

УДК 629.7.01:004.93

**НАЗЕМНАЯ МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ
ШТАНГОЙ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ФЮЗЕЛЯЖА
ВОЗДУШНОГО СУДНА**

Евсеев А.А.

магистрант,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Москва, Россия

Бошляков А.А.

к.т.н., доцент,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Москва, Россия

Аннотация

Автоматизация визуального контроля внешних поверхностей воздушных судов традиционно ассоциируется с использованием беспилотных летательных аппаратов. В то же время практический опыт MRO-организаций показывает, что широкое внедрение дрон-инспекций ограничивается регуляторными и эксплуатационными факторами, тогда как наземные роботизированные системы демонстрируют высокую стабильность и предсказуемость работы. В статье исследуются варианты организации доступа к поверхности фюзеляжа для проведения визуального осмотра и обосновывается целесообразность применения наземной мобильной платформы с телескопической штангой. На основе геометрии воздушного судна класса Airbus A320 формулируются требования к зоне обслуживания по высоте и расстоянию, анализируются возможные кинематические схемы подъёма и выбирается компоновка с вертикальной телескопической мачтой на мобильном шасси. Предлагается алгоритм осмотра фюзеляжа в режиме

stop-and-go, обеспечивающий структурированный и повторяемый обход поверхности. Полученные результаты подтверждают, что телескопическая конструкция позволяет реализовать эффективную и эксплуатационно удобную систему доступа к поверхности фюзеляжа без использования авиационных платформ

Ключевые слова: визуальный контроль фюзеляжа, наземная роботизированная система, телескопическая мачта, мобильная платформа, техническое обслуживание воздушных судов, алгоритм осмотра.

A GROUND-BASED MOBILE PLATFORM WITH A TELESCOPIC ROD FOR VISUAL INSPECTION OF THE AIRCRAFT FUSELAGE

Evseev A.A.

Master's Student,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Boshlyakov A.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Annotation

Automation of visual inspection of the external surfaces of aircraft is traditionally associated with the use of unmanned aerial vehicles. At the same time, the practical experience of MRO organizations shows that the widespread introduction of drone inspections is limited by regulatory and operational factors, while ground-based robotic systems demonstrate high stability and predictability of operation. The article examines the options for organizing access to the fuselage surface for visual

inspection and substantiates the feasibility of using a ground-based mobile platform with a telescopic rod. Based on the geometry of the Airbus A320 class aircraft, the requirements for the service area in terms of height and distance are formulated, possible kinematic lifting schemes are analyzed, and an arrangement with a vertical telescopic mast on a mobile landing gear is selected. An algorithm for inspection of the fuselage in stop and go mode is proposed, which provides a structured and repeatable surface crawl. The results obtained confirm that the telescopic design makes it possible to implement an efficient and operationally convenient access system to the fuselage surface without using aircraft platforms.

Keywords: visual control of the fuselage, ground-based robotic system, telescopic mast, mobile platform, aircraft maintenance, inspection algorithm.

Введение. Внешний визуальный контроль фюзеляжа остаётся одним из ключевых элементов обеспечения летной годности и безопасности эксплуатации воздушных судов. Традиционно эта процедура выполняется инспекторами с применением лестниц, подъёмников и стационарных галерей, что сопряжено с трудозатратами, рисками работы на высоте и зависимостью качества осмотра от человеческого фактора. Для магистральных лайнеров особую сложность представляет доступ к верхней части фюзеляжа и хвостовому оперению, высота которых может превышать 11 м.

В последние годы активно исследуются решения с применением беспилотных авиационных систем для визуальной инспекции планера. Примером является система Donecle, чей дрон включён в руководство по техническому обслуживанию Airbus для выполнения осмотров после удара молнии на A320-семействе. Вместе с тем отраслевые публикации подчёркивают, что широкое включение дрон-инспекций в повседневную проверку пока сдерживается регуляторными и практическими факторами, в том числе требованиями к эксплуатации БПЛА в аэропортовой зоне и

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

сложностями применения в ангарах. На этом фоне повышенное внимание привлекают наземные роботизированные системы, не подпадающие под ограничения авиационного законодательства и обеспечивающие устойчивую платформу для средств наблюдения.

Целью данной работы является исследование вариантов конструктивной реализации наземной мобильной системы доступа к поверхности фюзеляжа и обоснование применения мобильной платформы с телескопической штангой, а также разработка концепции алгоритма осмотра, ориентированного на эксплуатацию в условиях технического обслуживания магистральных воздушных судов.

Обзор литературы по данной теме позволяет выявить, что предлагаемые решения основаны преимущественно на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) и, в меньшей степени, на мобильных наземных роботах и манипуляторах [12]. Наиболее известным решением является система Donecle (Франция), позволяющая выполнять автономный облёт самолёта с формированием цифровой модели поверхности [6]. В 2021 г. компания Airbus квалифицировала данную систему в руководстве по техническому обслуживанию для инспекций после удара молнии на семействе A320, что стало первым случаем нормативного допуска дрона к регламентной процедуре контроля [11].

Вместе с тем практическое внедрение БПЛА в повседневные процедуры технического обслуживания сталкивается с рядом существенных ограничений. Во-первых, полёты дронов в зонах аэродромов подлежат жёсткому регуляторному контролю: согласно действующим нормам, эксплуатация БПЛА вблизи взлётно-посадочных полос и в контролируемых зонах воздушного пространства требует специальных разрешений, а внутри ангаров отсутствует GNSS сигнал, необходимый для стабилизации большинства коммерческих платформ [5]. Во-вторых, создаваемые БПЛА вибрации и чувствительность к воздушным потокам (даже от вентиляции Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

ангара) снижают стабильность позиционирования камеры и, как следствие, качество получаемых изображений. Характерно, что компания Lufthansa Technik, проведя серию испытаний дроновых инспекций, заключила, что на текущем этапе данная технология «не готова к включению в повседневную практику визуального осмотра воздушных судов» [6]. Разработчики МАИ совместно с компанией «СК Роботикс» были вынуждены применить БПЛА на тросе, физически связанный с наземным роботом, именно для того, чтобы обойти запрет на свободные полёты дронов в аэропортовой зоне [3].

С учётом приведённых факторов в данной работе исследуется подход, в котором доступ к поверхности фюзеляжа обеспечивается не путём подъёма человека или летательного аппарата, а за счёт наземной мобильной платформы с подъёмной штангой. Основная задача формулируется как обоснование конструкции такой платформы и алгоритма её движения вдоль борта самолёта, обеспечивающих покрытие заданной зоны фюзеляжа при соблюдении требований безопасности и эксплуатационной применимости.

Геометрические требования.

Для обеспечения безопасной работы системы возле самолёта задаётся минимальное горизонтальное расстояние от базы мобильной платформы до борта, учитывающее габариты платформы и требования по безопасности. При выборе разумного зазора формируется «рабочий коридор» вдоль фюзеляжа, внутри которого должна перемещаться платформа. Конец штанги при этом должен иметь возможность достигать точек на поверхности фюзеляжа в заданном диапазоне высот при сохранении этого горизонтального расстояния.

Исследование геометрических соотношений показывает, что для самолёта А320-класса подъём средства наблюдения до высоты порядка 6 м при фиксированном удалении платформы от борта позволяет охватить верхнюю часть фюзеляжа в средней зоне самолёта при умеренных углах обзора. Хвостовое оперение, располагающееся значительно выше, остаётся задачей

для расширенной конфигурации с увеличенной высотой подъёма или иного сценария осмотра.

На основании геометрического анализа целесообразно сформулировать для подъёмной штанги следующие требования:

- обеспечивать подъём средства наблюдения до высоты порядка 6 м над уровнем пола ангара;
- сохранять безопасный горизонтальный зазор до борта самолёта по всей длине фюзеляжа;
- обеспечивать достаточную жёсткость и устойчивость для выполнения визуального осмотра при умеренных наружных условиях.

Для телескопической штанги определяющими являются устойчивость, прогиб и способность безопасно работать при заданных нагрузках. В отличие от подробных инженерных расчётов, в исследовательском контексте достаточно сформулировать ключевые эксплуатационные требования.

Во-первых, штанга должна сохранять устойчивость и допустимый уровень прогиба при максимальном выдвигении и характерных нагрузках - в том числе при ветровых воздействиях в перронных условиях и при возможных толчках от движения платформы. Во-вторых, прогиб вершины должен быть таким, чтобы средство наблюдения могло оставаться направленным на требуемую область поверхности без чрезмерных колебаний и смещений. В-третьих, общий центр масс системы в процессе подъёма не должен выходить за границы устойчивости мобильного шасси, что требует согласования высоты, массы и основания платформы. При расчете данных параметров выяснилось, что данная система реализуема и может функционировать даже в условиях ветра с порывами до 15 м/с.

Алгоритм осмотра фюзеляжа. Алгоритм движения мобильной платформы с телескопической штангой должен обеспечивать:

- полное покрытие заданной зоны фюзеляжа с контролируемыми перекрытиями между соседними позициями;

- повторяемость и воспроизводимость траектории осмотра;
- предсказуемое время цикла;
- соблюдение безопасных расстояний до самолёта и объектов инфраструктуры.

С учётом этих требований целесообразно рассматривать фюзеляж как область, разбитую на полосы по высоте и секции по длине, каждая из которых обслуживается отдельными позициями платформы.

Предлагаемый алгоритм осмотра основывается на следующей структуре:

1. Задаётся несколько уровней высоты подъёма штанги, покрывающих диапазон интересующих зон фюзеляжа (например, от нижней части борта до верхней кромки).
2. Для каждого уровня вдоль борта задаётся последовательность продольных позиций платформы с фиксированным шагом.
3. Платформа движется вдоль самолёта и останавливается в заранее заданных точках, в каждой из которых выполняется серия действий (наведение средства наблюдения, осмотр, фиксация данных).
4. После завершения прохода на текущей высоте штанга переводится на следующий уровень, и маршрут вдоль борта повторяется.

Такая структура плана обеспечивает регулярное покрытие поверхности и упрощает интеграцию с системами, отвечающими за визуализацию и последующий анализ результатов осмотра.

В качестве режима работы алгоритма при осмотре будет использоваться режим с остановками в каждой точке плана (stop-and-go). Он представляется целесообразным по нескольким причинам. Во-первых, временные остановки позволяют конструкции штанги и головки стабилизироваться после перемещения, что уменьшает влияние колебаний на качество визуальной информации. Во-вторых, фиксированное время пребывания в точке упрощает планирование общего времени цикла и повышает его воспроизводимость.

В-третьих, режим stop-and-go облегчает обеспечение безопасности, поскольку движение платформы и изменение высоты штанги происходят поочередно и по заранее определённой схеме.

С практической точки зрения, подобная стратегия уже применяется в ряде роботизированных инспекционных систем для инфраструктурных объектов, где приоритетом является качество данных, а не минимизация времени вращения или перемещения.

На качественном уровне обобщённый алгоритм позволяет оценить порядок времени, необходимого для осмотра одной стороны фюзеляжа. Если вдоль борта задаётся несколько десятков продольных позиций на каждом из нескольких уровней высоты, а на каждую позицию отводится фиксированное время на перемещение, стабилизацию и осмотр, суммарное время цикла оказывается в диапазоне от 45 до 80 минут. В сочетании с понижением трудоёмкости ручных операций это делает наземную телескопическую систему привлекательной альтернативой традиционным методам, а также дополняет решения на основе дронов, которые пока не готовы к повсеместному ежедневному применению.

Для воздушного судна класса Airbus A320 (рис. 1) характерны следующие геометрические параметры зоны контроля: диаметр фюзеляжа - 3,95 м, длина фюзеляжа - 37,6 м, высота верхней точки фюзеляжа - 5,15 м, высота хвостового оперения - 11,76 м [4].

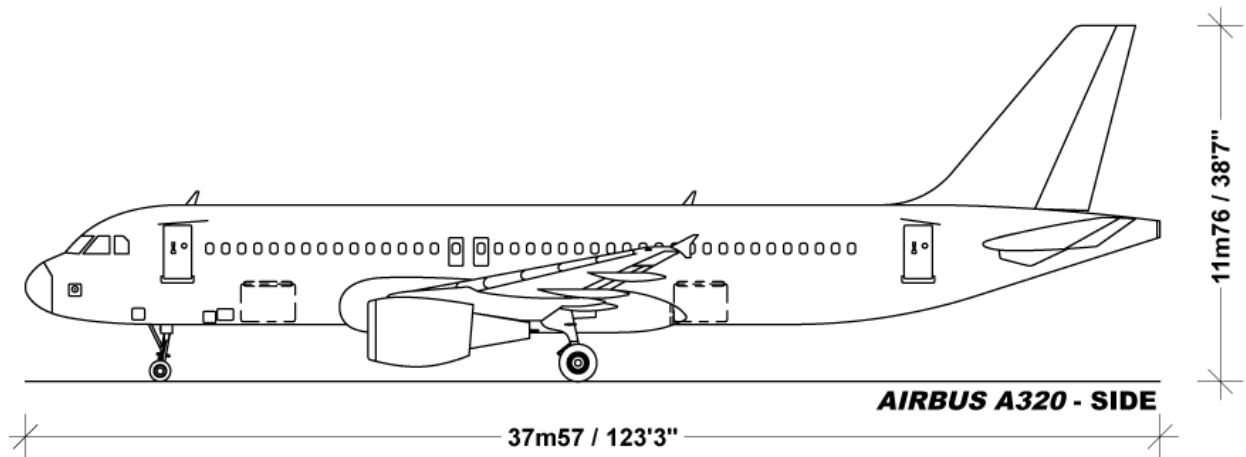


Рис. 1 – Схема и габаритные размеры воздушного судна AIRBUS A320

Для воздушного судна класса Airbus A320 (рис. 1) характерны следующие геометрические параметры зоны контроля: диаметр фюзеляжа - 3,95 м, длина фюзеляжа - 37,6 м, высота верхней точки фюзеляжа - 5,15 м, высота хвостового оперения - 11,76 м [10].

Предложенная концепция обеспечивает сбалансированный набор характеристик для регулярного применения в условиях MRO: отсутствие регуляторных ограничений, характерных для авиационных беспилотных систем, управляемые и воспроизводимые условия освещения, предсказуемое время цикла и механически детерминированные ограничения по зоне охвата.

Заключение. В статье исследовались варианты организации доступа к поверхности фюзеляжа воздушного судна для задач визуального контроля и обосновывалась целесообразность применения наземной мобильной платформы с телескопической штангой. Анализ показал, что на фоне регуляторных и эксплуатационных ограничений дрон-инспекций наземные роботизированные системы обладают преимуществами стабильности, предсказуемости и интеграции в инфраструктуру технического обслуживания. На основе геометрических характеристик самолёта класса A320 сформулированы требования к зоне обслуживания и высоте подъёма, которые

реализуемы с использованием телескопической мачты при сохранении компактных габаритов и устойчивости конструкции.

Предложен алгоритм осмотра фюзеляжа в режиме stop-and-go, основанный на разбиении поверхности на полосы по высоте и секции по длине и последовательном обходе этих областей мобильной платформой. Такой подход обеспечивает структурированный, воспроизводимый и предсказуемый по времени процесс осмотра, совместимый с требованиями MRO-среды. Полученные результаты подтверждают, что конструкция наземной платформы с телескопической штангой является перспективной основой для построения интегрированных систем автоматизированного визуального контроля фюзеляжа воздушных судов.

Библиографический список:

1. Аэродромы и наземное обслуживание воздушных судов / под ред. В.Г. Олиферова. – М.: Транспорт, 2014. – 327 с.
2. Док 9824 AN/450. Руководство по наземному обслуживанию воздушных судов. – Монреаль: Международная организация гражданской авиации (ИКАО), 2008. – 178 с.
3. Шумов М. Робот, дрон и нейросеть: как устроен маёвский комплекс для осмотра самолётов [Электронный ресурс] // Пресс-служба МАИ. – 2025. Режим доступа: <https://mai.ru/press/news/detail.php?ID=169814> (дата обращения: 10.03.2026).
4. Airbus S.A.S. A320 Aircraft Characteristics. Airport and Maintenance Planning. Revision 44. – Toulouse: Airbus S.A.S., 2024. – 282 p.
5. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft // Official Journal of the European Union. — 2019. — L 152. — P. 45–71.

6. Donecle. Automated drone aircraft inspection system [Electronic resource] // Donecle corporate website. — URL: <https://www.donecle.com> (дата обращения: 10.03.2026).
7. Drones and drone technology: rethinking inspections [Electronic resource] // Aviation Business News. — 21.01.2025. — Mode of access: <https://www.aviationbusinessnews.com/mro/mro-interviews-comments-articles/drones-and-drone-technology-rethinking-inspections/> (accessed: 10.03.2026).
8. Jovančević I., Orteu J.-J., Sentenac T., Bugarin J. Automated exterior inspection of an aircraft with a pan-tilt-zoom camera mounted on a mobile robot // Journal of Electronic Imaging. — 2015. — Vol. 24, No. 6. — P. 061110.
9. Lattanzi D., Miller G. Review of robotic infrastructure inspection systems // Journal of Infrastructure Systems. — 2017. — Vol. 23, No. 3. — P. 04017004.
10. Smart Automated Aircraft Visual Inspection System (SAAVIS) [Electronic resource] // A*STAR Institute for Infocomm Research (I²R). — 2023. — Mode of access: <https://www.a-star.edu.sg/i2r/research/I2RTechs/research/i2r-techs-solutions/SAAVIS> (accessed: 10.03.2026).
11. The A320 Family Explained: A318 A319 A320 and A321 [Electronic resource] // Ready for Takeoff. — 11.02.2025. — Mode of access: <https://readyfortakeoffbook.com/blogs/pilot-recruitment/the-a320-family-explained-a318-a319-a320-a321> (accessed: 10.03.2026).
12. Yasuda Y.D.V., Cappabianco F.A.M., Martins L.E.G., Gripp J.A.B. Aircraft visual inspection: a systematic literature review // Computers in Industry. — 2022. — Vol. 141. — P. 103695.