

Для цитирования

Морозов С.А., Рохлин Д.Е., Скорнякова Е.А. Проблемы и перспективы стандартизации оценки качества программного обеспечения систем автономной навигации беспилотных воздушных судов / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 567–572.

УДК 004.05

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Морозов С.А., БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Рохлин Д.Е., БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Скорнякова Е.А., канд. техн. наук, доцент кафедры 07 «Информационные системы и программная инженерия» БГТУ ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Развитие беспилотных авиационных систем и их активная интеграция в такие сферы, как доставка грузов, мониторинг объектов и сельское хозяйство, ставят перед отраслью новые задачи в области обеспечения их безопасности и надежности. Ключевым фактором, определяющим функциональность и безопасность беспилотных воздушных судов, является программное обеспечение систем автономной навигации. Ошибки в работе этого программного обеспечения могут привести к серьезным последствиям, вплоть до потери аппарата и угрозы для жизни людей. В связи с этим оценка качества такого программного обеспечения становится критически важной задачей.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно (БВС), программное обеспечение (ПО), качество программного обеспечения, стандартизация, ISO/IEC 25000, система автономной навигации.

CHALLENGES AND PERSPECTIVES OF STANDARDIZATION IN SOFTWARE QUALITY ASSESSMENT FOR UAV AUTONOMOUS NAVIGATION SYSTEMS

Morozov S.A., D.F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH", St. Petersburg

Rokhlin D.E., D.F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH", St. Petersburg

Skorniakova E.A. Ph.D., Associate Professor of O7 "Information Systems and Software Engineering" Department, BSTU VOENMEH named after D.F. Ustinov, Russia, St. Petersburg

The rapid development of unmanned aircraft systems (UAS) and their active integration into areas such as cargo delivery, object monitoring, and agriculture are posing new challenges for the industry in ensuring their safety and reliability. A key factor determining the functionality and safety of unmanned aerial vehicles (UAVs) is the software (SW) of their autonomous navigation systems. Errors in this software's operation can lead to serious consequences, including the loss of the vehicle and a threat to human life. In this regard, assessing the quality of such software becomes a critically important task.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), software (SW), software quality, standardization, ISO/IEC 25000, autonomous navigation system.

На сегодняшний день оценка качества программного обеспечения (ПО) в целом регламентируется рядом государственных и международных стандартов. Однако специфика систем автономной навигации беспилотных воздушных судов (БВС) требует адаптации существующих и разработки новых подходов. Целью проводимых исследований являются анализ актуальных проблем в сфере стандартизации оценки качества ПО для автономных навигационных систем БВС и определение перспективных направлений для развития нормативной базы.

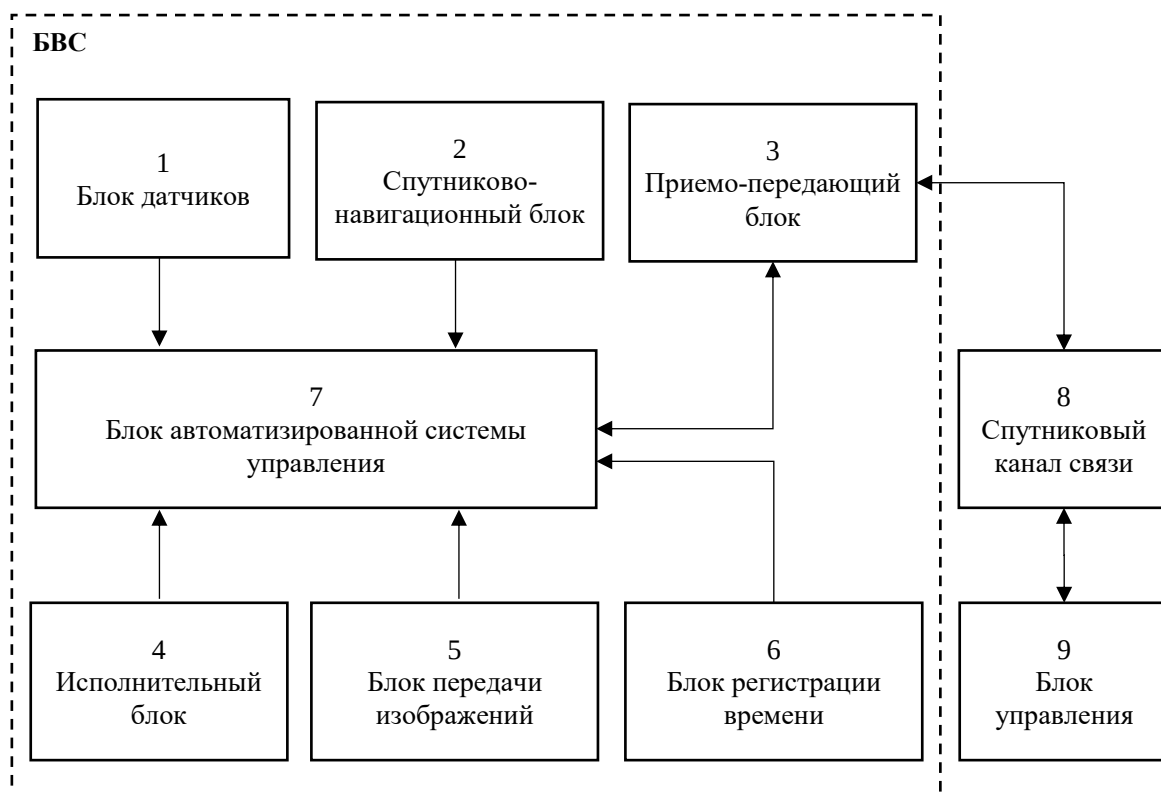
Основой для оценки качества любого ПО, включая системы для БВС, служит комплекс государственных и международных стандартов, которые определяют общие подходы, модели и терминологию. Эти документы создают фундамент, на котором строятся более специализированные методики оценки.

Ключевыми в этой области являются стандарты серии ISO/IEC 25000 (SQuaRE), принятые в России как национальные стандарты:

– ГОСТ Р ИСО/МЭК 25000–2021: этот стандарт является вводным для всей серии SQuaRE (System and software Quality Requirements and Evaluation). Он устанавливает общую архитектуру, терминологию и «дорожную карту» для оценки качества ПО. Его основная задача обеспечить единое понимание всех процессов и моделей, используемых в рамках серии.

– ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2015: это центральный документ серии, который описывает непосредственно модель качества систем и программных продуктов [1]. Модель разделяет качество на восемь ключевых характеристик: функциональная пригодность, производительность, совместимость, удобство использования, надежность, защищенность, сопровождаемость и переносимость.

Однако прямое проецирование этих общих характеристик на ПО систем автономной навигации БВС требует учета сложной архитектуры взаимодействия программных алгоритмов с аппаратной частью и внешней средой. Специфика функционирования такого ПО представлена на рисунке [3].



Концептуальная схема функционирования ПО автономной навигации БВС в условиях внешних воздействий

Центральным элементом системы является «Блок 7: Блок автоматизированной системы управления», где и выполняется ПО навигации. Как видно из схемы, его корректная работа критически зависит от непрерывного потока данных от «Блока 1 (датчиков)» и «Блока 2 (спутниково-навигационного блока)». В то же время это ПО напрямую управляет «Блоком 4 (исполнительным)», то есть двигателями и рулями.

Эта тесная связь ПО с физическим миром и внешними каналами («Блок 8» и «Блок 9») порождает специфические риски, которые не полностью покрываются универсальными стандартами:

Отказ Блока 2 или атака на Блок 8 (потеря/подмена сигнала GPS) ставит под угрозу всю миссию, требуя от ПО особых качеств надежности и защищенности.

Любая задержка в обработке данных и передаче команды на Блок 4 недопустима, что выдвигает экстремальные требования к производительности в режиме реального времени.

Таким образом, для полноценной оценки качества ПО систем навигации БВС необходимо дополнять общие подходы специализированными методиками и критериями.

Для комплексного подхода также необходимо учитывать стандарты, регламентирующие процесс разработки:

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010 Процессы жизненного цикла программных средств [2]: Этот стандарт описывает все этапы жизни ПО – от разработки требований до вывода из эксплуатации. Он важен, поскольку качество не просто оценивается в готовом продукте, а закладывается на каждом этапе его создания. Интеграция методик оценки качества в процессы, описанные в этом ГОСТе, является ключевой для создания надежных систем.

Однако, несмотря на наличие этой комплексной нормативной базы, ее прямое применение к ПО систем автономной навигации БВС сопряжено с рядом фундаментальных трудностей. Все перечисленные стандарты носят универсальный характер и не учитывают отраслевую специфику, связанную с:

- 1) критической важностью безопасности: сбой навигационной системы БВС может привести к физическому ущербу и угрозе жизни, что ставит ПО в один ряд с системами управления самолетами или АЭС;

- 2) работой в режиме реального времени: решения должны приниматься мгновенно на основе данных с множества сенсоров;

- 3) алгоритмами автономного принятия решений: стандартные подходы не дают ответа на вопрос, как оценить «качество» и «корректность» решения, принятого нейросетью или другим сложным алгоритмом в непредвиденной ситуации;

- 4) тесным взаимодействием с непредсказуемой физической средой: ПО напрямую управляет движением объекта в пространстве, подверженном влиянию ветра, осадков и радиопомех.

Таким образом, прямое применение существующих стандартов без их специальной адаптации и дополнения специализированными методиками оказывается недостаточным для полноценной оценки качества ПО систем автономной навигации БВС.

Анализ текущей ситуации в отрасли позволяет выделить следующие ключевые проблемы:

1. Отсутствие специализированных стандартов: на данный момент не существует узкоспециализированных стандартов, которые бы в полной мере учитывали специфику ПО для автономной навигации БВС. Существующие ГОСТы в области беспилотных авиационных систем (БАС) в основном касаются общих требований и терминологии, не углубляясь в детали оценки качества ПО.

2. Сложность оценки надежности и отказоустойчивости: системы автономной навигации должны эффективно функционировать в условиях неопределенности и возможных сбоев, например при потере сигнала GPS [5]. Стандартные метрики оценки надежности не всегда применимы для оценки способности системы принимать верные решения в критических ситуациях.

3. Проблемы кибербезопасности: с ростом числа кибератак на беспилотные системы, вопросы защиты ПО от несанкционированного доступа и вредоносного воздействия выходят на первый план [4]. Разработка стандартов в этой области является ключевым условием для снятия запретов на полеты и безопасного промышленного использования дронов. В России уже ведется работа по созданию единых стандартов защиты беспилотных систем от кибератак.

4. Интеграция с другими системами: ПО БВС должно корректно взаимодействовать с различными системами, включая наземные станции управления и системы управления воздушным движением. Стандартизация протоколов и интерфейсов взаимодействия является важной задачей для обеспечения совместимости и интероперабельности.

5. Специфика автономного принятия решений: алгоритмы, заложенные в ПО автономной навигации, должны обеспечивать принятие корректных решений в динамически изменяющейся обстановке. Оценка качества таких алгоритмов требует разработки специализированных методик и тестовых сценариев [6].

На основе проведенного анализа отраслевых проблем можно систематизировать требования к качеству, сопоставив общие факторы из стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010 со специфическими критериями, критичными именно для ПО навигации БВС (см. таблицу).

Специфические факторы и критерии качества для ПО автономной навигации БВС

Факторы качества (по ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010)	Специфические критерии качества для БАС
Надежность	Отказоустойчивость навигации: способность сохранять функциональность при потере сигнала ГНСС или отказе одного из сенсоров. Стабильность в критических режимах: корректная работа при резких погодных изменениях.
Защищенность	Устойчивость к спуфингу [7] и джеммингу [8]: способность ПО распознавать подмену или глушение навигационных сигналов. Защита каналов управления: криптографическая стойкость протоколов взаимодействия с наземной станцией.
Функциональная пригодность	Точность автономного позиционирования: соответствие реального положения БВС вычисленным координатам. Адекватность принятия решений: корректность автоматического уклонения от препятствий.
Производительность	Работа в реальном времени: гарантированное время отклика системы на изменение обстановки. Энергоэффективность алгоритмов: оптимизация вычислений для экономии бортового заряда.
Совместимость	Интероперабельность: стандартизация протоколов для интеграции в единое воздушное пространство (UTM-системы).

Согласно таблице каждый общий фактор качества применительно к БАС наполняется конкретным содержанием, связанным с безопасностью полетов и устойчивостью к внешним угрозам. Именно эти специфические критерии и должны стать предметом дальнейшей стандартизации.

Для решения обозначенных проблем необходимо развитие стандартизации в следующих направлениях:

1. Разработка специализированных стандартов для ПО БВС. Необходимо создание национальных и международных стандартов, детализирующих требования к качеству ПО для систем автономной навигации. Эти стандарты должны охватывать такие аспекты, как точность позиционирования, надежность в условиях помех, устойчивость к кибератакам и алгоритмы принятия решений.

2. Формирование единой нормативно-технической базы. В России утверждена перспективная программа стандартизации в области БАС, целью которой является формирование необходимой нормативной базы. Это создаст основу для разработки более детальных стандартов, касающихся ПО.

3. Международное сотрудничество. Разработка единых международных стандартов безопасности и сертификации БВС будет способствовать их глобальной интеграции и обмену технологиями.

4. Создание методик оценки и сертификации. Требуется разработка и стандартизация методик тестирования и сертификации ПО для БВС, которые позволят объективно оценивать их соответствие требованиям безопасности и надежности. Это может включать в себя как программное, так и полунатурное моделирование различных сценариев полета.

5. Стандартизация жизненного цикла ПО. Необходимо внедрение стандартов, регламентирующих все этапы жизненного цикла ПО для БВС, от разработки и тестирования до эксплуатации и сопровождения.

Стандартизация в области оценки качества ПО для систем автономной навигации БВС является ключевым фактором для обеспечения безопасности и эффективности их применения. Существующие общие стандарты не в полной мере отвечают специфическим требованиям данной области, что создает ряд проблем, связанных с надежностью, безопасностью и совместимостью.

Перспективы развития стандартизации лежат в плоскости разработки специализированных нормативных документов, создания единой методической базы для оценки и сертификации, а также активного международного сотрудничества. Решение этих задач позволит создать условия для безопасной интеграции беспилотных авиационных систем в единое воздушное пространство и их широкого применения в различных отраслях экономики.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программных продуктов (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 34 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – М.: Стандартинформ, 2011. – 91 с.
3. Пат. 2562890 С2 Российская Федерация, МПК В64С 39/02, G05D 1/00. Способ управления беспилотным летательным аппаратом / Будылдин С.В., Волков И.В., Гирник А.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель: Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс». – № 2014115115/11; заявл. 15.04.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. – 12 с. URL: [https://patenton.ru/patent/RU2562890C2?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera].
4. Котенко И.В., Саенко И.В., Чечулин А.А. Анализ и моделирование кибератак на беспилотные летательные аппараты в составе группы // Труды СПИИРАН. 2017. № 6(55). С. 5–28.
5. Левшун Д.С., Степанов П.А. Подход к обеспечению отказоустойчивости бесплатформенной инерциальной навигационной системы малогабаритного беспилотного летательного аппарата // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 10. С. 899–906.
6. Пампур Е.А., Смоленцев Н.И. Методы и алгоритмы комплексирования данных инерциальной и спутниковой навигационных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 488–496.
7. Джабраилзаде Н. Методы обеспечения кибербезопасности БПЛА // Вектор научной мысли. – 2025. – № 5(22). – С. 259–262
8. Ласточкин С.Г. Перспективные комплексы активной защиты от беспилотных летательных аппаратов // Теория и практика военного образования. – 2024. – № 1(2). – С. 22–29.

References

1. GOST R ISO/IEC 25010–2015. Informatsionnye tekhnologii. Sistemnaya i programmnaya inzheneriya. Trebovaniya i otsenka kachestva sistem i programmykh produktov (SQuaRE). Modeli kachestva sistem i programmykh produktov [Information technology. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models]. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 34 p. (In Russian)
2. GOST R ISO/IEC 12207–2010. Informatsionnaya tekhnologiya. Sistemnaya i programmnaya inzheneriya. Protsessy zhiznennogo tsikla programmykh sredstv [Information technology. Systems and software engineering. Software life cycle processes]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 91 p. (In Russian)
3. Budyldin S.V., Volkov I.V., Gornik A.V., et al. Sposob upravleniya bespilotnym letatel'nyim apparatom [Method for controlling an unmanned aerial vehicle]. Patent RF, no. 2562890 C2, 2015. (In Russian) Available at: [https://patenton.ru/patent/RU2562890C2?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera]

4. Kotenko I.V., Saenko I.V., Chechulin A.A. Analysis and modeling of cyberattacks on a group of unmanned aerial vehicles. SPIIRAS Proceedings, 2017, no. 6(55), pp. 5–28. (In Russian)
5. Levshun D.S., Stepanov P.A. An approach to providing the fault tolerance of a strapdown inertial navigation system for a small-sized unmanned aerial vehicle. Journal of Instrument Engineering, 2019, vol. 62, no. 10, pp. 899–906. (In Russian)
6. Pampur E.A., Smolentsev N.I. Methods and algorithms for data fusion of inertial and satellite navigation systems. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 488–496. (In Russian)
7. Jabrailzade N. Methods of Ensuring UAV Cybersecurity. Vector of Scientific Thought, 2025, no. 5 (22), pp. 259–262. (In Russian)
8. Lastochkin S. G. Promising Active Defense Systems against Unmanned Aerial Vehicles. Theory and Practice of Military Education, 2024, no. 1 (2), pp. 22–29. (In Russian)