

**МОДЕРНИЗАЦИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЕТНОГО ТИПА
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ****Б. А. Серкин***Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия**bs_serkin@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты модернизации беспилотного летательного аппарата самолетного типа. Для целей модернизации разработаны и изготовлены узлы беспилотного летательного аппарата самолетного типа, обеспечивающие вертикальный взлет и посадку самолета. Приведены результаты летных испытаний, показывающие целесообразность модификации готового воздушного судна до самолета вертикального взлета и посадки за счет уменьшения дистанции взлета и посадки и возможности переходить в режим висения, а также увеличения крейсерской скорости, что позволяет быстрее выполнять полетное задание.

Ключевые слова: самолет вертикального взлета и посадки, конвертоплан-трикоптер, беспилотное воздушное судно, тилтроттор, модернизация

Ссылка для цитирования: Серкин Б. А. Модернизация беспилотного летательного аппарата самолетного типа для обеспечения вертикального взлета и посадки // Изв. вузов. Приборостроение. 2025. Т. 68, № 1. С. 50–55. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-1-50-55.

MODERNIZATION OF AN AIRCRAFT-TYPE UAV TO ENSURE VERTICAL TAKEOFF AND LANDING**B. A. Serkin***St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia**bs_serkin@mail.ru*

Abstract. Results of upgrading an unmanned aircraft of the airplane type are presented. For the purposes of upgrading, the units of the unmanned airplane-type aircraft are developed and manufactured, providing vertical takeoff and landing of the aircraft. Presented results of flight tests demonstrate the feasibility of upgrading the finished aircraft to a vertical takeoff and landing aircraft by reducing the takeoff and landing distance, and the ability to switch to hover mode, as well as increasing the cruising speed, which allows for faster completion of flight mission.

Keywords: vertical take-off and landing aircraft, tiltrotor-tricopter, unmanned aerial vehicle, tiltrotor, modernization

For citation: Serkin B. A. Modernization of an aircraft-type UAV to ensure vertical takeoff and landing. *Journal of Instrument Engineering*. 2025. Vol. 68, N 1. P. 50–55 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-1-50-55.

В последнее время особое внимание уделяется летательным аппаратам (ЛА) с вертикальным взлетом и посадкой, совмещающим качества самолетных и вертолетных систем, но лишенным недостатков последних: вертолетные системы эффективны на малых дистанциях, а для самолетных систем характерны трудности в обеспечении взлета и посадки. Альтернативным вариантом может выступать самолет вертикального взлета и посадки (СВВП), перемещающийся в горизонтальном полете как воздушное судно с опорой на фиксированное крыло. Существуют различные конструкции СВВП [1–5], к наиболее распространенным относится тилтроттор, т. е. конвертоплан с поворотными винтами, работающими при взлете и посадке как подъемные, а в горизонтальном полете становящимися „самолетными“. Наиболее популярной конфигурацией СВВП являются ЛА с двумя [4] и четырьмя двигателями [6, 7], являющиеся гибридом квадрокоптера и самолета.

Цели настоящей работы — продемонстрировать возможность модернизации готового беспилотного ЛА самолетного типа с одним толкающим винтом путем разработки специаль-

ных узлов; построить с их помощью СВВП, совмещающий схему многороторного ЛА с тремя двигателями („трикоптер“) и самолет с двумя тянущими двигателями, способный выполнять вертикальный взлет и посадку при невозможности развертывания катапульты или отсутствии взлетно-посадочной полосы, что обосновывает целесообразность проведения работ по модернизации за счет уменьшения дистанции взлета и посадки.

Таким образом, была поставлена задача создать летательный аппарат в двух конфигурациях, который может быть доработан в полевых условиях за счет вставки консоли крыла, куда крепятся балки для закрепления механизмов поворота передних двигателей; замены заводского пилона моторамы на модернизированную с возможностью отклонения заднего двигателя. Для изготовления деталей использована технология 3D-печати на основе FDM — метода послойного наплавления.

Вариант схемы тилтротора, имеющей Т-образную форму (рис. 1), состоит из двух передних двигателей — правого $M_{пп}$ и левого $M_{пл}$, а также одного двигателя в задней части M_3 . Здесь $OXYZ$ и $O_0X_{ст}Y_{ст}Z_{ст}$ — связанная и стартовые системы координат; $\alpha_л$, $\alpha_п$, α_3 — углы наклона левого, правого и заднего двигателей; l_1 — расстояние от центра связанной системы координат до левого и правого двигателей, l_2 — расстояние до заднего двигателя, l_3 — расстояние от центра системы координат до центра тяжести (ЦТ).

Рассматриваемый ЛА может вертикально взлетать и переходить в горизонтальный полет и возвращаться в режим висения для приземления за счет изменения углов наклона левого $\alpha_л$, правого $\alpha_п$, а также заднего двигателя α_3 . Таким образом, полет СВВП достигается за счет корректировки вертикальной тяги трех несущих винтов. Анализ похожей схемы [8], но с шестью винтами, выполнен в работе [9].

Планер должен быть выполнен по классической схеме. Воздушное судно должно иметь систему соединения консолей к фюзеляжу на защелках, что позволяет в случае модернизации закрепить между фюзеляжем и консолью при помощи изготовленных вставок балки для двигателей, а также использовать данное беспилотное воздушное судно без применения специализированного ручного инструмента и дополнительных фиксирующих материалов в полевых условиях.

Для модернизации ЛА самолетного типа с одним тянущим двигателем требуется добавить в систему управления возможность отклонять два передних двигателя с целью обеспечения управления по оси „курс“. Продольное движение создается за счет наклона передних двигателей в горизонтальную плоскость. Угол крена φ (см. рис. 1) контролируется за счет разницы в тяге между двумя передними двигателями; задний двигатель используется для стабилизации угла тангажа θ в переходных фазах; движение по рысканью ψ контролируется путем наклона двух передних двигателей в разные стороны. Подробнее принцип управления описан в работе [10].

Поворотный узел заднего двигателя (рис. 2, а) изменяет вектор тяги двигателя из вертикального в горизонтальный и наоборот. При его установке использовано местоположение заводского пилона для толкающего двигателя. Модернизированный пилон (рис. 2, б) позволяет закрепить площадку для сервопривода и установить на ось вращения площадку моторамы для электродвигателя.

Требуется спроектировать крепление балок, на которые далее будет установлен узел с наклонным механизмом. Для закрепления балок необходимо обеспечить точку крепления под крылом, как это сделано на аналогичных летательных аппаратах. Чтобы не вносить изменения в готовую консоль крыла, изготовлена вставка (рис. 3, б), совмещающая в себе место для

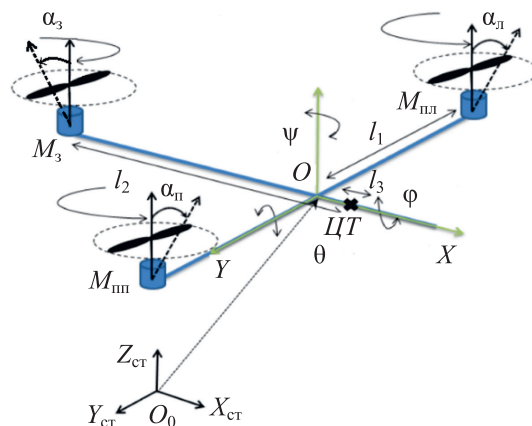


Рис. 1

закрепления балки и место стыковки консоли. В качестве образца детали был использован си-луэт исходной консоли, чтобы вставка повторяла контур крыла и позволяла беспрепятственно использовать ЛА в обоих режимах. Узел и трубка с креплением представлены на рис. 3, а.

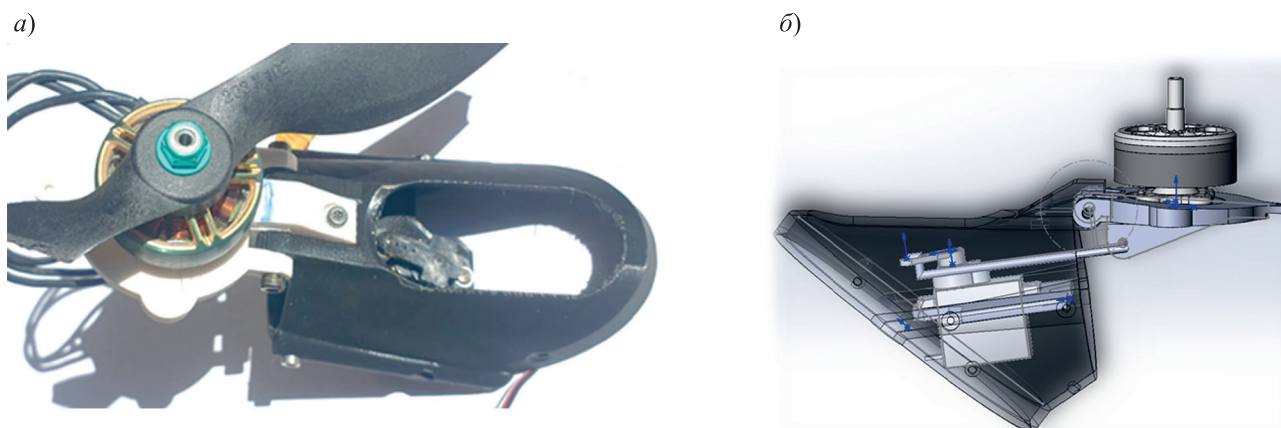


Рис. 2

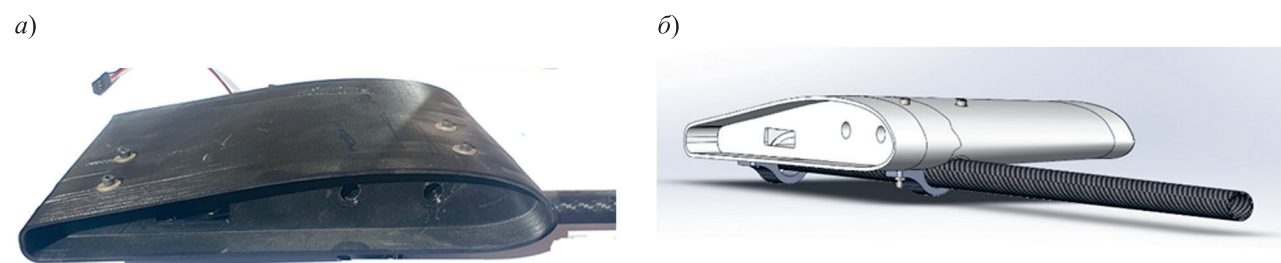


Рис. 3

Механизм поворота передних двигателей (рис. 4, б) необходим для изменения вектора тяги каждого переднего двигателя, поскольку на этом основан принцип стабилизации ЛА по оси рысканья. Готовый поворотный узел (рис. 4, а) состоит из трех деталей: 1 — крепление сервопривода к трубке, 2 — сервопривод и 3 — площадка под установку двигателя. Для крепления двигателя разработана специальная площадка, позволяющая зафиксировать в своем теле качалку сервопривода.

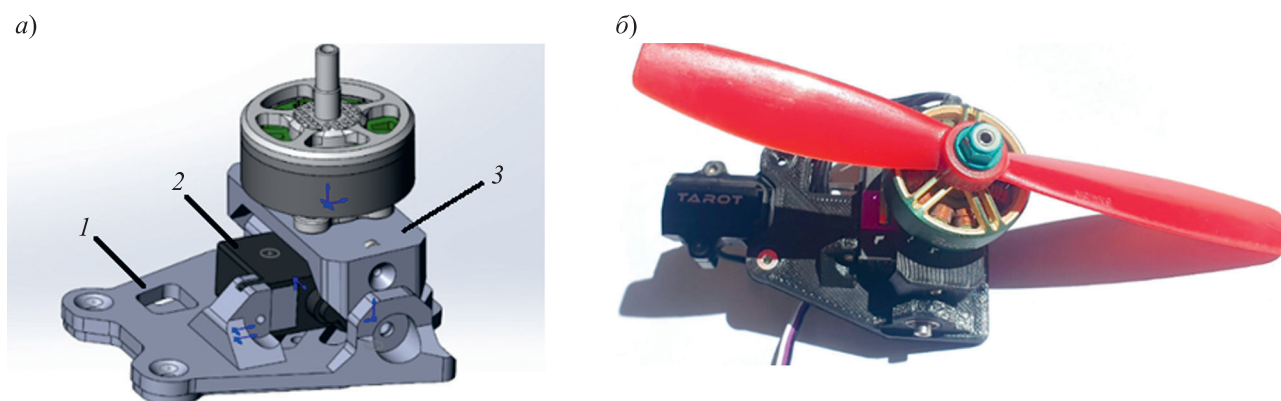


Рис. 4

После изготовления и сборки всех узлов, модернизации ЛА базовой конфигурации Volantex Ranger 2000 (на рис. 5, а представлен планер в базовой конфигурации с заводским пилоном) и настройки автопилота были проведены испытания полученного аппарата (рис. 5, б).

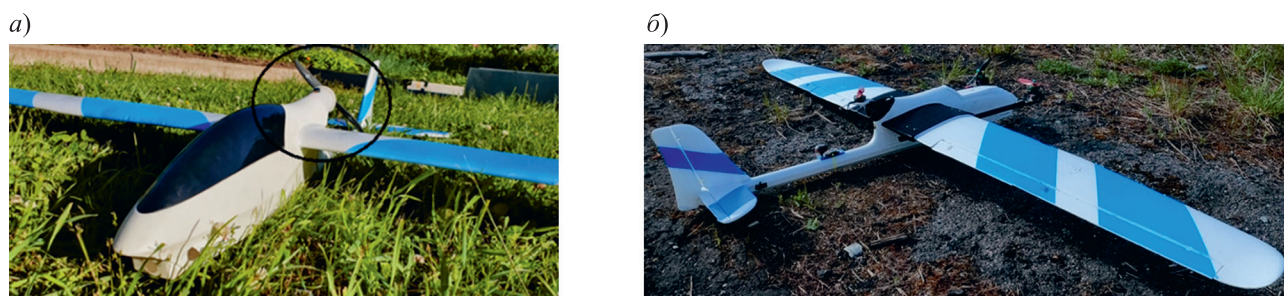


Рис. 5

По результатам цикла полетных испытаний ЛА базовой конфигурации, модифицированного СВВП (рис. 6), были получены следующие показатели (см. таблицу): крейсерская скорость выросла на 2 м/с, однако и скорость сваливания модернизированного ЛА выросла на 2 м/с, что является недостатком, поскольку ЛА теряет устойчивость и управляемость; время полета снизилось в два раза, поскольку потребление энергоустановок увеличилось, однако удалось добиться уменьшения в три раза дистанции взлета и посадки.



Рис. 6

Результаты проведения полетных испытаний

Параметр	ЛА базовой конфигурации	Модифицированный ЛА
Взлетная масса, г	1500	2400
Скорость крейсерская, м/с	13	15
Скорость сваливания, м/с	8	10
Время полета в горизонтальном полете, ч	1	—
Время работы в режиме зависания, мин	—	5
Время работы в комбинированном режиме, мин	—	30
Располагаемая дистанция для взлета, м	20	6
Располагаемая дистанция для посадки, м	30	10

В таблице под комбинированным режимом подразумевается вертикальный взлет с переходом в горизонтальный режим полета и обратно с вертикальной посадкой. Время работы в таком режиме составляет 30 минут. Согласно результатам полета, после модернизации ЛА может взлетать и садиться вертикально, однако для набора достаточной скорости для начала перехода в режим горизонтального полета и обратно ЛА требуется от 6 до 10 м.

Закключение. В работе представлены результаты разработки и изготовления механизмов и узлов поворота электродвигателей для обеспечения вертикального полета с последующим переходом в горизонтальный и наоборот. Испытания собранного ЛА показали целесообразность модификации за счет уменьшения дистанции взлета и посадки и возможности переходить в режим висения, а также увеличения крейсерской скорости, что позволяет быстрее выполнять полетное задание.

В дальнейшем следует уменьшить взлетную массу модернизированного ЛА, сократить дистанцию для перехода из одного режима в другой, а также снизить скорость сваливания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Б. Л., Шайдаков В. И. Алгоритм выполнения конвертопланом переходных режимов полета // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26, № 1. С. 27–40. EDN YZYNZZ.
2. Гребенников А. Г., Гуменный А. М., Урбанович В. А., Буйвал Л. Ю. Анализ схем конвертопланов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные ресурсы. 2016. № 73. С. 22–30.
3. Young L. What is a Tiltrotor? A Fundamental Reexamination of the Tiltrotor Aircraft Design Space // AHS International Technical Meeting on Aeromechanics Design for Transformative Vertical Flight. San Francisco, CA, January 16–18, 2018.
4. Бюшгенс А. Г., Воронин А. Ю., Кувшинов В. М., Леонтьев В. А. Синтез алгоритмов системы управления беспилотного летательного аппарата типа конвертоплан // Ученые записки ЦАГИ. 2018. Т. 49, № 2. С. 39–61. EDN XOSKCD.
5. Palaia G., Abu Salem K., Cipolla V., Vincenzo B., Zanetti D. A Conceptual Design Methodology for e-VTOL Aircraft for Urban Air Mobility // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. P. 10815. 10.3390/app112210815.
6. Ахрамович С. А., Баринов А. В., Малышев В. В., Старков А. В. Синтез системы стабилизации четырёхроторного конвертоплана по каналам тангажа и крена в вертикальном режиме // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. № 1(39). С. 72–78. EDN YWMJBO.
7. Аполлонов Д. В., Бибилова К. И., Шибеев В. М., Гаврилова А. В. Выбор архитектуры системы автоматического управления преобразуемого беспилотного летательного аппарата — „конвертоплана“ // Труды МАИ. 2021. № 121. DOI 10.34759/trd-2021-121-25. EDN BVPPZK.
8. Емельянова О. В., Казарян Г. К., Мартинез Леон А. С., Яцун С. Ф. Синтез параметров электроприводов БПЛА типа „конвертоплан–трикоптер“ // Cloud of Science. 2017. Т. 4, № 2. С. 249–263. EDN: YUSERL.
9. Яцун С. Ф., Емельянова О. В., Ефимов С. В. Механизмы конвертопланов // Новые механизмы в современной робототехнике. М.: Техносфера, 2018. С. 247–267. EDN LIIZIC.
10. Chen Chao, Zhang Jiyang, Zhang Daibing, Shen Lincheng. Control and flight test of a tilt-rotor unmanned aerial vehicle // Intern. J. of Advanced Robotic Systems. 2017. Vol. 14, N 1. DOI:10.1177/1729881416678141.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Богдан Анатольевич Серкин

— аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов; E-mail: bs_serkin@mail.ru

Поступила в редакцию 10.07.24; одобрена после рецензирования 09.09.24; принята к публикации 21.11.24.

REFERENCES

1. Artamonov B.L., Shaidakov V.I. *Vestnik MAI*, 2019, no. 1(26), pp. 27–40. (in Russ.)
2. Grebennikov A.G., Gumennyi A.M., Urbanovich V.A., Buival L.Yu. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye resursy*, 2016, no. 73, pp. 22–30. URL: <https://docplayer.ru/47633105-Analiz-shemkonvertoplanov>. (in Russ.)
3. Young L. *AHS International Technical Meeting on Aeromechanics Design for Transformative Vertical Flight*, San Francisco, CA, January 16–18, 2018.
4. Byushgens A.G., Voronin A.Yu., Kuvshinov V.M., Leont'ev V.A. *Uchenye zapiski TsAGI*, 2018, no. 2(49), pp. 39–61. (in Russ.)
5. Palaia G., Abu Salem K., Cipolla V., Vincenzo B., Zanetti D. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, pp. 10815, 10.3390/app112210815.
6. Akhramovich S.A., Barinov A.V., Malyshev V.V., Starkov A.V. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*, 2018, no. 1, pp. 72–78. (in Russ.)
7. Apollonov D.V., Bibikova K.I., Gavrilova A.V., Shibaev V.M. *Trudy MAI*, 2021, no. 121, DOI: 10.34759/trd-2021121-25. (in Russ.)
8. Emelyanova O.V., Kazaryan G.K., Martinez Leon A.S., Jatsun S.F. *MATEC Web Conf.*, 2017, vol. 99, pp. 02002, DOI: 10.1051/mateconf/20179902002.
9. Yacun S.F., Emel'yanova O.V., Efimov S.V. *Novye mekhanizmy v sovremennoj robototekhnike* (New Mechanisms in Modern Robotics), Moscow, 2018, pp. 247–267. (in Russ.)
10. Chen Chao, Zhang Jiyang, Zhang Daibing, Shen Lincheng, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2017, January, pp. 1–12. DOI:10.1177/1729881416678141.

DATA ON AUTHOR

Bogdan A. Serkin

— Post-Graduate Student; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Aerospace Measuring and Computing Complexes; E-mail: bs_serkin@mail.ru

Received 10.07.24; approved after reviewing 09.09.24; accepted for publication 21.11.24.