

---

---

# ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ И НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

---

---

УДК 527.62  
DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-12-1094-1102

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНОЙ СПУТНИКОВОЙ ЛОКАЛЬНО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Д. Е. ЧИКРИН, П. А. САВИНКОВ, П. А. КОКУНИН, Р. И. ШАГИЕВ

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Казань, Россия  
E-mail: dmitry.kfu@gmail.com*

Рассмотрены современные тенденции создания интегрированных навигационных систем беспилотных транспортных средств. Обоснованы технические требования к перспективным отечественным навигационным системам беспилотных транспортных средств. Разработана и протестирована четырехточечная инерциальная система навигации, позволяющая повысить точность и достоверность получаемых траекторий движения транспортного средства. В модельных экспериментах погрешность отклонения восстановленной траектории от истинной составила порядка 2 % от пройденного расстояния. Разработана и реализована совмещенная система навигации с бесшовным переходом со спутниковой навигации на инерциальную и наоборот. Реализованы алгоритмы калибровки одометрических данных, определения начального курса транспортного средства, а также алгоритмы компенсации дрейфов инерциальной системы по данным спутниковой навигации.

**Ключевые слова:** глобальные навигационные спутниковые системы, инерциальные навигационные системы, системы локальной навигации, беспилотные транспортные средства

**Введение.** Ключевым моментом при управлении беспилотным транспортным средством (ТС) является определение в режиме реального времени его навигационных параметров (координат, времени, пространственной ориентации, линейных и угловых скоростей, линейных и угловых ускорений).

Надежное выполнение таких задач, как движение по заданному маршруту, удержание в полосе, перестроение и различные режимы маневрирования, накладывает существенные ограничения на прецизионность навигационной подсистемы беспилотного ТС [1, 2]. С учетом габаритов ТС (здесь рассматриваются грузовые ТС с шириной колесной базы не менее 2,5 м и длиной не менее 8 м), типовой ширины полосы движения (3 м), а также кинематики движения ТС, предъявлены соответствующие требования к точности выработки навигационных параметров в задачах управления беспилотными транспортными средствами (колоннами беспилотных ТС):

Погрешность определения

координат, СКО, м:

план (горизонталь)..... 0,1  
высота (вертикаль)..... 0,2

Погрешность определения составляющих вектора скорости, СКО, м/с:	
план (горизонталь) .....	0,02
высота (вертикаль).....	0,04
Погрешность определения составляющих вектора линейных ускорений, СКО, м/с <sup>2</sup> :	
план (горизонталь).....	0,1
высота (вертикаль).....	0,3
Погрешность определения составляющих векторов угловой скорости по всем углам Эйлера, СКО, град/с.....	1
Погрешность определения угловой ориентации СКО, град. ....	0,5

Требования к точности позиционирования беспилотного ТС также определяются с учетом особенностей системы управления ТС. Так, при движении ТС с колесной базой не менее 2,5 м в полосе шириной 3 м расстояние между бортом ТС и дорожной разметкой составляет менее 0,5 м. С учетом погрешности работы узлов и агрегатов системы управления ТС для обеспечения безопасного расстояния между ТС и другими объектами погрешность позиционирования ТС в горизонтальной плоскости должна быть порядка 0,1 м. Точность определения позиционирования по высоте существенно влияет на вычисление длины пути, который проходит ТС в случае существенного изменения высоты на пути следования.

Приведенные требования определяют необходимость комплексного применения самых передовых навигационных технологий, основанных на различных физических принципах, поскольку требования к точности навигации должны выполняться вне зависимости от того, движется транспортное средство по открытой местности, в условиях городской застройки, или в закрытом помещении.

Одной из составляющих такой интегрированной системы, отвечающей указанным требованиям, являются аппаратно-программные средства высокоточной навигации по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Требованиям к указанной точности определения координат отвечают две базовые ГНСС-технологии: RTK (Real Time Kinematic) и PPP (Precise Point Positioning). Технология RTK ограничивает зону использования радиусом действия базовых станций ГНСС, необходимых для функционирования этого режима. Технология PPP рассматривается как наиболее перспективная, поскольку не требует специальной инфраструктуры для обеспечения корректирующей информацией, а вследствие перспективы передачи корректирующей информации с геостационарных спутников, а также непосредственно со спутников ГЛОНАСС, технология может использоваться повсеместно, вне зависимости от наличия или отсутствия какой-либо информационной инфраструктуры (в том числе и при отсутствии покрытия GSM).

Однако при наличии помех приему спутниковых сигналов, преднамеренных либо естественных (частичное затенение сигналов ГНСС высокими деревьями, зданиями и иными объектами на пути следования транспортного средства), точность решения по сигналам ГНСС может существенно ухудшаться, вплоть до временного пропадания решения. Использование комплексного решения спутниково-инерциальной навигации позволит не только с высокой точностью получать первичную информацию о линейных и угловых ускорениях транспортного средства, но также обеспечить выработку навигационного решения в сложных условиях приема спутниковых сигналов (а также при временном пропадании приема спутниковых сигналов) без потери надлежащей точности.

Поскольку перемещение транспортных средств происходит не только на открытом (для приема спутниковых сигналов) пространстве, но также и внутри помещений (ангаров), то навигационная система таких транспортных средств должна предусматривать выработку навигационного решения требуемой точности с „бесшовным“ автоматическим переходом между

технологиями спутниковой и локальной навигации в интеграции с системой инерциальной навигации.

В статье приведены общие принципы построения интегрированных навигационных систем беспилотных транспортных средств, сформулированы основные требования к их функциональным и эксплуатационным характеристикам в зависимости от комплекса решаемых задач и условий применения.

**Предлагаемое решение.** В настоящей статье рассматривается задача построения системы спутниковой локально-инерциальной навигации беспилотного транспортного средства без учета системы технического зрения, одной из задач которой является обнаружение препятствий на пути движения беспилотного ТС и принятие решения об управлении беспилотным ТС.

На рис. 1 представлена общая структурная схема предлагаемого решения. Система содержит инерциальную подсистему (четыре инерциальных сборки), ГНСС-подсистемы (ГНСС-приемник и ГНСС-антенна) и вычислительного блока.

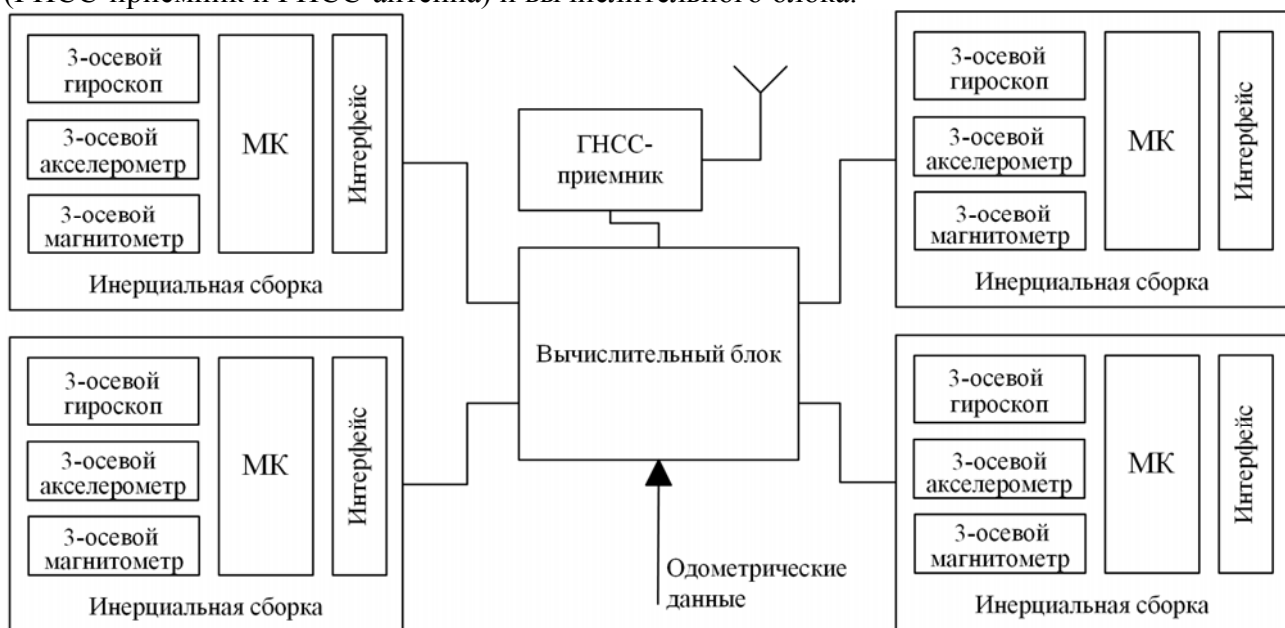


Рис. 1

Инерциальная подсистема позволяет получать навигационные оценки (координаты и углы поворота транспортного средства) при плохом качестве или полном отсутствии ГНСС-сигнала. Применение избыточного количества инерциальныхборок позволяет повысить точность инерциальной подсистемы навигации путем компенсации ошибок каждого отдельного датчика по трем другим [3—5]. Каждая инерциальная сборка содержит трехосевой гироскоп, трехосевой акселерометр, трехосевой магнитометр, микроконтроллер и трансивер интерфейса передачи данных. Инерциальные сборки измеряют линейные ускорения и угловые скорости с частотой до 100 Гц и передают данные на вычислительный блок.

ГНСС-подсистема построена на базе двухчастотного ГНСС-приемника, работающего в режиме PPP с частотой до 10 Гц и обеспечивающего точность определения координат не менее 10 см.

Вычислительный блок принимает данные со всех внешних устройств, осуществляет фильтрацию и вычисление координат инерциальной системы навигации, декодирование данных ГНСС-приемника, а также своевременное переключение с ГНСС-навигации на инерциальную и наоборот.

Расчет навигационных оценок инерциальной системы навигации основан на совмещении данных инерциальных датчиков с одометрическими данными транспортного средства

(текущая скорость передвижения). Ниже приведен краткий алгоритм работы подсистемы инерциальной навигации, реализованный в вычислительном блоке.

1. Прием данных с четырехинерциальных сборок.

2. Применение калибровочных поправок для акселерометра, гироскопа и магнитометра индивидуально для каждого датчика. Калибровочные поправки корректируют неортогональность осей датчиков, нулевые сдвиги, а также масштабные коэффициенты. Калибровочные поправки получены на калибровочно-измерительном стенде собственного исполнения.

3. При первом включении устройства происходит определение начальных дрейфов гироскопов (*bias*), а также определение ориентации при помощи акселерометров (углы *roll* и *pitch*) и магнитометров (*yaw*). Для повышения точности вычисление начальной ориентации происходит по усредненной выборке за 5—10 с.

4. По завершении калибровки происходит непрерывный расчет траекторий движения и поворота для каждого инерциального датчика при помощи UKF фильтра с 22-мерным вектором состояния [6]. Расчет ориентации производится на основе математики кватернионов для предотвращения проблемы *gimbal lock*. С учетом взаимного расположения каждой инерциальной сборки накладываются ограничения на вычисленные координаты при помощи фильтра Калмана и вносится коррекция в результирующие координаты датчиков и в вектор ошибки фильтра. При наличии данных с одометра происходит коррекция вычисленной скорости в векторе состояния аналогичным образом.

Одновременно с вычислением навигационных оценок по данным инерциальной подсистемы вычислительный блок осуществляет прием и анализ данных с ГНСС-приемника. При „хорошем“ уровне ГНСС-сигнала (СКО координаты в горизонтальной плоскости не превышает 0,1 м) выходными координатами совмещенной навигационной системы являются спутниковые. В этом режиме происходят постоянная коррекция рассчитанных координат инерциальной подсистемы, а также корректировка курса по данным ГНСС при движении транспортного средства. Таким образом, реализовано отсутствие накопления ошибки подсистемой инерциальной навигации при достаточном уровне ГНСС-сигнала. При ухудшении качества спутникового сигнала (при уменьшении СКО координаты ниже 0,1 м) происходит бесшовное переключение выхода системы на инерциальную навигацию.

Существенными проблемами при использовании инерциальной навигации являются компенсация дрейфа гироскопа со временем, а также отклонения магнитометра *hard iron* и *soft iron* при изменяющейся магнитной обстановке во время движения транспортного средства [7]. Как было сказано выше, дрейф гироскопа компенсируется по данным ГНСС-подсистемы (при достаточном качестве спутникового сигнала). Для корректировки данных магнитометра реализованы специальные алгоритмы онлайн-калибровки, позволяющие компенсировать поправки *hard iron* и *soft iron* [8—11].

**Аппаратная реализация.** В качестве спутникового использован двухчастотный приемник компании *Farwater* с антенной компании *Tallysman*. Приемник позволяет работать в следующих режимах: одиночный, RTK и PPP с получением поправок спутниковых орбит через сеть Интернет. Обмен данными с вычислительным блоком реализован согласно протоколу BINR [12] по интерфейсу Ethernet. ГНСС-приемник имеет малое время старта (менее 1 мин) и обеспечивает выдачу точных координат с частотой до 2 Гц. Эта частота позволяет обеспечить отработку и испытания системы навигации при небольших скоростях, в частности при отработке и испытании системы на малогабаритной платформе ТС. Для применения системы на полноразмерных ТС и при более высоких скоростях движения частота выдачи навигационных координат будет увеличена до значений выше 10 Гц за счет применения спутниковых приемников с высокой частотой выдачи и использования механизмов комплексирования данных спутниковой и инерциальной систем.

Инерциальные сборки разработаны авторами на базе MEMS-датчиков и микроконтроллера компании NXP. Датчики обладают одними из лучших характеристик в своем классе, при этом имеют низкую стоимость. Интерфейс связи с вычислительным блоком реализован при помощи стандарта RS-485, обладающего достаточной пропускной способностью для передачи данных со сборок с частотой выборки 100 Гц и обеспечивающего помехозащищенную передачу данных на расстояние до 100 м (актуально при разнесенном расположении инерциальных сборок). На рис. 2 приведены фотографии разработанной инерциальной сборки (а — вид сверху, б — снизу, в — сверху, в корпусе).

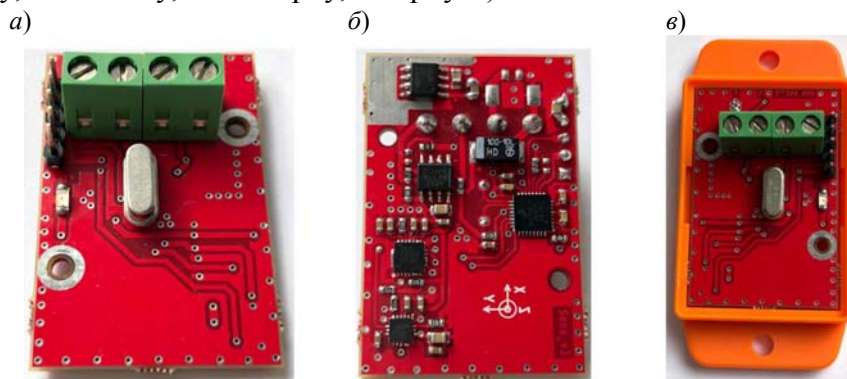


Рис. 2

Вычислительный блок реализован на основе микроконтроллера семейства STM32F407 с реализацией необходимых интерфейсов для подключения внешних устройств. Выбор данного микроконтроллера обусловлен его большой распространенностью, хорошей документированностью, а также достаточным быстродействием для выполнения необходимых математических операций в реальном времени.

На рис. 3 приведена фотография блока совмещенной системы навигации с установленными компонентами.



Рис. 3

**Модельный эксперимент.** Разработанная система совмещенной навигации проверена на малогабаритной платформе, представляющей точную уменьшенную копию грузового транспортного средства с соблюдением кинематики и развесовки автомобиля-прототипа (рис. 4). Эта малогабаритная платформа специально разработана и реализована для задач тестирования систем навигации и автопилота в различных режимах и условиях. Представленная модификация является моделью пятиосевого карьерного самосвала с тремя поворотными осями (два спереди и один сзади). Для задач тестирования реализовано полное дистанционное,

а также автономное управление всеми узлами ТС (рулевое управление по каждой оси, управление акселератором и торможением).



Рис. 4

Были проведены отдельные серии экспериментов систем инерциальной, а также совмещенной навигации. Инерциальная система тестировалась путем проезда платформы по эталонной траектории протяженностью около 200 м с рядом поворотов и разворотов с совпадающими начальной и конечной точками движения. Оценка точности производилась путем вычисления величины отклонения рассчитанной траектории, и как следствие, конечной точки маршрута от места старта. На рис. 5 представлены результаты тестирования инерциальной навигации.

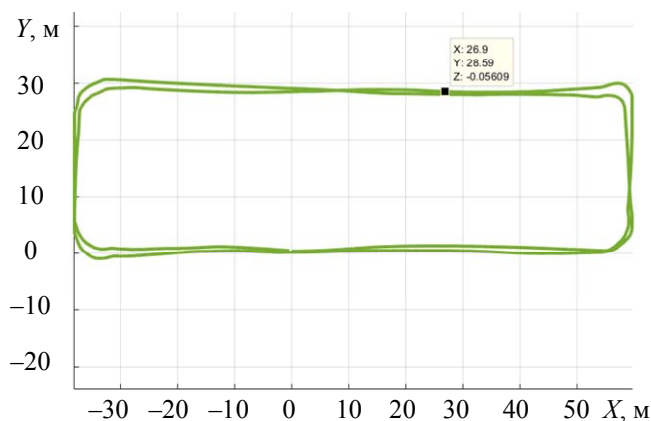


Рис. 5

Результаты тестирования показали хорошую достоверность получаемых траекторий, максимальное отклонение от начальной точки не более 4 м (что составляет 2 % на траектории протяженностью 200 м).

Было выявлено, что основным источником снижения точности является не учитываемый дрейф гироскопа (в данном тесте дрейф гироскопа намеренно не компенсировался по данным ГНСС), который приводит к ошибке определения угла курса транспортного средства, и следовательно, уходу траектории от истинной. Попытка компенсировать дрейф гироскопа по данным магнитометра не дает существенного улучшения данных, т.к. примененный метод онлайн-калибровки магнитометра не позволяет калибровать при прямолинейном движении ТС. Другим источником погрешности являются неточные одометрические данные с автомобиля.

Тестирование совмещенной системы навигации проведено на специальном полигоне, траектория движения транспортного средства проходила как по открытым участкам, где

доступен сигнал ГНСС, так и по закрытым (ангар), где сигнал от спутниковой навигации был недоступен. На рис. 6 приведены результаты тестирования.

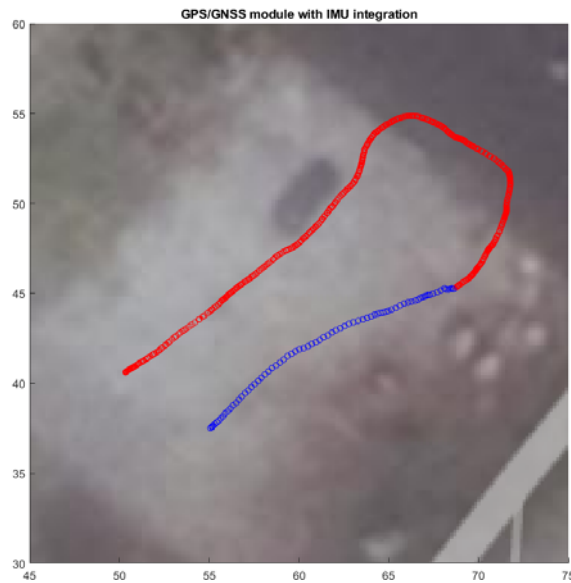


Рис. 6

На рис. 6 обозначены режимы работы системы навигации: синий — координаты вычисляются на основе данных ГНСС, красный — координаты вычисляются на основе инерциальных данных. Тестирование показало полную работоспособность разработанной системы, обеспечивающей бесшовный переход с одной системы навигации на другую. Восстановленная траектория демонстрирует достоверность определения начальной ориентации транспортного средства, а также сброс накопленной ошибки инерциальной подсистемы навигации при восстановлении спутниковых данных.

**Заключение.** В настоящей работе:

1) разработана и протестирована четырехточечная инерциальная система навигации, позволяющая повысить точность и достоверность получаемых траекторий движения транспортного средства. В модельных экспериментах погрешность отклонения восстановленной траектории от истинной составила порядка 2 % от пройденного расстояния;

2) протестирован режим PPP спутникового навигационного приемника, обеспечивающего точность определения координат до 0,3 м;

3) разработана и реализована совмещенная система навигации с бесшовным переходом от спутниковой навигации к инерциальной и наоборот. Реализованы алгоритмы калибровки одометрических данных, определения начального курса транспортного средства, а также алгоритмы компенсации дрейфов ИНС по данным спутниковой навигации.

Тестовые эксперименты выявили недостатки примененных алгоритмов, а именно: невозможность компенсации дрейфа гироскопа во время отсутствия сигналов ГНСС и, следовательно, накопление ошибки по ориентации транспортного средства, а также невозможность онлайн-калибровки магнитометра при движении по прямолинейным траекториям. Для устранения данных недостатков планируется модернизация подсистемы инерциальной навигации с установкой инерциальных сборок на вращающуюся платформу, что позволит непрерывно осуществлять компенсацию данных магнитометра независимо от текущей траектории движения, а также позволит снизить влияние дрейфа гироскопа, применив известные методы компенсации для вращающихся гироскопов [13, 14].

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vivacqua R., Vassallo R., Martins F.* A low cost sensors approach for accurate vehicle localization and autonomous driving application // *Sensors*. 2017. Vol. 17(10).
2. *Nastro L.* Position and orientation data requirements for precise autonomous vehicle navigation // *Proc. of the XXI ISPRS Congress*. 2008. Vol. XXXVII(1). P. 1237—1242.
3. *Bancroft J. B., Lachapelle G.* Data fusion algorithms for multiple inertial measurement units // *Sensors*. 2011. Vol. 11(7). P. 6771—6798.
4. *Vaccaro R.J., Zaki A.S.* Reduced-drift virtual gyro from an array of low-cost gyros // *Sensors*. 2017. Vol. 17(2).
5. *Jafari M.* Optimal redundant sensor configuration for accuracy increasing in space inertial navigation system // *Aerospace Science and Technology*. 2015. Vol. 47. P. 467—472.
6. *Yuan X., Yu S., Zhang S., Wang G., Liu S.* Quaternion-based unscented Kalman filter for accurate indoor heading estimation using wearable multi-sensor system // *Sensors*. 2015. Vol. 15(5). P. 10872—10890.
7. *Jonas C., Törnqvist D., Gustafsson F.* Robust heading estimation indoors using convex optimization // *Proceedings of the 16th Intern. Conf. on Information Fusion*. 2013. P. 1173—1179.
8. *Renaudin V., Afzal M. H., Lachapelle G.* New method for magnetometers based orientation estimation // *IEEE PLANS, Position Location and Navigation Symposium*. 2010. P. 348—356.
9. *El-Diasty M.* An Accurate Heading Solution using MEMS-based Gyroscope and Magnetometer Integrated System (Preliminary Results) // *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014. Vol. 2(2). P. 75—78.
10. *Kok M., Schon T. B.* Magnetometer calibration using inertial sensors // *IEEE Sensors J.* 2016. Vol. 16(14). P. 5679—5689.
11. *Malyugina A., Igudesman K., Chickrin D.* Least-squares fitting of a three-dimensional ellipsoid to noisy data // *Applied Mathematical Sciences*. 2014. Vol. 8(149-152). P. 7409—7421.
12. BINR interface protocol specification Ver. 1.3 // *GLONASS/GPS/GALILEO/COMPASS/SBAS NV08C receiver series / NAVIS Inc.* 2012 [Электронный ресурс]: <<http://www.nvs-gnss.com/support/documentation/item/download/39.html>>.
13. *Wu Z., Sun Z., Zhang W., Chen Q.* Attitude and gyro bias estimation by the rotation of an inertial measurement unit // *Measurement Science and Technology*. 2015. Vol. 26(12).
14. *Ruizenaar M.G.H., Kemp R.A.W.* DriftLess™, an innovative method to estimate and compensate for the biases of inertial sensors // *Proc. of the European Navigation Conference ENC-GNSS 2014*. Rotterdam, 15—17 April 2014.

**Сведения об авторах**

- Дмитрий Евгеньевич Чикрин** — канд. техн. наук, доцент; Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра киберфизических технологий; заведующий кафедрой; E-mail: dmitry.kfu@gmail.com
- Павел Андреевич Савинков** — ARRIVAL LTD, разработка системы управления движением беспилотных автомобилей; руководитель группы; E-mail: savinkov001@mail.ru
- Петр Анатольевич Кокунин** — канд. техн. наук, доцент; Казанский (Приволжский) федеральный университет; Центр цифровых трансформаций; директор Центра; E-mail: pkokunin@mail.ru
- Ринат Ильдарович Шагиев** — ARRIVAL LTD, инженер по встраиваемым системам; E-mail: r3ntil@gmail.com

Поступила в редакцию  
07.10.2020 г.

**Ссылка для цитирования:** Чикрин Д. Е., Савинков П. А., Кокунин П. А., Шагиев Р. И. Разработка высокоточной спутниковой локально-инерциальной системы навигации для беспилотного управления транспортными средствами // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2020. Т. 63, № 12. С. 1094—1102.



## DEVELOPMENT OF A HIGH-PRECISION SATELLITE LOCAL-INERTIAL NAVIGATION SYSTEM FOR UNMANNED VEHICLE CONTROL

**D. E. Chickrin, P. A. Savinkov, P. A. Kokunin, R. I. Shagiev**

*Kazan Federal University, 420008, Kazan, Russia  
E-mail: dmitry.kfu@gmail.com*

The current trends in the creation of integrated navigation systems for pilotless vehicles are considered. Technical requirements for promising domestic navigation systems for unmanned vehicles are substantiated. A four-point inertial navigation system is developed and tested, which makes it possible to increase the accuracy and reliability of the resulting vehicle trajectories. In model experiments, the error in the deviation of the reconstructed trajectory from the true one is reported to be about 2% of the distance traveled. A combined navigation system with a seamless transition from satellite navigation to inertial navigation and vice versa is developed. Algorithms for calibrating odometric data, determining the initial heading of a vehicle, as well as algorithms for compensating for drifts of the inertial system according to satellite navigation data are implemented.

**Keywords:** global navigation satellite systems, inertial navigation systems, local navigation systems, unmanned vehicles

### REFERENCES

1. Vivacqua R., Vassallo R., Martins F. *Sensors*, 2017, no. 10(17).
2. Nastro L. *Proceedings of the XXI ISPRS Congress*, 2008, no. 1 (XXXVII), pp. 1237–1242.
3. Bancroft J.B., Lachapelle G. *Sensors*, 2011, no. 7(11), pp. 6771–6798.
4. Vaccaro R.J., Zaki A.S. *Sensors*, 2017, no. 2(17).
5. Jafari M. *Aerospace Science and Technology*, 2015, vol. 47, pp. 467–472.
6. Yuan X., Yu S., Zhang S., Wang G., Liu S. *Sensors*, 2015, no. 5(15), pp. 10872–10890.
7. Jonas C., Törnqvist D., Gustafsson F. *Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion*, 2013, pp. 1173–1179.
8. Renaudin V., Afzal M. H., Lachapelle G. *IEEE PLANS, Position Location and Navigation Symposium*, 2010, pp. 348–356.
9. El-Diasty M. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014, no. 2(2), pp. 75–78.
10. Kok M., Schon T. B. *IEEE Sensors Journal*, 2016, no. 14(16), pp. 5679–5689.
11. Malyugina A., Igudesman K., Chickrin D. *Applied Mathematical Sciences*, 2014, no. 149-152(8), pp. 7409–7421.
12. *BINR interface protocol specification Ver. 1.3*, <http://www.nvs-gnss.com/support/documentation/item/download/39.html>.
13. Wu Z., Sun Z., Zhang W., Chen Q. *Measurement Science and Technology*, 2015, no. 12(26).
14. Ruizenaar M.G.H., Kemp R.A.W. *Proceedings of the European Navigation Conference ENC-GNSS-2014*, Rotterdam, April 15–17, 2014.

### Data on authors

- |                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| <b>Dmitry E. Chickrin</b> | — | PhD, Associate Professor; Kazan Federal University, Department of Cyber-Physical Technologies; Head of the Department; E-mail: dmitry.kfu@gmail.com |
| <b>Pavel A. Savinkov</b>  | — | ARRIVAL LTD, Development of a Traffic Control System for Unmanned Vehicles; Leader of the Team; E-mail: savinkov001@mail.ru                         |
| <b>Petr A. Kokunin</b>    | — | PhD, Associate Professor; Kazan Federal University, Center of Digital Transformations; Director of the Center; E-mail: pkokunin@mail.ru             |
| <b>Rinat I. Shagiev</b>   | — | ARRIVAL LTD, Embedded Systems Engineer; E-mail: r3ntil@gmail.com  |

**For citation:** Chickrin D. E., Savinkov P. A., Kokunin P. A., Shagiev R. I. Development of a high-precision satellite local-inertial navigation system for unmanned vehicle control. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 12. P. 1094—1102 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-12-1094-1102