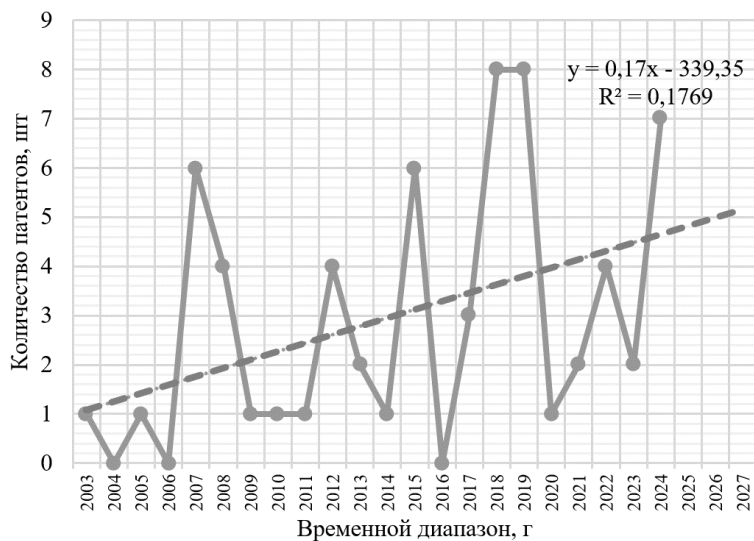


Рис. 5. Кривая изобретательской активности и линия тренда

Анализ отобранных патентов позволил выявить основные предприятия и организации, а также физических лиц, которые являются правообладателями патентов.

Лидерами по количеству патентов Российской Федерации являются Хмелевский Анатолий Сергеевич (RU) и Щипицын Анатолий Георгиевич (RU), каждый из которых имеет по 4 патента на изобретение в соавторстве.

Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. Академика А.Г. Шипунова» (RU), Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики» (ПАО «МИЭА») (RU) и Российская Федерация, от

имени которой выступает государственный заказчик – Министерство обороны Российской Федерации (RU) – имеют каждый по 3 патента на изобретение, в том числе в соавторстве.

Открытое акционерное общество «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» (RU), Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тульский государственный университет (ТулГУ) (RU), Открытое акционерное общество Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского (ОАО МНПК «Авионика») (RU) имеют по 2 патента на изобретение.

Лидером по количеству патентов зарубежных стран является UNIV NORTHWESTERN POLYTECHNIC (CN) (Северо-западный политехнический университет): государственный научный и инженерный университет в Сиане проводит исследования в области авиации, космонавтики и морской техники, связан с Министерством промышленности и информационных технологий. Является правообладателем 3 патентов на изобретение.

Остальные отечественные и зарубежные организации имеют в правообладании по одному патенту.

3. Заключение

В результате проведенного поиска по патентным базам и научно-техническим источникам информации были обнаружены охранные документы, имеющие отношение к бесплатформенным инерциальным навигационным системам.

Анализ отобранной патентной и научно-технической информации позволил установить основные направления патентования исследуемой области. Исходя из полученного семейства кривых, отображающих динамику изобретательской активности, видно, что количество патентов по направлению патентования «Повышение точности определения координат местоположения беспилотного летательного аппарата» на порядок превосходит количество патентов по любому другому направлению.

Результат построения линии тренда показывает, что тенденция патентования изобретений и полезных моделей

в направлении совершенствования бесплатформенных инерциальных навигационных систем имеет характер увеличения в ближайшие годы. Наибольшая активность авторов будет направлена в первую очередь на развитие технологий, необходимых для повышения точностных характеристик системы в автономном режиме работы.

Литература

1. АГЕЕВ А.М., ПОПОВ А.С., ВОЛОБУЕВ М.Ф. *Принципы построения бортовых комплексов управления беспилотных летательных аппаратов различного класса надежности* // Военная мысль. – 2018. – №11. – С. 61–69.
2. БОЛЬШЕДВОРСКАЯ Л.Г. *Патентоведение: учебное пособие*. – М.: ИД Акад. Жуковского, 2024. – 64 с.
3. БРАНЕЦ В.Н., ШМЫГЛЕВСКИЙ И.П. *Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем*. – М.: Наука, 1992. – 281 с.
4. ВАЛОВ Г.Е. *Анализ технических характеристик совмещенных инерциальных и спутниковых навигационных систем* // Пространственные данные: наука и технологии: Сборник статей по итогам научных конференций. – 2021. – №12. – С. 152–161. – DOI: 10.30533/scidata-2021-12-152-161
5. ИЗМАЙЛОВ Е.А. *Современные тенденции развития технологий инерциальных чувствительных элементов и систем летательных аппаратов* // Труды МИЭА. – 2010. – №1. – С. 30–43.
6. ИЛЮХИН С.Н., ТОПОРКОВ А.Г., КОРЯНОВ В.В. и др. *Актуальные аспекты разработки системы управления перспективными беспилотными летательными аппаратами* // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2015. – №9(45). – С. 1–16.
7. ЛЫЧАГИНА А.Г. *Основы патентоведения: практикум*. – Липецк: ЛГПУ имени П. П. Семенова-Тян-Шанского, 2024. – 51 с.
8. МАТВЕЕВ В.В., РАСПОПОВ В.Я. *Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем* /

- Под общ. ред. д.т.н. В.Я. Распопова. – Спб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2009. – 280 с.
9. МИШИН А.Ю., КИРЮШИН Е.Ю., ОБУХОВ А.И. и др. *Малогобаритная комплексная навигационная система на микромеханических датчиках* // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2013. – №70. – С. 1–21.
 10. ОРЛОВ В.А. *Инерциальные измерительные системы параметров движения объектов на микромеханических датчиках*: автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.11.16. – Тула: ГУО ВПО «Тульский государственный университет», 2007. – 19 с.
 11. ПАВЛОВ Н.В. *Бортное радиоэлектронное оборудование: навигационные системы и комплексы (Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников)* / Сост. Н.В. Павлов / Под общ. ред. академика РАН Е.А. Федосова. – М.: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2014. – 140 с.
 12. ПЕШЕХОНОВ В.Г. *Перспективы развития гироскопии* // Гироскопия и навигация. – 2020. – Т. 28, №2(109). – С. 3–10. – DOI: 10.17285/0869-7035.0028.
 13. ПРОХОРЦОВ А.В., БАЛАБАЕВ О.С. *Обзор бесплатформенных инерциальных навигационных систем отечественного и импортного производства* // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – №7. – С. 350–355.
 14. СИНЕЛЬНИКОВ А.О., ТИХМЕНЕВ Н.В., УШАНОВ А.А. и др. *Современное состояние и тенденции развития инерциальных навигационных систем на кольцевых лазерных гироскопах* // Фотоника. – 2024. – Т. 18, №6. – С. 450-466. – DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2024.18.6.450.466.
 15. СОКОЛОВА Д.О. *Патентоведение и патентные исследования: учебное пособие*. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024. – 110 с.
 16. СОКОЛОВА Д.О. *Патентоведение и патентные исследования: учебное пособие*. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. – 112 с.

17. DAMIANOS D., GIRARDIN G. *High-End Inertial Sensors for Defense, Aerospace & Industrial Applications* // Market and Technology Report by Yole Development, 2020.
18. *ER-MIMU-M02* | High Performance MEMS IMU Supplier - ERICCO China [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ericcointernational.com/inertial-measurement-units/mems-inertial-measurement-unit/er-imu-m02-inertial-measurement-unit> (дата обращения: 19.05.2025).
19. HEGARTY C., O'KEEFE S., O'CONNOR M. *Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) for Navigation and Positioning* // IEEE Sensors Journal. – 2023. – Vol. 23, No. 12. – P. 12345–12356.
20. *HG1900 Inertial Measurement Unit* | N61-1468-001-002 | 12/18 © 2018 Honeywell International Inc.
21. *Inertial Labs IMU-NAV-200* | Datasheet Revision 1.1.
22. LI X., GAO Y., HU X. *Advanced Inertial Navigation Systems: Technologies and Applications*. – Springer. – 2022. – 350 p.
23. *MOTUS MEMS IMU* © Advanced Navigation – v2.2. – November 2024.
24. PASSARO V.M.N., CUCCOVILLO A., VAIAM L. et al. *Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective* // Sensors. – 2017. – Vol. 17, 2284. – P. 1–22.
25. ROBIN L., PERLMUTTER M. *Gyroscopes and IMUs for Defence Aerospace and Industrial* // Report by Yole Development, 2012.
26. SALYCHEV O.S., SAZONOV A.A., SAZONOV A.A. *Development of Micro-Electro-Mechanical Applications* // Gyroscopy and Navigation. – 2020. – Vol. 11, No. 3. – P. 215–224.

DEVELOPMENT TRENDS OF INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON THE RESULTS OF PATENT RESEARCH

Vladimir Ashmarin, JSC «State Research Institute of Instrument Engineering», Moscow, Ph.D. of Engineering Sciences, Head of the Bureau (v.v.ashmarin@mail.ru).

Arkady Borzunov, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor (arcbor@mail.ru).

Abstract: A comprehensive analysis of current trends in the development of inertial navigation systems for unmanned aerial vehicles has been carried out, based on an extensive patent study based on the analysis of a large number of patents covering the period from 2003 to 2024, which allows us to obtain a reliable picture of technological progress in this area. The main focus of the work is on four key areas of improvement of inertial navigation systems: improving the accuracy of determining coordinates, increasing reliability and resistance to external influences, reducing weight and cost, as well as expanding the functionality of the systems. A special place in the study is occupied by the analysis of the development of autonomy and noise immunity as priority areas of modernization. In the course of the study, a detailed analysis of the element base of foreign inertial navigation systems of tactical class was carried out, and the main technical characteristics of modern systems were identified. Based on the patent analysis, the leading developers in this field have been identified and a picture of the geographical distribution of innovative developments has been compiled. The methodological basis of the research was an integrated approach, including patent analysis, comparative evaluation of technical characteristics and identification of trends in the development of inertial navigation systems. The results of the study make it possible not only to assess the current state of technology, but also to form forecasts for the further development of autonomous navigation systems for unmanned aircraft.

Keywords: inertial navigation system, unmanned aerial vehicle, patent research.

УДК 629.7.05

ББК 39.671.6

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Л.Б. Рапопортом.*

*Поступила в редакцию 04.07.2025.
Опубликована 30.09.2025.*