

О некоторых особенностях применения БПЛА VTOL в качестве воздушной платформы для ретранслятора сигналов связи

¹***СЕМЧЕНКО Алексей Геннадьевич**, докторант, alex777avia@yandex.kz,

²**КАЙЗЕР Татьяна Николаевна**, магистрант, директор по НИОКР, tatyana-kaizer@mail.ru,

³**БАЙСЕЙТОВ Мадии Нуралиевич**, к.т.н., зам. главнокомандующего Силами воздушной обороны Вооруженных Сил Республики Казахстан, baiseitov1970@mail.ru,

²**НЕСИПОВА Салтанат Саматовна**, магистр, проект менеджер офиса управления НИОКР, nesipova_s@mail.ru,

¹Национальный университет обороны Республики Казахстан, пр. Туран, 72, Астана, Казахстан,

²ТОО «Research & Development центр «Казахстан инжиниринг», ул. Аuezова, 2, Астана, Казахстан,

³Управление главнокомандующего Силами воздушной обороны Вооруженных Сил Республики Казахстан, пр. Абая, 25, Астана, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Статья разработана в рамках научного исследования по теме программы: ИРН BR21882279 «Разработка и изготовление малогабаритного ретранслятора связи на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для увеличения дальности и устойчивости радиосвязи». Рассматриваются некоторые особенности применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с вертикальным взлетом и посадкой (VTOL) в качестве воздушной платформы для ретрансляторов сигналов связи. Исследование представляет собой анализ преимуществ и ограничений данной технологии. Особое внимание уделяется возможностям повышения эффективности и надёжности связи за счёт оптимизации функциональных характеристик БПЛА. Результаты исследования могут быть полезны при проектировании и использовании БПЛА VTOL как важного средства для увеличения дальности и надёжности связи.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БПЛА), дрон, VTOL (вертикальный взлёт и посадка), платформа для ретрансляции связи на базе БПЛА VTOL, аэродинамические свойства, энергоэффективность.

Введение

В работе [1] ранее рассмотрены некоторые типы аэродинамических компоновок БПЛА, используемых разработчиками в качестве воздушной платформы для ретрансляции связи, проведена краткая оценка положительных и отрицательных свойств БПЛА-платформ. Проведенный в исследовании анализ [1] показал, что каждая аэродинамическая компоновка (самолетного, квадрокоптерного и гибридного типа) имеет как положительные, так и отрицательные свойства.

Гибридные дроны имеют оптимальное сочетание преимуществ аэродинамических свойств БПЛА самолетного и квадрокоптерного типа: высокую скорость, дальность и маневренность. Среди недостатков – слож-

ная конструкция, повышенные энергозатраты и высокая стоимость. Описание аэродинамических качеств таких БПЛА, общий обзор и сравнение методов управления, используемых при управлении гибридными БПЛА отражены в работе авторов [2]–[5].

Гибридные БПЛА способны совершать взлет и посадку «по-вертолетному» и в современной классификации беспилотников имеют свое обозначение – VTOL (от англ. Vertical Take Off and Landing). Это общее зарубежное название для летательных аппаратов, способных взлетать и садиться при нулевой горизонтальной скорости, используя тягу двигателя (двигателей), направленную вертикально.

Примеры использования подобных беспилотных аэродинамических платформ

в различных целях отражены в источниках [6]-[8].

Цель исследования – анализ ключевых особенностей применения БПЛА VTOL в качестве аэродинамической платформы для ретрансляции связи.

Задачи исследования:

- анализ положительных и отрицательных свойств БПЛА VTOL в качестве аэродинамической платформы;
- формулирование особенностей применения БПЛА VTOL в качестве воздушной платформы для ретрансляции связи.

Материалы и методы

Исследование основано на информации из открытых источников, в число которых вошли научные статьи, публикации в специализированных журналах и изданиях, посвященных изучению технических характеристик БПЛА VTOL, используемых в качестве аэродинамической платформы для выполнения различных задач, в том числе для ретрансляции связи. В статье использованы методы анализа, синтеза, обобщения и систематизации полученных данных.

Результаты и обсуждение

Сравнение лётных, технических, конструктивных характеристик БПЛА различной аэродинамической компоновки [1] показало, что дроны VTOL занимают устойчивую среднюю позицию по основным ключевым параметрам (скорость, дальность, манёвренность, энергоэффективность). Благодаря

этому, дроны такой компоновки представляют интерес для разработчиков, использующих БПЛА для организации связи.

В свою очередь, гибридные БПЛА VTOL могут различаться по аэродинамическим решениям конструкции. Так, в исследовании [5], проведенном высшей школой естественных и прикладных наук Ближневосточного технического университета рассматривается несколько конструктивных особенностей дронов VTOL.

К примеру, в таблице, отражённой в исследовании [5], представлена оценка по пятибалльной шкале некоторых характеристик основных типов БПЛА VTOL (дословный перевод с английского: Tail-sitter – «Сидящий на хвосте», Ducted fan – «Канальный вентилятор», Tilt-wing – «Наклонное крыло», Tilt-rotor – «Наклонный ротор», Quadrotor-FW – «Квадрокоптер-фиксированное крыло»).

Как видно из таблицы, все основные типы БПЛА VTOL имеют большой разброс оценок по различным характеристикам (в таблице указаны последовательно по категориям: управление, переход (между вертикальным и горизонтальным этапами полета), возможность зависания, горизонтальный полет, энергоэффективность, механическая сложность, объем полезной нагрузки).

По оценке исследователей [5], наилучшие показатели имеет VTOL-дрон с поворотным крылом (Tilt-wing), но его конструкция слишком сложна. В рамках данного исследо-

Оценка основных типов БПЛА VTOL [5]

					
	Сидящий на хвосте	Канальный вентилятор	Наклонное крыло	Наклонный ротор	Квадрокоптер-фиксированное крыло
Управление	2	4	3	3	4
Передача	3	4	3	3	4
Возможность зависания	1	3	4	3	4
Горизонтальный полет	3	2	4	4	2
Энергоэффективность	4	2	5	5	2
Механическая сложность	4	2	4	3	5
Объем полезной нагрузки	2	1	4	3	2

вания рассматривается более простой вариант – Quadrotor-FW, созданный на базе дрона «Шагала-М» ТОО «R&D центр «Казахстан инжиниринг» (разработчик). Его исходные лётные характеристики доступны в открытом доступе [9] и в данной статье не приводятся.

Однако чтобы обеспечить новые аэродинамические и маневренные возможности, в конструкции разрабатываемого дрона включены балки для осуществления вертикального взлета и посадки, а концептуальная схема нового БПЛА VTOL для ретрансляции связи отражена в работе коллектива авторов [10] и представлена на рисунке 1.

Доработка конструкции планера до VTOL типа Quadrotor-FW позволила разработчику существенно повысить маневренные возможности дрона. В соответствии с проведенными расчетами [10] масса целевой нагрузки для данного типа БПЛА составит не более 2,5 кг. Вместе с тем, в случае оптимизации веса других элементов конструкции БПЛА без изменения геометрических и аэродинамических параметров (от 0,5 кг до 1,5 кг), к которым относятся, прежде всего, элементы питания БПЛА, возможно увеличение массы полезной нагрузки до 3-4 кг.

Главное преимущество БПЛА VTOL – возможность взлета и посадки без полос и специальных устройств. Однако наиболее сложными остаются переходные фазы между вертикальным и горизонтальным полётом. На рисунке 2 схематично показаны эти фазы для дрона с поворотным крылом (Tilt-wing) [11].

Как видно из рисунка 2, для оператора дрона VTOL наиболее сложными являются

этапы вертикального взлета и перехода в горизонтальный полет, а также сброса скорости и перехода в режим вертикальной посадки. Наиболее стабильным участком полета БПЛА VTOL является фаза выполнения полетного задания (Mission Phase) по ретрансляции связи в указанном районе.

Особенности пилотирования БПЛА VTOL типа Quadrotor-FW («квадрокоптер-фиксированное крыло») включают вертикальный взлёт с набором безопасной высоты, переход в горизонтальный полёт с включением маршевого двигателя и обратную последовательность при посадке. Наиболее сложными для пилотирования являются переходные этапы полета, однако в настоящее время имеется возможность отработки этих этапов оператором на современных БПЛА VTOL симуляторах [12].

По данным исследований [5], [10], к основным недостаткам компоновки БПЛА VTOL типа Quadrotor-FW относятся: низкая энергоэффективность (питание необходимо для маршевого двигателя, четырех двигателей VTOL, а также полезной нагрузки), сниженная устойчивость в горизонтальном полёте из-за сопротивления элементов VTOL и ограниченная полезная нагрузка.

Указанные недостатки БПЛА VTOL можно устранить за счёт технической оптимизации. Энергоэффективность улучшается с помощью современных лёгких аккумуляторов и сокращения переходных фаз полёта. Устойчивость повышается установкой аэродинамических обтекателей, хотя это увеличивает массу и сопротивление. Нагрузку можно оптимизировать за счёт применения композитных материалов и облегчённой элементной

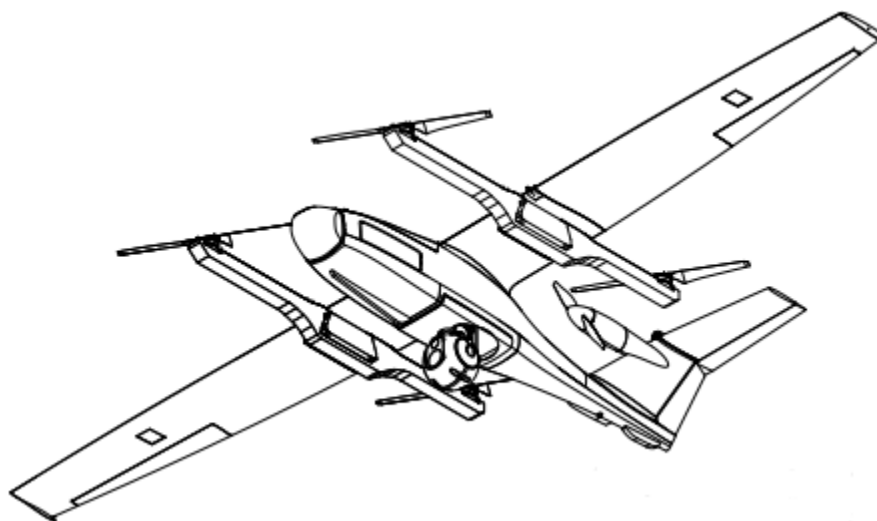


Рисунок 1 – Концептуальная схема БПЛА VTOL типа Quadrotor-FW для ретрансляции связи (источник: [10])

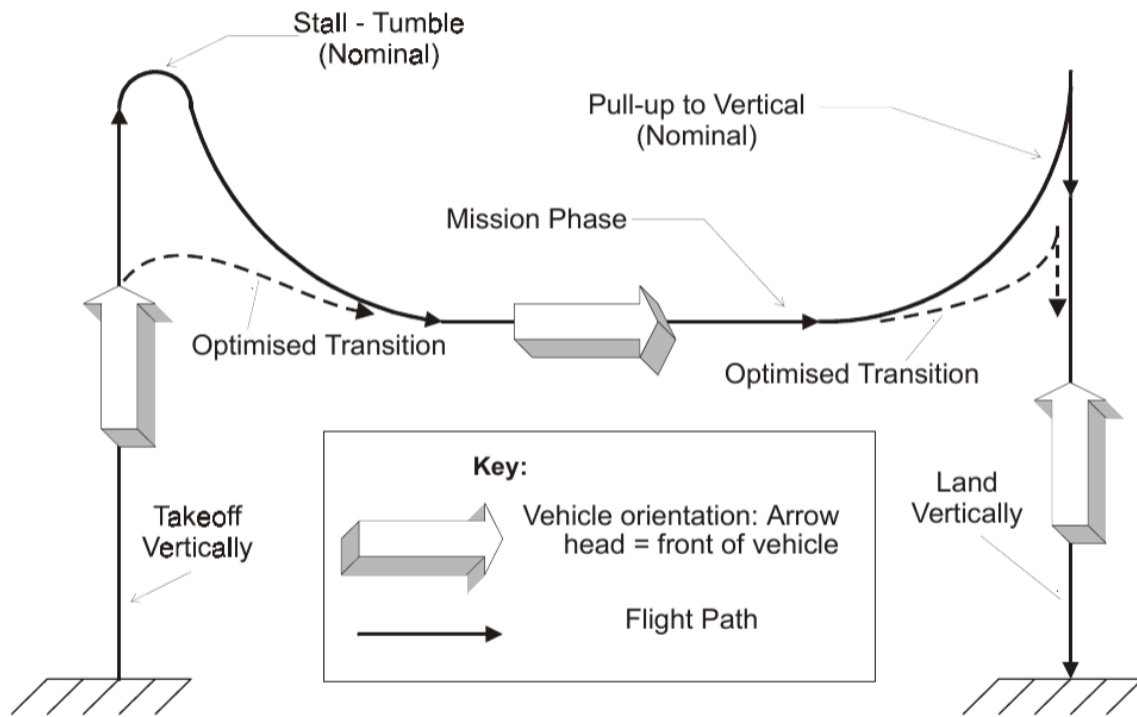


Рисунок 2 – Схема фаз перехода режимов полета для БПЛА VTOL с наклонным (поворотным) крылом (Titl-wing) (источник: [11])

базы ретрансляторов.

На основе изучения и анализа технических особенностей и основных лётных характеристик сформируем ключевые особенности применения БПЛА VTOL в качестве воздушной платформы для ретрансляции связи:

1. БПЛА VTOL позволяет быстро и удобно развернуть систему ретрансляции связи в любой точке без подготовленной площадки для взлета и посадки.

2. Благодаря своей мобильности и возможности вертикального взлета и посадки, БПЛА VTOL может использоваться в труднодоступных или опасных зонах, где другие летательные аппараты не могут быть использованы.

3. БПЛА VTOL обладает достаточно широким радиусом действия, что позволяет покрыть большую территорию сигналом связи.

4. Использование БПЛА VTOL для ретрансляции связи позволяет снизить расходы на использование наземных мобильных и стационарных средств.

5. БПЛА VTOL могут быть использованы для организации связи во время военных действий, обеспечивая связь между военными подразделениями на поле боя, в операциях по противодействию террористическим угрозам, а также могут быстро выходить в заданный район над местом стихийного бед-

ствия и обеспечивать ретрансляцию связи для координации спасательных операций.

6. Беспилотные аппараты VTOL могут быть использованы для создания временных зон связи в случае аварий на коммуникационной инфраструктуре.

7. БПЛА VTOL могут быть интегрированы в сеть беспилотных и пилотируемых аппаратов для создания распределенной системы ретрансляции связи, обеспечивая широкий охват и надежность связи.

Выводы

Таким образом, БПЛА VTOL обладают рядом преимуществ как платформа для ретрансляции связи: они не требуют взлётных площадок, легко развёртываются в труднодоступных районах, покрывают большие территории и снижают затраты на наземную инфраструктуру. Эти дроны эффективны при ЧС и военных операциях, позволяют создавать временные зоны связи и интегрируются в распределённые сети для обеспечения надёжной коммуникации.

При правильном выборе конфигурации и технических характеристик, БПЛА VTOL могут обеспечить стабильную и надежную работу в качестве воздушной платформы для ретрансляторов сигналов связи и обеспечения устойчивого управления на больших расстояниях и в различных условиях обстановки.

Исследование показало, что БПЛА VTOL, в том числе дроны типа Quadrotor-FW (квадрокоптер-фиксированное крыло), являются эффективной воздушной платформой для размещения оборудования ретрансляции

связи. Выявленные в ходе исследования недостатки воздушной платформы могут быть нивелированы современными техническими, конструктивными и энергетическими решениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Semchenko A., Baiseitov G., Kaizer T., Nesipova S. Some Conditions and Factors Affecting the Creation of Signal Relay Facilities Based on Unmanned Aerial Vehicles / Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова // Труды университета № 3 (96), 2024 / DOI: 10.52209/1609-1825_2024_3_423/ – С. 423-428.
2. Guillaume J.J. Ducard, Mike Allenspach. Review of designs and flight control techniques of hybrid and convertible VTOL UAVs / Aerospace Science and Technology 118 (2021) 107035 / DOI: 10.1016/j.ast.2021.107035 1270-9638/ – С. 1-25.
3. Akshat Misra, Sudhakaran Jayachandran, Shivam Kenche, Anirudh Katoch. A Review on Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Tilt-Rotor and Tilt Wing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) / Wiley Journal of Engineering / 2022(1803638):1-27 / DOI: 10.1155/2022/1803638/ – С. 1-27.
4. Hasan Shakir, Dilek Funda Kurtulus. Design and aerodynamic analysis of a VTOL tilt-wing UAV / Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences / DOI: 10.55730/1300-0632.3810/ – С. 767-784.
5. Hasan Shakir. Design and analysis of a VTOL tilt-wing UAV / A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university / July 2020, 160 pages / URL: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12625557/index.pdf>.
6. Беспилотные авиационные системы VTOL для армии США / Новые военные технологии / электронный ресурс / URL: <https://invoen.ru/obraszi-vooruzhenija-i-voennoj-tehniki/novie-voennie-tehnologii/bespilotnye-aviacionnye-sisteny-vtol-dlja-armii-ssha>.
7. ТОП-5 новейших российских беспилотных VTOL аппаратов на 2024 год: от разведки до грузоперевозок / электронный ресурс / URL: <https://rcmonste.ru/blog/article/top-5-noveyshih-rossijskih-bespilotnyh-vtol-apparatov-na-2024-god-ot-razvedki-do-gruzoperevozok-chast-1-gruzopodemnostyu-do-5-kg>.
8. Использование дронов для передачи данных между базовыми станциями и пользовательскими терминалами / электронный ресурс / URL: <https://fenix.help/works/diplom-dlya-magistra/telekommunikacii-i-radiotekhnika/rgrtu/ispolzovanie-dronov-dlya-peredachi-dannyh-mezhdu-bazovym>.
9. Официальный сайт TOO «R&D центр «Казахстан инжиниринг» / URL: <https://rdke.kz/ru/content/bespilotnyy-aviacionnyy-kompleks-shagala-m>.
10. Коллектив авторов. Промежуточный отчет о НИР по теме программы: ИРН BR21882279-ОТ-23 «Разработка и изготовление малогабаритного ретранслятора связи на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для увеличения дальности и устойчивости радиосвязи / TOO «R&D центр «Казахстан инжиниринг», 2024 год.
11. R.H. Stone, G. Clarke, The T-Wing: A VTOL UAV for Defense and Civilian Applications / электронный ресурс / URL: <http://www.rexresearch.com/stone/UAVAuConfTWing.pdf>/ – С. 1-13.
12. Alaez D, Olaz X, Prieto M, Porcellinis P, Villadangos J. HIL Flight Simulator for VTOL-UAV Pilot Training Using X-Plane / International Journal of Astronautics and Aeronautical Engineering / DOI: 10.35840/2631-5009/7564/ – С. 1-13.

Байланыс сигналдарын ретрансляциялау үшін әуе платформасы ретінде VTOL ҰҰА пайдаланудың кейбір ерекшеліктері туралы

¹***СЕМЧЕНКО Алексей Геннадьевич**, докторант, alex777avia@yandex.kz,

²**КАЙЗЕР Татьяна Николаевна**, магистрант, F3TKЖ бойынша директоры, tatyana-kaizer@mail.ru,

³**БАЙСЕЙТОВ Мадии Нуралиевич**, т.ғ.к., Қазақстан Республикасы Қарулы Күштері Әуе қорғанысы күштері Бас қолбасшысының орынбасары, baiseitov1970@mail.ru,

²**НЕСИПОВА Салтанат Саматовна**, магистр, F3TKЖ басқару кеңсесінің жоба менеджері, nesipova_s@mail.ru,

¹Қазақстан Республикасы Ұлттық қорғаныс университеті, Туран даңғылы, 72, Астана, Қазақстан,

²«Қазақстан инжиниринг» Research & Development орталығы» ЖШС, Аuezова көшесі, 2, Астана, Қазақстан,

³Қазақстан Республикасы Қарулы Күштері Әуе қорғанысы күштерінің бас қолбасшысының басқармасы, Абай даңғылы, 25, Астана, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Андапта. Мақала ЖТН BR21882279 «Радиобайланыстың қашықтығы мен тұрақтылығын арттыру үшін ұшқышсыз ұшу аппараты (ҰҰА) базасында шағын габаритті байланыс ретрансляторын әзірлеу және дайындау» бағдарламалық тақырыбы бойынша ғылыми зерттеудің бөлігі ретінде әзірленген. Байланыс ретрансляторы үшін әуе платформасы ретінде тік ұшып көтерілу және қону (VTOL) ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) пайдаланудың кейбір ерекшеліктері қарастырылады. Зерттеу осы технологияның артықшылықтары мен шектеулерінің талдауын ұсынады, сондай-ақ сенімді және тиімді байланыстарды қамтамасыз ету контекстінде ҰҰА функционалдығын оңтайландыру мүмкіндіктерін қарастырады. ҰҰА функционалдық сипаттамаларын оңтайландыру арқылы байланыс тиімділігі мен сенімділігін арттыру мүмкіндіктеріне ерекше назар аударылған. Зерттеу нәтижелері әуе байланысы ретрансляторының маңызды құралы ретінде VTOL ҰҰА жобалау және пайдалану кезінде пайдалы болуы мүмкін.

Кілт сөздер: ұшқышсыз ұшатын аппарат (ҰҰА), дрон, VTOL (тік ұшып көтерілу және қону), VTOL ҰҰА негізіндегі байланыс ретрансляторының платформасы, аэродинамикалық қасиеттер, энергия тиімділігі.

On Some Aspects of Using VTOL UAVs as an Air Platform for Communication Signal Relay

¹***SEMCHENKO Alexey**, Doctoral Student, alex777avia@yandex.kz,

²**KAIZER Tatyana**, Master's Student, Director of R&D, tatyana-kaizer@mail.ru,

³**BAISEITOV Madi**, Cand. of Tech. Sc., Deputy Commander-in-Chief of the Air Defense Forces of the Armed Forces of the Republic of Kazakhstan, baiseitov1970@mail.ru,

²**NESIPOVA Saltanat**, Master's Degree, Project Manager of the R&D Management Office, nesipova_s@mail.ru,

¹National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Turan Avenue, 72, Astana, Kazakhstan,

²«Research&Development Center «Kazakhstan Engineering» LLP, Auezova Street, 2, Astana, Kazakhstan,

³Office of the Commander-in-Chief of the Air Defense Forces of the Armed Forces of the Republic of Kazakhstan, Abay Avenue, 25, Astana, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The article was developed as part of a scientific study on the topic of the program: IRN BR21882279 «Development and manufacture of a small-sized communication repeater based on an unmanned aerial vehicle (UAV) to increase the range and stability of radio communications». Some features of using vertical takeoff and landing (VTOL) unmanned aerial vehicles (UAVs) as an air platform for communication relay are considered. The study analyzes the advantages and limitations of this technology, and also considers the possibilities of optimizing the functionality of UAVs in the context of ensuring reliable and effective communica-

tions. Particular attention is paid to the possibilities of improving communication efficiency and reliability through the optimization of UAV functional characteristics. The research results can be useful in the design and use of VTOL UAVs as an important means of enhancing the range and reliability of communication.

Keywords: *unmanned aerial vehicle (UAV), drone, VTOL (vertical takeoff and landing), VTOL UAV-based communications relay platform, aerodynamic properties, energy efficiency.*

REFERENCES

1. Semchenko A., Baiseitov G., Kaizer T., Nesipova S. Some Conditions and Factors Affecting the Creation of Signal Relay Facilities Based on Unmanned Aerial Vehicles / Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov // University Works № 3 (96), 2024 / DOI: 10.52209/1609-1825_2024_3_423/ – C. 423-428.
2. Guillaume J.J. Ducard, Mike Allenspach. Review of designs and flight control techniques of hybrid and convertible VTOL UAVs / Aerospace Science and Technology 118 (2021) 107035 / DOI: 10.1016/j.ast.2021.107035 1270-9638/ – C. 1-25.
3. Akshat Misra, Sudhakaran Jayachandran, Shivam Kenche, Anirudh Katogh. A Review on Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Tilt-Rotor and Tilt Wing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) / Wiley Journal of Engineering / 2022(1803638):1-27 / DOI: 10.1155/2022/1803638/ – C. 1-27.
4. Hasan Shakir, Dilek Funda Kurtulus. Design and aerodynamic analysis of a VTOL tilt-wing UAV / Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences / DOI: 10.55730/1300-0632.3810/ – C. 767-784.
5. Hasan Shakir. Design and analysis of a VTOL tilt-wing UAV / A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university/ July 2020, 160 pages / URL: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12625557/index.pdf>.
6. Unmanned aircraft systems VTOL for the US Army / New military technologies / electronic resource / URL: <https://invoen.ru/obraszi-vooruzheniya-i-voennoj-tehniki/novye-voennye-tehnologii/bespilotnye-aviacionnye-sistemy-vtol-dlja-armii-ssha>.
7. TOP-5 newest Russian unmanned VTOL devices for 2024: from reconnaissance to cargo transportation / electronic resource / URL: <https://rcmonste.ru/blog/article/top-5-novye-rossijskie-bespilotnye-vtol-apparaty-na-2024-god-ot-razvedki-do-gruzoperevozok-chast-1-gruzopodemnostyu-do-5-kg>.
8. Using drones to transmit data between base stations and user terminals / electronic resource / URL: <https://fenix.help/works/diplom-dlya-magistra/telekommunikacii-i-radiotekhnika/rgrtu/ispolzovanie-dronov-dlya-peredachi-dannyh-mezhdu-bazovym>.
9. Official website of «R&D center “Kazakhstan engineering» LLP / URL: <https://rdke.kz/ru/content/bespilotnyy-aviacionnyy-kompleks-shagala-m>.
10. Team of authors. Interim report on research work on the program topic: IRN BR21882279-OT-23 «Development and manufacture of a small-sized communication repeater based on an unmanned aerial vehicle (UAV) to increase the range and stability of radio communications» / R&D center Kazakhstan Engineering LLP, 2024.
11. R.H. Stone, G. Clarke, The T-Wing: A VTOL UAV for Defense and Civilian Applications / electronic resource / URL: <http://www.rexresearch.com/stone/UAVAuConfTWing.pdf>/ – C. 1-13.
12. Alaez D, Olaz X, Prieto M, Porcellinis P, Villadangos J. HIL Flight Simulator for VTOL-UAV Pilot Training Using X-Plane / International Journal of Astronautics and Aeronautical Engineering / DOI: 10.35840/2631-5009/7564/ – C. 1-13.