

## РАЗВИТИЕ МАЛЫХ БПЛА В ВЕДУЩИХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Дубинина М.Г.

*Статья посвящена исследованию роли малых БПЛА в современных военных конфликтах, особенностей применения и выполняемых ими миссий (на примере моделей США и Израиля). Проведен анализ и моделирование динамики их технических показателей. Для БПЛА этого класса рассчитан индекс технической сложности (ИТС) и построена модель зависимости логарифма цены БПЛА от логарифма ИТС.*

doi: 10.20537/mce2025econ07

**Введение.** Особенностью современного этапа ведения военных действий является повсеместное использование малых военных БПЛА для повышения осведомленности воюющих сторон. Современные малые БПЛА обладают низкой акустической сигнатурой, легко запускаются, надежны и относительно нечувствительны к высоте и температуре. Существует два основных типа малых БПЛА: с фиксированным и вращающимся крылом. Малые БПЛА более уязвимы для атак и потерь из-за низкой высоты полета, поэтому они должны быть достаточно недорогими, но при этом способными перевозить полезные грузы. В качестве силовой установки на них наиболее часто используются электрические двигатели.

В данном исследовании рассмотрены модели малых БПЛА с фиксированным крылом, выделены мини- и тактические БПЛА, проанализированы тенденции их развития на примере аппаратов производства компаний Aeronautics Defense Systems, Rafael (в 2019 г. поглотил компанию Aeronautics Defense Systems), Elbit System, IAI Malat (все — Израиль) и AeroVironment (США).

**Классификация малых БПЛА.** Малые БПЛА охватывают широкий спектр аппаратов, они могут быть тактическими, мини- и микро-БПЛА. Для их классификации используются эксплуатационные характеристики, показатели дальности, максимальной взлетной массы и максимальной высоты полета. В работе [1] приведена их классификация по

максимальной взлетной массе: до 2 кг — микро-БПЛА, от 2 до 15 — мини-БПЛА, свыше 15 кг — тактические.

Малые БПЛА применяются для тактической разведки в реальном времени, наблюдения, обнаружения противника. Они ведут непрерывное отслеживание статических целей, наблюдают за густонаселенной городской зоной, сопровождают войска, следят за транспортными средствами, а также направляют боевые группы к цели.

Основными производителями малых БПЛА являются компании Израиля и США. Rafael, Elbit System, IAI Malat и AeroVironment за период военных конфликтов 2022–2023 гг. существенно увеличили свои портфели заказов. Динамика их экономических показателей представлена в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные экономические показатели ведущих компаний-производителей малых БПЛА. Источник: [2, 3, 4, 5].

Показатель	Год	AeroVironment	IAI	Elbit Systems	Rafael
		США	Израиль		
Выручка, млн долл.	2020	367.296	4.184	4.663	2.75
	2023	716.72	5.327	5.975	3.93
	2023 к 2020	1.95	1.27	1.28	1.43
Численность занятых, человек	2020	828	14331	16676	8000
	2023	1428	15000	18984	10000
	2023 к 2020	1.72	1.05	1.14	1.25
Затраты на НИОКР, млн долл.	2020	46.477	0.196	0.360	0.26
	2023	97.687	0.275	0.503	0.09
	2023 к 2020	2.10	1.40	1.40	0.34
Чистая прибыль, млн долл.	2020	41.339	0.133	0.238	0.11
	2023	59.666	0.318	0.216	0.17
	2023 к 2020	1.44	2.39	0.91	1.48
Портфель заказов, млрд долл.	2020	208.1	12.6	11	7.12
	2023	400.2	19.1	22.11	8.36
	2023 к 2020	1.92	1.52	2.01	1.17

После 2022 г. эти компании расширили штат сотрудников, увеличились их выручка и затраты на НИОКР (кроме Rafael), что связано с большим спросом и широким использованием малых БПЛА производства этих компаний в военных конфликтах.

**Развитие малых БПЛА США.** Малые БПЛА компании AeroVironment состоят на вооружении Армии США с 2003 г. и приобретаются для разведки, наблюдения и обнаружения целей в реальном времени. По данным [6], в парке БПЛА ВС США в 2024 г. более 63% составляли малые БПЛА Raven и Puma производства AeroVironment (более 9 тыс. аппаратов Raven и более 600 ед. Puma).

Первым был разработан RQ-11 Raven, представляющий собой легкую беспилотную авиационную систему, предназначенную для быстрого развертывания и отличающуюся высокой мобильностью. Каждый Raven стоит около 35 тыс. долл., вся система (три самолета, две наземные станции управления и запасные части [7]) оценивается примерно в 250 тыс. долл. Первое поколение этого БПЛА имело сложную процедуру запуска и недостаточную устойчивость полета. Следующее поколение, RQ-11 Raven B (2007 г.), может передавать цветные или инфракрасные изображения в реальном времени на наземный пункт управления и станции удаленного контроля, а также осуществлять ИК-лазерную подсветку наземных целей [8].

БПЛА Puma компании AeroVironment осуществил первый полет в 2007 г. Дальность полета базовых версий составляла 10–20 км. Для расширения рабочего диапазона была разработана антенна дальнего слежения (LRTA), что увеличило дальность прямой видимости Puma 3 до 60 км [9]. Puma второго поколения (2013 г.) может нести дополнительные полезные нагрузки (систему лазерной маркировки, ретранслятор связи, датчик геолокации). В аппарате Puma 3 AE (2021 г.) третьего поколения увеличена грузоподъемность в виде дополнительных подкрыльевых отсеков для вторичных полезных грузов. БПЛА использует улучшенный цифровой канал для передачи изображений в реальном времени. Дальность действия канала связи составляет 20 км при стандартной антенне и до 60 км при использовании антенны дальнего слежения (LRTA).

В 2023 г. компания AeroVironment представила блок, позволяющий совершать вертикальный взлет и посадку для Puma 2 AE и Puma 3 AE, а в 2024 г. разработала обновления программного обеспечения для Puma 3 AE и Puma LE, которые поддерживают надежную навигацию

при потере или недоступности сигналов GPS. Кроме того, увеличена грузоподъемность Puma 3 на 60% (до 3 кг) [10].

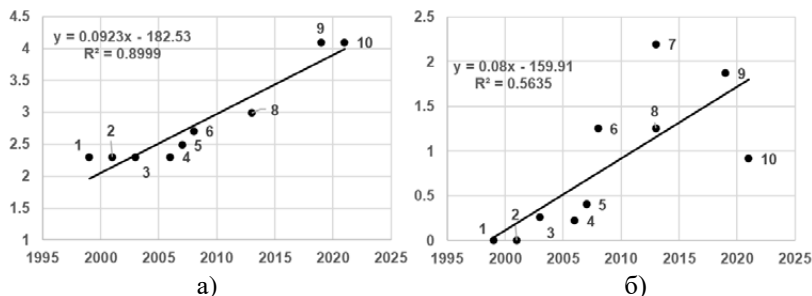
В феврале 2024 г. США объявили о планах армии поэтапно вывести RQ-11 Raven из эксплуатации, так как они имеют обычную конфигурацию с фиксированным крылом, что потенциально снижает их полезность в городских или лесных зонах [11]. В армии США теперь отдается предпочтение возможности вертикального взлета и посадки в форме гибридных VTOL-конфигураций [12].

Основные технические показатели малых БПЛА компании AeroVironment представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Основные технические показатели малых БПЛА компании AeroVironment (по данным [13]).

№	Модель	Год	Высота, км	Дальность, км	Максимальная скорость, км/ч	Максимальная взлетная масса, кг	Продолжительность полета, ч
1	RQ-11A RAVEN (FQM 151)	1999	4.5	10	73	4	1
2	RQ-11 RAVEN	2001	5	10	81	1.7	1
3	RQ-11A RAVEN	2003	...	10	95	1.9	1.3
4	Raven B	2006	0.152	10	81	2.2	1.25
5	RQ-11B RAVEN	2007	4.5	12	100	5.3	1.5
6	RQ-20 Puma AE	2008	0.152	15	83	5.9	3.5
7	Solar Puma	2013	...	...	...	5.9	9
8	Puma 2 AE	2013	0.152	20	83	6.3	3.5
9	Puma LE	2019	0.152	60	76	12.2	6.5
10	Puma 3 AE	2021	0.152	60	76	7	2.5

Динамика логарифмов максимальной дальности и продолжительности полета моделей малых БПЛА компании AeroVironment представлена на рис.1 (номера на графиках соответствуют номеру модели в табл.2).



**Рис.1.** Динамика логарифма дальности (а) и продолжительности полета (б) малых БПЛА компании AeroVironment (построено по данным табл.2).

**Развитие малых БПЛА Израиля.** Малые БПЛА Израиля разрабатываются несколькими компаниями, такими как Rafael, Elbit Systems, IAI Malat. Израиль использовал беспилотники в секторе Газа более десяти лет для работы в узких городских пространствах. Малые БПЛА могут вести наблюдение за определенной территорией, помогать перехватывать сигналы от местных телекоммуникационных сетей, наблюдать тепловые сигнатуры, передавать данные в алгоритмические системы, которые разрабатывают прогнозы относительно целей.

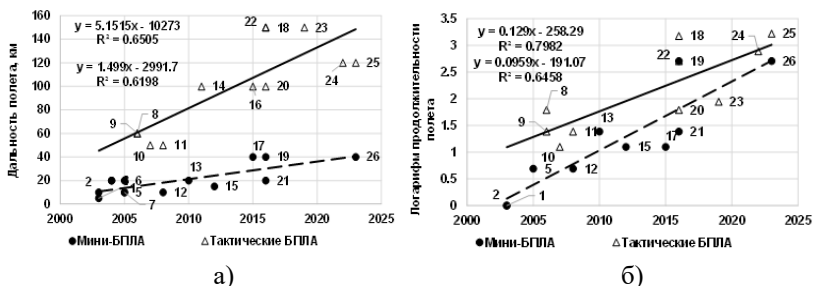
Малые БПЛА компании IAI Malat включают в себя семейство мини-БПЛА BirdEye. Первыми моделями были BirdEye 100 и 500 (2003 г.). Электрическая силовая установка аппаратов обеспечивает низкую стоимость эксплуатации и обслуживания, а также низкую акустическую сигнатуру, запуск осуществляется вручную или с помощью запуска на резинке [14]. Bird Eye 650D (2016 г.) является малой тактической системой на бензиновом двигателе с более длительным нахождением в воздухе (более 15 часов) и дальностью полета до 150 км. БПЛА позволяют интегрировать несколько полезных нагрузок, может вести высокоточную радиоэлектронную борьбу, подавляя коммуникации противника.

БПЛА семейства Orbiter производит компания Aeronautics Defense Systems, в 2019 г. ставшая частью компании Rafael. Orbiter могут

выполнять разведывательные миссии на близком расстоянии, участвовать в боевых действиях низкой интенсивности. В настоящее время более 2 тыс. БПЛА Orbiter представлены в вооруженных силах 35 стран [15]. Современные аппараты имеют компактный двигатель внутреннего сгорания, могут использоваться для управления артиллерийским огнем и оценки ущерба от бомб, обнаружения целей для высокоточного оружия, разведки связи и радиоэлектронной борьбы [16]. Последние поколения Orbiter являются тактическими БПЛА.

Малые БПЛА компании Elbit Systems представляют собой семейство Skylark, (первый полет — 2006 г.) разных поколений и модификаций. Эти аппараты находятся на вооружении Армии обороны Израиля, а также ряда военных сил по всему миру. Разработка Skylark идет в направлении создания гибридных аппаратов с двигателем внутреннего сгорания и возможностью переключения на электрический двигатель (Skylark 3 Hybrid), а также аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой (Skylark 1 eVTOL). Тактические БПЛА компании Elbit Systems могут интегрировать различные полезные нагрузки, включая электрооптические системы высокого разрешения, системы электронной разведки и лазерные целеуказатели. Технические характеристики малых БПЛА Израиля представлены в табл. 3.

Развитие малых БПЛА Израиля идет в направлении увеличения продолжительности и дальности их полета, причем продолжительность полета растет быстрее у мини-БПЛА, а дальность — у тактических (рис.2).



**Рис. 2** Динамика дальности (а) и логарифма продолжительности полета (б) мини- и тактических БПЛА Израиля (построено по данным табл. 3, номер на графике соответствует номеру модели БПЛА в таблице).

**Таблица 3.** Технические характеристики малых БПЛА Израйла (по данным [17–20]).

№	Название	Тип*	Год	Вы- сота, км	Дал- ьно- сть, км	Мак- си- маль- ная ско- рость, км/ч	Макси- мальная взлетная масса, кг	Про- дол- жи- тель- ность поле- та, ч
1	Birdeye 100	м	2003		5	70	1.3	1
2	Birdeye 500	м	2003		10	110.9	5	1
3	Skylark	м	2004	4.1	20	80	4.55	1.5
4	Skylite A	м	2004		20	90	6.5	1.1
5	Skylark I	м	2005	4.9	10	74	5.5	2
6	Skylite B	м	2005	11	20	102	6.5	1.5
7	Birdeye 400	м	2005	3.4	10	83	5.6	1.3
8	Skylark II	т	2006	4.6	60	129	43	6
9	Skaylark® II	т	2006	5	60	129	65	4
10	Orbiter 1	м	2007	5.5	50	130	7	3
11	Orbiter 2	м	2008	5.5	50	130	9.5	4
12	Birdeye 600	м	2008	...	10	120	8.5	2
13	Birdeye 650	м	2010	1	20	120	11	4
14	Orbiter 3	т	2011	5.5	100	210	30	6.5
15	Skylark I LE	м	2012	4.5	15	80	6.1	3
16	Orbiter 1K	м	2015	4.1	100	130	13	2.5
17	Skylark I-LEX	м	2015	4.6	40	92	7.5	3
18	Orbiter 4	т	2016	5.1	150	210	50	24
19	Skylark C	м	2016	4.6	40	100	7	15
20	Skylark 3	т	2016	4.6	100	100	40	6
21	Birdeye 650D	м	2016	...	20	130	11	4
22	Birdeye 650D	т	2016	...	150	148	30	15
23	Orbiter 3H	т	2019	5.5	150	130	45	7
24	Skylark 3 Hybrid	т	2022	3.7	120	130	48	18
25	Orbiter 5	т	2023	5.1	120	130	75	25
26	Skylark 1 eVTOL	т	2023	4.5	40	120	20	15

\*м – мини-БПЛА, т - тактические

Для малых БПЛА Израиля и США был рассчитан индекс технической сложности в виде:

$$\text{ИТС} = R \cdot E \cdot S \cdot \text{MTOW},$$

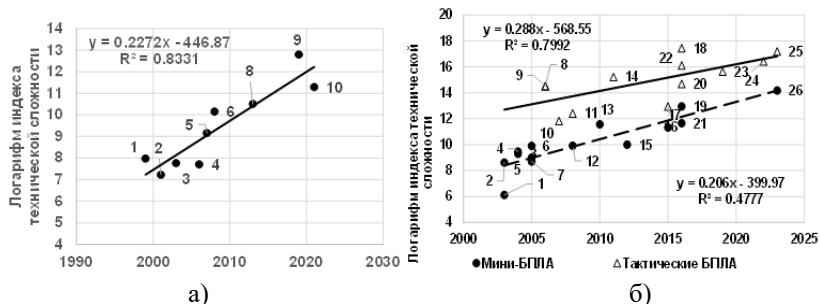
где  $R$  — дальность полета, км;

$E$  — продолжительность полета, часов;

$S$  — максимальная скорость полета, км/ч;

MTOW — максимальная взлетная масса, кг.

Для малых БПЛА Израиля и США была рассмотрена динамика этих показателей (рис.3).



**Рис.3.** Динамика логарифма ИТС малых БПЛА США (а) и Израиля (б) (Источник: авторская разработка)

Согласно полученным зависимостям, скорость роста логарифма ИТС малых БПЛА Израиля несколько опережает соответствующий показатель малых БПЛА США, а тактических БПЛА — уступает.

Для выборки из 16 моделей малых БПЛА США и Израиля, для которых есть информация, построена модель зависимости их цены от индекса технической сложности с учетом фиктивной переменной, равной 1 для тактических БПЛА, и 0 — для мини-БПЛА вида:

$$\text{Ln}(P) = a_0 + a_1 \cdot \text{Ln}(\text{ИТС}) + a_2 \cdot \text{Dum},$$

где Dum — фиктивная переменная, Dum = 1, если MTOW > 15 кг, и Dum = 0 в противном случае. Были получены следующие оценки параметров:  $a_0 = 4.06$  (8.2),  $a_1 = 0.13$  (2.8),  $a_2 = 1.12$  (3.7),  $R^2 = 0.86$ . В скобках указаны t-статистики. Получены значимые зависимости от исследуемых факторов, при этом логарифм цены малых БПЛА растет с ростом ИТС

(эластичность цены по показателю ИТС составляет 0.13), а базовая цена тактических беспилотников выше, чем у мини-БПЛА.

**Заключение.** Развитие малых БПЛА направлено в сторону увеличения продолжительности и дальности полета, а также на создание гибридных аппаратов, обладающих вертикальным взлетом и посадкой [21]. Имеющиеся в настоящее время технологии существенно увеличивают возможности применения малых БПЛА с увеличением их размаха крыльев, поэтому новые поколения рассмотренных аппаратов являются тактическими. В то же время одно из направлений развития малых БПЛА – разработка новых видов двигателей (в том числе на солнечных батареях) или использование гибридных двигательных систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Castrillo V.U., Manco A., Pascarella D., Gigante G.* A Review of Counter-UAS Technologies for Cooperative Defensive Teams of Drones. *Drones* 2022, 6, 65. doi: 10.3390/drones6030065.
2. AeroVironment Investor Relations. URL: <https://investor.avinc.com/>
3. Rafael. Rafael Announces 2023 Financial Year with Record Highs. URL: <https://www.rafael.co.il/news/rafael-announces-2023-financial-year-with-record-highs/>
4. IAI Investors. URL: <https://www.iai.co.il/news-media/press-releases/iai-publishes-its-annual-financial-statements-2023>
5. Elbit Systems Report. URL: <https://elbitsystems.com/pr-new/elbit-systems-reports-fourth-quarter-and-full-year-2023-results>
6. United States Drone Force URL: <https://www.warpowerus.com/droneforce.php>
7. Army Procures More RQ-11B Ravens. URL: <https://www.defensedaily.com/army-procures-more-rq-11b-ravens/uncategorized/>
8. RQ-11 Raven Unmanned Aerial Vehicle. URL: <https://www.army-technology.com/projects/rq-11-raven/?cf-view>
9. PUMA 3 AE. URL: <https://fragoutmag.com/aerovironment-puma-3ae-unmanned-aircraft-systems-fms-contract-for-us-ally/>
10. AeroVironment introduces software upgrades for Puma drones to excel in contested environments. URL: <https://defence-industry.eu/aerovironment-introduces-software-upgrades-for-puma-drones-to-excel-in-contested-environments/>

11. Summary Of Drone Spending In The FY 2019 Defense Budget Request. URL: <https://www.airforcetimes.com/unmanned/2018/04/09/the-pentagon-is-asking-for-3-times-as-many-drones-for-2019/>
12. The U.S. Army’s Small Uncrewed Aircraft Systems. URL: <https://sgp.fas.org/crs/weapons/IF12668.pdf>
13. AeroVironment. URL: <https://www.avinc.com/>
14. Bird Eye. URL: <https://www.deagel.com/Components/Bird%20Eye/a000176>
15. Orbiter. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) URL: <https://dimse.info/orbiter/>
16. Israel's Aeronautics and its Orbiter 4 UAV. URL: <https://vayuaerospace.in/article/424/israel-39-s-aeronautics-and-its-orbiter-4-uav>
17. Unmanned Aerial Vehicles Made In Israel. URL: <https://www.uvidtech.com/sites/uvid2020/files/2024-02/Final%20UVID%202023-4%20Poster.pdf>
18. Elbit Systems. URL: <https://elbitsystems.com/>
19. Rafael. URL: <https://www.rafael.co.il/systems/>
20. IAI. URL: <https://www.iai.co.il/>
21. Комкина Т.А., Никонова М.А., Дубинина М.Г. Технико-экономический анализ отдельных видов сервисных роботов // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т.19, вып.10. С.1965–1986. doi: 10.24891/ea.19.10.1965.

## **DEVELOPMENT OF SMALL UAVS IN LEADING FOREIGN COUNTRIES**

**Dubinina M.G.**

*The article is devoted to the study of the role of small UAVs in modern military conflicts, the features of their use and the missions they perform (using the US and Israeli models as examples). The analysis and modeling of the dynamics of their technical indicators are carried out. For UAVs of this class, the index of technical complexity (ITC) is calculated and a model of the dependence of the UAV price logarithm on the ITC logarithm is built.*