

## МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 629.73.07

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-380-392

### Классификация приоритетности боевых беспилотных летательных аппаратов на основе комплексной оценки

А.В. Крянев<sup>1</sup>, С.С. Семенов<sup>2</sup>, А.Э. Калдаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ), Москва, Россия*

<sup>2</sup> *АО Государственное научно-производственное предприятие «Регион», Москва, Россия*

#### Аннотация

Рассмотрена задача получения оценок перспективности боевых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и дальнейшей их кластеризации по значению комплексного показателя приоритета. Предложена новая схема оценивания с использованием пяти известных частных показателей БЛА, которые после их нормирования объединены в комплексный показатель БЛА. На основе полученных оценок комплексных показателей рассматриваемых БЛА, проведена кластеризация рассматриваемых БЛА согласно принадлежности комплексного показателя интервалам его возможных значений в баллах от 0 до 100. Сто или ноль баллов может получить тот БЛА, у которого все частные показатели имеют лучшие или худшие значение среди всех сравниваемых БЛА, соответственно. Кластеризация позволила разделить БЛА на группы по принципу близости значений комплексного показателя. На языке программирования Python разработана программа, которая реализует предложенную схему кластеризации, позволяет получать оценки объектов и классифицировать их по указанному принципу. Эта схема позволяет выявить лучшие и худшие БЛА в каждом из классов БЛА, выделяемых по обычно используемому показателю кластеризации – взлётной массе. Около 14% БЛА, рассмотренных в настоящей работе, вошли в лучший по комплексному показателю кластер со значением показателя не ниже 59 баллов при максимальной оценке 100 баллов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке требований к оборудованию и эксплуатации БЛА.

**Ключевые слова:** классификация, беспилотные летательные аппараты, оценочные показатели, метрический анализ.

**Цитирование:** Крянев, А.В. Классификация приоритетности боевых беспилотных летательных аппаратов на основе комплексной оценки / А.В. Крянев, С.С. Семенов, А.Э. Калдаева // *Онтология проектирования*. – 2020. – Т.10, №3(37). - С.380-392. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-380-392.

#### Введение

Разработка разведывательно-ударных и ударных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является одним из перспективных направлений развития боевых БЛА. Разведывательно-ударные БЛА предназначены для осуществления разведывательных задач, наблюдения и мониторинга с возможностью применения авиационных средств поражения (АСП) класса «воздух-поверхность» по обнаруженным объектам поражения. Ударные БЛА предназначены для поражения заданных или обнаруженных объектов поражения. В начале XXI века роль БЛА значительно возросла, особенно в локальных военных конфликтах [1].

Ведущие позиции в области создания комплексов БЛА указанных классов занимают страны: США, Китай, Израиль; другие страны – Иран, Турция, ОАЭ, Италия, Южная Корея, Индия, ЮАР – также осуществляют подобные разработки БЛА. Страны Евросоюза (Герма-

ния, Франция, Великобритания, Испания, Италия) в кооперации с другими странами проводят исследования по выбору варианта ударного комплекса БЛА. Состав комплекса БЛА может изменяться в зависимости от решаемых задач и условий применения БЛА.

Знаковым образцом разведывательно-ударного типа БЛА стал многоцелевой БЛА MQ-1 «Предейтор» [2]. Эволюция БЛА серии «Предейтор» (рисунок 1) в различных модификациях выглядит следующим образом:

- модель MQ-1 «Предейтор» с поршневым двигателем имела продолжительное время полёта и возможность нести оружие;
- в модели MQ-9 «Предейтор В» («Рипер») была увеличена масса полезной (целевой) нагрузки, скорость и максимальная высота полёта;
- модель «Предейтор С» («Эвенджер») получила дополнительную скорость для более быстрого ответного удара или быстрой передислокации с целью повышения гибкости выполнения боевой задачи и выживаемости.



Рисунок 1 – Эволюция беспилотных летательных аппаратов семейства «Предейтор»<sup>1</sup>: сверху вниз – «Предейтор», «Предейтор В» («Рипер»), «Предейтор С» («Эвенджер»)

Модель MQ-9 «Рипер» («Предейтор В») [3, 4], прошла сертификацию и было получено разрешение на полеты в общем с гражданской авиацией воздушном пространстве.

## 1 Основные подходы к классификации БЛА

Целью классификации БЛА является выделение групп БЛА, характеризующихся определёнными свойствами по своим тактико-техническим характеристикам. В основу классификации современных БЛА положены такие признаки как дальность, высота и продолжительность полёта, взлётная масса.

В статье рассмотрены варианты классификаций БЛА массой от 300 кг и более, способные нести оружие класса «воздух-поверхность» массой от 50 кг и более для поражения широкой номенклатуры целей на театре военных действий. Например, в статье [5] предложена классификация по категориям по признаку взлётной массы (таблица 1). В работе [6] классификация основана на трёх признаках – радиусе действия, высоте полёта и времени полёта (таблица 2). Классификация БЛА, учитывающая взлётную массу, высоту и продолжитель-

<sup>1</sup> Щербаков В. "Мститель" – наследник "Хищника" и "Жнеца". Разведывательно-ударный аппарат "Эвенджер" // Аэрокосмическое обозрение. – 2017. – № 1. – С. 42-49.

ность полёта, принята в вооружённых силах США (таблица 3) [7]. В монографии [8] приведены данные, характеризующие БЛА категории *MALE* и *HALE* (таблица 4).

Таблица 1 – Классификация БЛА по категориям (III-IX) [5]

Категория БЛА	Взлетная масса БЛА, кг	Тип БЛА	Требования БАС	
			В Европе	В России
III-IV	от 150 до 750	Лёгкие	Нормы на основе NATO STANAG 4671. Единые требования EASA (разработка). Разрешение EASA пользоваться в настоящее время STANAG 4671 (EASA Rulemaking EY013-01)	Проект АП с лёгкими и средними БЛА ЦЭСАТ ФГУП «ЦАГИ» (разработка)
IV-VII	от 750 до 8600	Средние		–
VII-IX	от 8600 до 20000	Тяжёлые		–

Таблица 2 – Классификация БЛА с учётом лётно-тактико-технических характеристик [6]

БЛА		Радиус действия (РД), км	Высота полёта, м	Время полёта, ч
Тактические	Микро	< 10	250	< 1
	Мини	< 10	500	< 2
	Ограниченного РД	10-30	3000	2-4
	Ближнего РД	30-70	3000	3-6
	Среднего РД	70-200	3000-5000	6-10
	Среднего РД с большой продолжительностью полёта	500	5000-8000	10-18
	Низковысотные БЛА с большой продолжительностью полёта	> 500	250-3000	> 24
	Низковысотные БЛА дальнего действия	> 250	50-5000	0,5-1
	Средневысотные БЛА с большой продолжительностью полёта	500-750	5000-8000	24-48
Стратегические	Высотные БЛА с большой продолжительностью полёта	1000-6000	15000-20000	24-48
	Стратосферные БЛА	> 2000	> 20000	> 48

Таблица 3 – Классификация БЛА, принятая в вооружённых силах США [7]

Категория	Максимальная взлётная масса, кг	Максимальная высота, м	Продолжительность полёта, ч
Средние	100-1500	3000-8000	2-24
Средневысотные с большой продолжительностью полёта ( <i>Medium Altitude Long Endurance, MALE</i> )	1500-2500	3000-8000	12-24
Высотные с большой продолжительностью полёта ( <i>High Altitude Long Endurance, HALE</i> )	2500 – 5000	5000-20 000	12-24
Ударные / Боевые	–	8000-12 000	–

Таблица 4 – Классификация БЛА категории MALE и HALE [8]

Категория	Максимальная взлётная масса, кг	Радиус действия, км	Максимальная высота, м	Продолжительность полёта, ч
Средневысотные с большой продолжительностью полёта (MALE)	1000-1500	> 500	≤ 8000	24-48
Высотные с большой продолжительностью полёта (HALE)	2500-5000	> 2000	20 000	24-48

Международной ассоциацией по беспилотным системам *AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International)*, до 2004 г. она называлась Европейской ассоциацией по беспилотным системам – *EURO UVS*) была предложена универсальная классификация БЛА (таблица 5), в основе которой лежит масса аппарата и основные лётно-тактико-технические характеристики [9].

Таблица 5 – Универсальная классификация БЛА по лётным параметрам (фрагмент) [9]

Группа	Категория (англоязычное обозначение)	Взлётная масса, кг	Дальность полёта, км	Высота полёта, м	Продолжительность полёта, ч
Тактические	Средние БЛА (Medium Range, MR)	150-500	70-200	5000	6-10
	Средние БЛА с большой продолжительностью полёта (Medium Range Endurance, MRE)	500-1500	> 500	8000	10-18
	Маловысотные БЛА для проникновения в глубину обороны противника (Low Altitude Deep Penetration, LADP)	250-2500	> 250	50-9000	0,5-1
	Маловысотные БЛА с большой продолжительностью полёта (Low Altitude Long Endurance, LALE)	15-25	> 500	3000	>24
	Средневысотные БЛА с большой продолжительностью полёта (Medium Altitude Long Endurance, MALE)	1000-1500	> 500	5000-8000	24-48
Стратегические	Высотные БЛА с большой продолжительностью полёта (High Altitude Long Endurance, HALE)	2500-5000	> 2000	20000	24-48
	Боевые (ударные) БЛА (Unmanned Combat Aerial Vehicles, UCAV)	> 1000	1500	12000	2

В связи с тем, что в источниках информации можно обнаружить данные как о «радиусе действия», так и о «дальности полёта», которые могут быть использованы при проведении сравнительного анализа БЛА, целесообразно уточнить их понятия с целью правильного использования. По данным работы [10] *тактический радиус* действия авиационного комплекса – максимальное удаление авиационного комплекса от аэродрома базирования, при котором обеспечивается воздействие по цели и возвращение на свой аэродром; *максимальная практическая дальность полёта* – это практическая дальность полёта по маршруту на наиболее выгоднейшей высоте и режиме максимальной дальности с полной заправкой и выходом на аэродром посадки с гарантийным остатком топлива. При использовании оценочного показателя «Радиус действия  $R_{БЛА}$ » его значение при наличии данных о дальности полёта составит 30-40% дальности полёта  $D_{БЛА}$ . Из приведённых сведений видно, что устойчивая классификация БЛА на сегодняшний момент окончательно не сложилась.

Было выявлено более восьмидесяти БЛА массой в диапазоне от 300 до 40000 кг и более, предназначенных для решения разведывательно-ударных и ударных задач, которые образуют самостоятельную большую группу боевых авиационных систем (БАС). Распределение количества существующих и разрабатываемых разведывательно-ударных и ударных БЛА по взлётной массе на равномерной шкале представлено на рисунке 2.

Определяющими факторами в техническом облике по конструктивному исполнению БЛА рассматриваемых классов являются выбор планера и тип двигательной установки, определяющие дальность полёта, маневренные и ударные возможности. Предварительный анализ информации по собранным материалам о БЛА самолётного типа показал, что все со-

временные разведывательно-ударные и ударные БЛА выполнены по известным аэродинамическим схемам (см. рисунок 3).

При определении уровня разработки БЛА в данной работе используется понятие «приоритетность», которое измеряется в баллах (100 баллов – верхняя граница). Для оценки приоритетности БЛА приняты следующие оценочные показатели: взлётная масса, масса полезной нагрузки, продолжительность, дальность, крейсерская скорость и высота полёта.

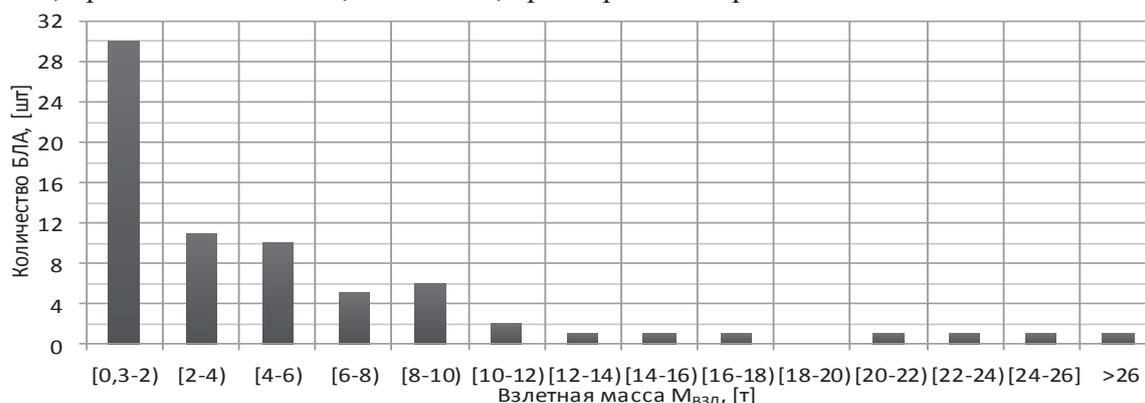


Рисунок 2 – Гистограмма распределения разведывательно-ударных и ударных БЛА стран мира по взлётной массе



Рисунок 3 – Разведывательно-ударные (а, б, в) и ударный (г) БЛА:

а) «Скай Уорриор» (США)<sup>2</sup>, б) «Фотрос» (Иран)<sup>3</sup>, в) Р.1НН «Хаммер Хед» (Италия)<sup>4</sup>; г) СН-7 (Китай)<sup>5</sup>

## 2 Параметрические зависимости как фактор кластеризации БЛА

Задача кластер-анализа состоит в выяснении по набору данных о скоплении объектов в виде отдельных групп – «кластеров» (от англ. *cluster* – гроздь, скопление) [11]. Точечные диаграммы и графические аппроксимации, отражающие связи основных оценочных показателей БЛА из таблицы 6, представлены на рисунках 4-6. На рисунках каждая точка соответствует характеристикам конкретного БЛА. Приведённые данные позволяют выявить воз-

<sup>2</sup> Мальшиев С. Состояние и перспективы разработки боевых БЛА. Часть I // Аэрокосмическое обозрение. – 2018. – № 3. – С.24-30.

<sup>3</sup> Беспилотный летательный аппарат дальнего действия Fotros (Иран). <http://bastion-karpenko.ru/fotros/> ВТС "БАСТИОН" А.В. Карпенко.

<sup>4</sup> Серийное производство разведывательных БЛА Р.1НН "Хаммер Хед". Экспресс-информация. – 2016. – № 41. – С. 6.

<sup>5</sup> Курильченко А. Боевой беспилотник СН-7: как в Китае умеют чужие неудачи превращать в свои реальные достижения / А. Курильченко // Звезда. 26.08.2018. <https://zvezdaweekly.ru/news/t/201811231442-q8Bh0.html>.

возможные группы разведывательно-ударных и ударных БЛА с лучшими и худшими соотношениями различных пар показателей этих аппаратов и провести их кластеризацию.

Таблица 6 – Исходные оценочные показатели разведывательно-ударных и ударных БЛА (по возрастанию взлётной массы)

Наименование БЛА (страна)	Взлётная масса $M_{ВЗЛ}$ , кг	Масса полезной (боевой) нагрузки $M_{ПН}$ , кг	Отношение $M_{ПН} / M_{ВЗЛ}$	Дальность полёта $D_{П}$ , км	Продолжительность полёта $T_{П}$ , ч	Максимальная скорость полёта $V_{МАКС}$ , км/ч	Высота полёта (практический потолок) $H_{П}$ , м
1. «Буревестник-МБ» (Белоруссия)	300	70	0,23	300	8	250	5000
2. «Шахед 129» (Иран)	450	60	0,13	350	24	170	9000
3. «Сикер-400» (ЮАР)	450	100	0,22	750	16	220	6000
4. «Форпост-М» (Россия)	454	100	0,22	500	17,5	200	5000
5. «Дозор-600» (Россия)	640	220	0,34	3700	30	210	7500
6. СН-3 (Китай)	640	100	0,15	2400	12	250	6000
7. «Байрактар ТВ2» (Турция)	650	55	0,08	300	24	220	7000
8. RQ-5A «Хантер» (США)	726	90	0,12	300	21	220	4570
9. RQ-1/MQ-1 «Предейтор А» (США)	1020	340	0,33	7400	40	240	7600
10. «Стар Лайнер» (Израиль)	1100	350	0,32	4000	36	110	9000
11. «Вин Лун-1» (Китай)	1150	200	0,17	4000	20	280	7500
12. «Гермес 900» (Израиль)	1180	350	0,29	4000	36	220	9145
13. «Скай-У» (Италия)	1200	150	0,12	1850	14	320	7620
14. СН-4С (Китай)	1200	345	0,29	2000	40	235	7200
15. «Орион-1 (Э)» (Россия)	1200	200	0,16	600	24	200	8000
16. «Импакт 1300» (Израиль)	1300	400	0,30	1500	30	250	9000
17. СН-4В (Китай)	1350	345	0,25	1600	14	250	7000
18. «Скай-Х» (Италия)	1450	350	0,24	2600	1	860	9150
19. RQ-1С «Скай Уорриор» (США)	1451	488	0,33	8000	30	250	9000
20. «Вин Лун-1D» (Китай)	1500	400	0,26	2000	35	280	7500
21. MQ-1С «Грэй Игл» (США)	1634	478	0,29	8000	36	280	8840
22. «Анка-S» (Турция)	1680	230	0,13	400	24	260	9145
23. «Рустом-2» (Индия)	1800	350	0,19	900	24	300	10600
24. MQ-1С «Грей Игл» GE-ER (США)	1905	487	0,25	8000	48	240	8800
25. X-47A (США)	2678	454	0,17	4400	12	720	12200
26. TW328 (Китай)	2800	1100	0,39	7500	45	280	8000
27. «Клауд Шэдоу» (Китай)	3000	400	0,13	2000	6	620	14000
28. FL-1 (Китай)	3200	1000	0,31	500	45	320	8000
29. СН-5 (Китай)	3300	1200	0,36	2000	40	300	7000
30. «Фотрос» (Иран)	3500	1000	0,28	2000	30	400	9000
31. «Вин Лун-2» (Китай)	4200	400	0,09	2000	32	370	9000
32. «Акинчи» (Турция)	4500	1350	0,30	500	24	463	12200
33. MQ-9 «Рипер» (США)	4760	1760	0,37	5900	32	480	15240
34. «Орион-2» (Россия)	5000	1000	0,20	5000	24	350	12000
35. MQ-9 «Рипер-ER» (США)	5020	1760	0,35	7500	40	480	15000
36. «Херон ТР» (Израиль)	5300	1000	0,19	7400	40	450	14000
37. X-45A (США)	5530	500	0,09	2400	24	980	10700
38. TW356 (Китай)	5600	1000	0,18	7000	30	330	9000
39. Р.1НН «Хаммерхед» (ОАЭ)	6146	500	0,08	8148	16	737	13700
40. «Нейрон» (Франция)	7000	1500	0,21	500	10	980	12000
41. «Альтиус-У» (Россия)	7500	2000	0,26	10000	48	450	15000
42. «Предейтор С» (Эвенджер) (США)	8255	1360	0,16	6000	20	740	18290
43. «Предейтор С» (Си-Эвенджер) (США)	8255	2948	0,35	6000	18	740	15240
44. «Эвенджер-ER» (США)	8255	1360	0,16	6000	20	740	20000
45. «Мантисс» (Великобритания)	9000	1000	0,11	16000	36	555	15200
46. X-45С (США)	15556	2040	0,13	4800	7	1040	12200
47. X-45С («Фантом Рэй») (США)	16556	2000	0,12	4800	2	1020	12200
48. X-47В (США)	20865	2040	0,09	9750	9	1100	12200
49. TW756 (Китай)	65000	24000	0,37	7500	30	795	13000

Подобные зависимости могут быть полезными при анализе тенденций развития БЛА. Они позволяют определить коэффициент использования БЛА по полезной нагрузке, выявить

возможности использования БЛА на различных дальностях, выбрать наиболее рациональные решения при разработке БЛА.

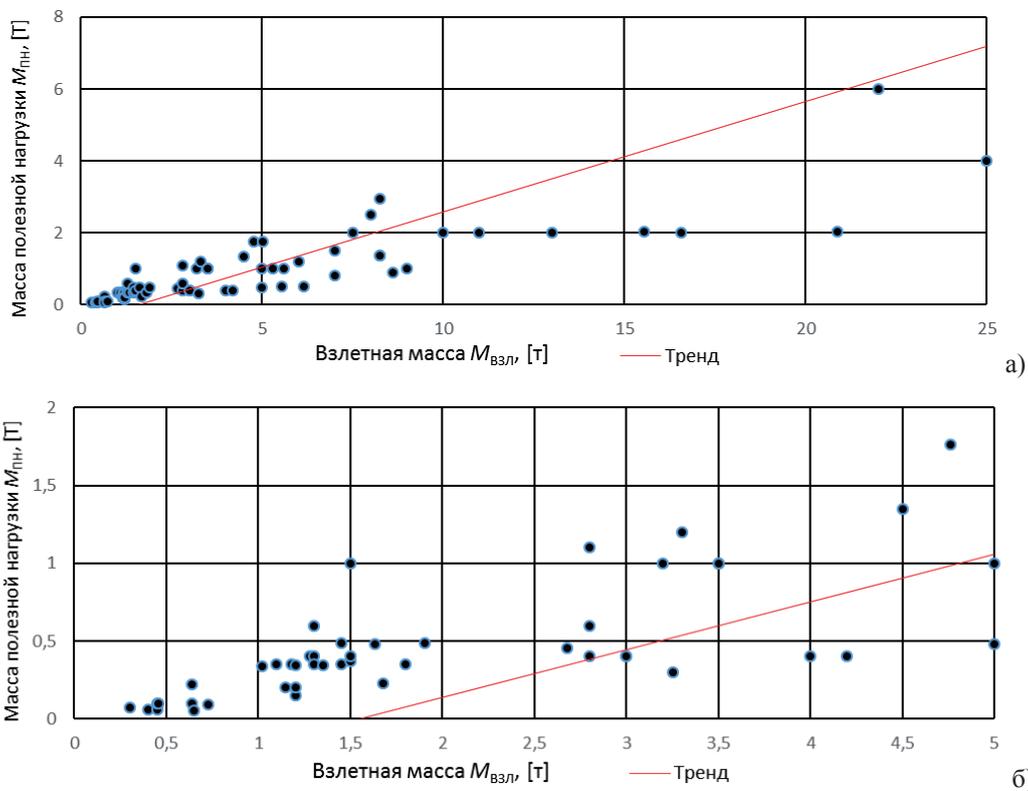


Рисунок 4 – Связь между массой полезной нагрузки и взлётной массой БЛА: а) для значений 0,5-25 т; б) для значений 0,5-5 т.

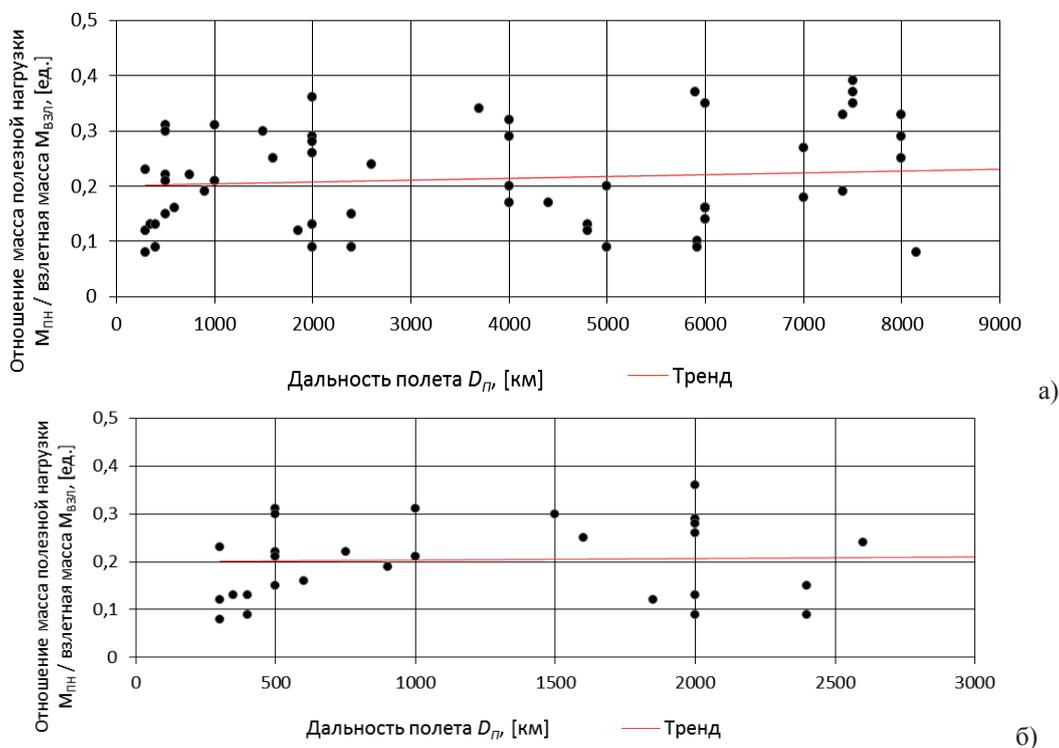


Рисунок 5 – Связь между соотношением масса полезной нагрузки / взлётная масса и дальностью полёта БЛА: а) для значений 350-9000 км; б) для значений 350-3000 км

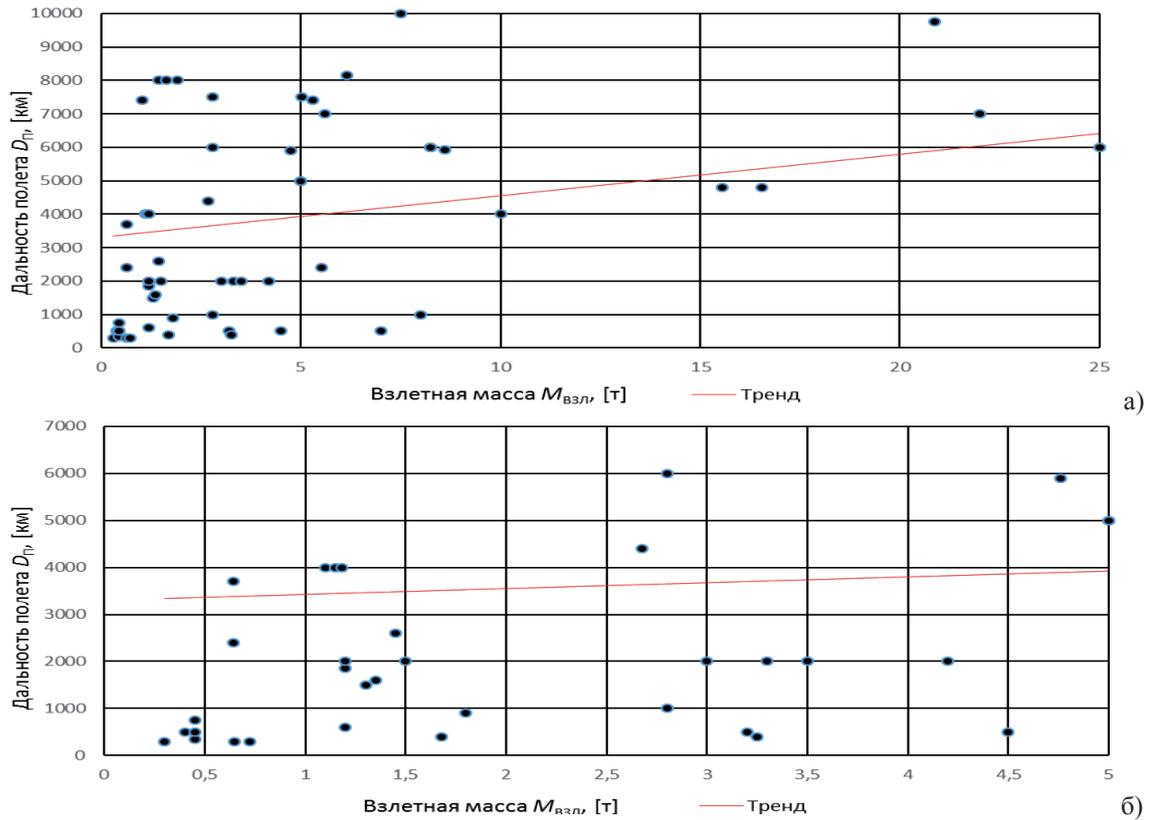


Рисунок 6 – Связь между дальностью полёта и взлётной массой БЛА:

а) для значений 1-25 т; б) для значений 1-5 т

Анализ рисунков 4-6 показывает, что визуально можно обнаружить скопление объектов относительно центра групп БЛА массой 500, 1500, 3000, 5000, 8000 кг. Если положить, что одним из интегральных показателей, воплощающим все основные свойства БЛА, является масса БЛА, то классификация может быть представлена пятью группами (рисунок 7): группа первая – от 300 до 2000 кг включительно; группа вторая – от 2000 до 6000 кг включительно; группа третья – от 6000 до 13000 кг включительно; группа четвёртая – от 13000 до 25000 кг включительно; группа пятая – более 25000 кг.

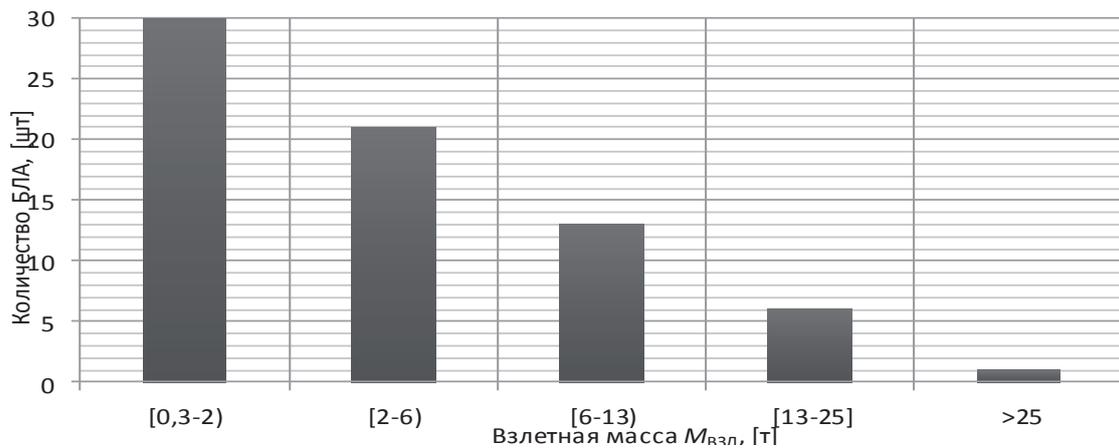


Рисунок 7 – Гистограмма распределения групп БЛА по взлётной массе

### 3 Кластеризация беспилотных летательных аппаратов

В основу кластеризации БЛА с помощью метрического анализа положен принцип близости БЛА друг к другу по интегральному комплексному показателю [12-14]. Исходные оценочные показатели разведывательно-ударных и ударных БЛА для проведения расчётов представлены в таблице 6, где приведены значения пяти частных показателей: отношение массы полезной (боевой) нагрузки к взлётной массе; дальность полёта; продолжительность полёта; максимальная скорость полёта; высота полёта.

При расчёте в качестве примера использовались приведённые на рисунке 10 первые четыре кластера БЛА по взлётной массе. В каждом из них отдельно для каждого частного показателя производилось нормирование по формуле

$$P_{\text{норм.}i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{\text{min},j}}{P_{\text{max},j} - P_{\text{min},j}},$$

где  $P_{\text{min},j} = \min \{P_{1,j}, \dots, P_{n,j}\}$   
 $P_{\text{max},j} = \max \{P_{1,j}, \dots, P_{n,j}\}$

$n$  – число БЛА в кластере,

$P_{i,j}$  –  $j$ -й частный показатель  $i$ -го БЛА.

Нормирование частных показателей производилось в рамках каждого кластера по взлётной массе отдельно. Нормированные показатели для каждого БЛА приведены в таблице 7.

Алгоритм программы кластеризации реализован средствами языка программирования Python и состоит из расчёта комплексного показателя для каждого БЛА в каждой из четырёх групп в отдельности, составленных по величине взлётной массы и дальнейшего распределения всех БЛА на четыре кластера по значениям комплексного показателя, находящимся в заданном интервале.

Расчёт комплексного показателя проводился по формуле

$$K_i = \sum_{j=1}^5 p_j \cdot P_{\text{норм.}i,j},$$

где  $p_j$  – коэффициент значимости  $j$ -го частного показателя.

При расчёте комплексного показателя коэффициенты значимости частных показателей считались одинаковыми и равными 20. Комплексные показатели принимают значения от 0 до 100 баллов, где 0 баллов (100 баллов) может получить тот БЛА, у которого все частные показатели имеют худшие (лучшие) значения среди всех сравниваемых БЛА. Принадлежность БЛА к четырём введённым кластерам по значению комплексного показателя представлено в таблице 7. В нулевой кластер попали БЛА с комплексным показателем до 29 и ниже, в первый – от 29 до 43, во второй – от 43 до 59, в третий – от 59 и выше.

Принадлежность БЛА выделенным четырём кластерам по значению комплексного показателя указана в правом столбце таблицы 7.

### Заключение

1. Кластеризация БЛА позволяет классифицировать БЛА по интегральному комплексному показателю, выделяя, в частности, лучшие из них и худшие. Экспертное задание разных приоритетов частных показателей даёт возможность при оценке БЛА учитывать наиболее важные функции, которые должен выполнять оцениваемый аппарат во время его эксплуатации.

2. Анализ распределения рассмотренных БЛА по интегральному комплексному показателю на четыре кластера позволяет отметить следующее:

Таблица 7 – Нормированные оценочные показатели разведывательно-ударных и ударных БЛА (по возрастанию взлётной массы)

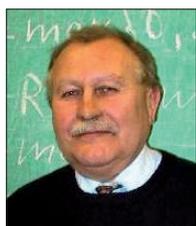
Наименование БЛА (страна)	Взлётная масса $M_{взл}$ , кг	Масса полезной (боевой) нагрузки $M_{пн}$ , кг	Нормированные значения оценочных показателей					Комплексный показатель	Класс
			Отношение $M_{пн}/M_{взл}$	Дальность полета $D_{п}$	Продолжительность полета $T_{п}$	Максимальная скорость полета $V_{макс}$	Высота полета (практический потолок) $H_{п}$		
1. «Буревестник-МБ» (Белоруссия)	300	70	0.58	0.0	0.18	0.19	0.09	20.74	0
2. «Шахед 129» (Иран)	450	60	0.19	0.01	0.59	0.08	0.97	36.72	1
3. «Сикер-400» (ЮАР)	450	100	0.54	0.06	0.38	0.15	0.31	28.81	0
4. «Форпост-М» (Россия)	454	100	0.54	0.03	0.42	0.12	0.09	24.03	0
5. «Дозор-600» (Россия)	640	220	1.0	0.44	0.74	0.13	0.64	59.16	2
6. СН-3 (Китай)	640	100	0.27	0.27	0.28	0.19	0.31	26.46	0
7. «Байрактар ТВ2» (Турция)	650	55	0.0	0.0	0.59	0.15	0.53	25.34	0
8. RQ-5A «Хантер» (США)	726	90	0.15	0.0	0.51	0.15	0.0	16.27	0
9. RQ-1/MQ-1 «Предейтор А» (США)	1020	340	0.96	0.92	1.0	0.17	0.66	74.37	3
10. «Стар Лайнер» (Израиль)	1100	350	0.92	0.48	0.9	0.0	0.97	65.37	3
11. «Вин Лун-1» (Китай)	1150	200	0.35	0.48	0.49	0.23	0.64	43.61	1
12. «Гермес 900» (Израиль)	1180	350	0.81	0.48	0.9	0.15	1.0	66.62	3
13. «Скай-У» (Италия)	1200	150	0.15	0.2	0.33	0.28	0.67	32.69	1
14. СН-4С (Китай)	1200	345	0.81	0.22	1.0	0.17	0.57	55.39	2
15. «Орион-1 (Э)» (Россия)	1200	200	0.31	0.04	0.59	0.12	0.75	36.11	1
16. «Импакт 1300» Израиль	1300	400	0.85	0.16	0.74	0.19	0.97	57.99	2
17. СН-4В (Китай)	1350	345	0.65	0.17	0.33	0.19	0.53	37.46	1
18. «Скай-Х» (Италия)	1450	350	0.62	0.3	0.0	1.0	1.0	58.28	2
19. RQ-1С «Скай Уорриор» (США)	1451	488	0.96	1.0	0.74	0.19	0.97	77.18	3
20. «Вин Лун-1D» (Китай)	1500	400	0.69	0.22	0.87	0.23	0.64	53.03	2
21. MQ-1С «Грэй Игл» (США)	1634	478	0.81	1.0	0.9	0.23	0.93	77.28	3
22. «Анка-S» (Турция)	1680	230	0.13	0.0	0.43	0.04	0.26	17.28	0
23. «Рустом-2» (Индия)	1800	350	0.33	0.07	0.43	0.12	0.44	27.79	0
24. MQ-1С «Грэй Игл» GE-ER (США)	1905	487	0.53	1.0	1.0	0.0	0.22	55.04	2
25. X-47A (США)	2678	454	0.27	0.53	0.14	1.0	0.63	51.34	2
26. TW328 (Китай)	2800	1100	1.0	0.93	0.93	0.08	0.12	61.35	2
27. «Клауд Шэдоу» (Китай)	3000	400	0.13	0.21	0.0	0.79	0.85	39.70	1
28. FL-1 (Китай)	3200	1000	0.73	0.01	0.93	0.17	0.12	39.26	1
29. СН-5 (Китай)	3300	1200	0.9	0.21	0.81	0.12	0.0	40.90	1
30. «Фотрос» (Иран)	3500	1000	0.63	0.21	0.57	0.33	0.24	39.83	1
31. «Вин Лун-2» (Китай)	4200	400	0.0	0.21	0.62	0.27	0.24	26.86	0
32. «Акинчи» (Турция)	4500	1350	0.7	0.01	0.43	0.46	0.63	44.75	1
33. MQ-9 «Рипер» (США)	4760	1760	0.93	0.72	0.62	0.5	1.0	75.52	3
34. «Орион-2» (Россия)	5000	1000	0.37	0.61	0.43	0.23	0.61	44.73	1
35. MQ-9 «Рипер-ER» (США)	5020	1760	1.0	0.45	0.79	0.23	0.55	60.35	2
36. «Херон ТР» (Израиль)	5300	1000	0.41	0.45	0.79	0.18	0.45	45.62	1
37. X-45A (США)	5530	500	0.04	0.12	0.37	1.0	0.15	33.65	1
38. TW356 (Китай)	5600	1000	0.37	0.42	0.53	0.0	0.0	26.32	0
39. Р.1НН «Хаммерхед» (ОАЭ)	6146	500	0.0	0.49	0.16	0.63	0.43	34.09	1
40. «Нейрон» (Франция)	7000	1500	0.48	0.0	0.0	1.0	0.27	35.08	1
41. «Альтиус-У» (Россия)	7500	2000	0.67	0.61	1.0	0.18	0.55	60.19	2
42. «Предейтор С» (Эвенджер) (США)	8255	1360	0.3	0.35	0.26	0.63	0.84	47.79	1
43. «Предейтор С» (Си-Эвенджер) (США)	8255	2948	1.0	0.35	0.21	0.63	0.57	55.27	2
44. «Эвенджер-ER» (США)	8255	1360	0.3	0.35	0.26	0.63	1.0	50.9	2
45. «Мантисс» (Великобритания)	9000	1000	0.11	1.0	0.68	0.35	0.56	54.10	2
46. X-45С (США)	15556	2040	0.14	0.0	0.18	0.8	0.0	22.49	2
47. X-45С («Фантом Рэй») (США)	16556	2000	0.11	0.0	0.0	0.74	0.0	16.90	0
48. X-47В (США)	20865	2040	0.0	1.0	0.25	1.0	0.0	45.00	1
49. TW756 (Китай)	65000	24000	1.0	0.55	1.0	0.0	1.0	70.91	3

- Нулевому кластеру, в который вошли БЛА, получившие оценку до 29 баллов, принадлежат БЛА в основном со средней взлётной массой, а процентное количество таких аппаратов составляет 22.4% по отношению ко всем БЛА, рассмотренным в настоящей работе.
- Первому кластеру, в который вошли БЛА, получившие оценку от 29 до 43 баллов, принадлежат БЛА со средней и большой взлётной массой, а процентное количество таких аппаратов составляет 34.7%.
- Второму кластеру, в который вошли БЛА, получившие оценку до 43 до 59 баллов, в большинстве принадлежат БЛА со средней взлётной массой, а процентное количество таких аппаратов около 28.6%.
- Третьему кластеру, в который вошли БЛА, получившие оценку выше 59 баллов, принадлежат БЛА с разными значениями взлётной массой, а процентное количество таких аппаратов составляет около 14.3%.

### Список источников

- [1] Увеличение количества ударов в Афганистане с применением БЛА. Экспресс-информация. Авиационные системы / ГосНИИАС. – 2016. – № 40. – С. 6.
- [2] *Reg, A.* Unmanned Aircraft systems. UAVS Design, Development and Deployment / A. Reg // Austin Reg. John Wiley and Sons, Ltd. Publication, 2010. – 332 p.
- [3] *Martin J. Dougherty.* Drones. An illustrated guide to the unmanned aircraft that are filling our skies. 2015 Amber Books Ltd.
- [4] Jane's. All the World's Aircraft. 2017-2018. – 458 p.
- [5] *Шибанов, В.* Беспилотные авиационные системы: безопасность полетов и критические факторы / В. Шибанов, А. Шнырев, В. Буня // Аэрокосмический курьер. – 2011. № 1 (73). – С.55–57.
- [6] *Полтавский, А.В.* Боевые комплексы беспилотных летательных аппаратов. Часть 1. Системная характеристика боевых комплексов беспилотных летательных аппаратов / А.В. Полтавский, А.А. Бурба, О.А. Лапсаков и др. // Под ред. А.Н. Максимова. – М.: ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 2005. – 237 с.
- [7] *Никольский, М.* Российские ударные БПЛА самолетного типа / М. Никольский // Аэрокосмическое обозрение. – 2018. – № 4. – С.14-19.
- [8] *Кошкин, Р.П.* Беспилотные авиационные системы / Р.П. Кошкин. – М.: Изд-во «Стратегические приоритеты», 2016. – 676 с.
- [9] Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодинова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов. Под ред. В.С. Фетисова. – Уфа: ФОТОН, 2014. – 217 с.
- [10] Штурманское обеспечение. Монино: ВВА им. Ю.А. Гагарина, 2010 г. – 565 с.
- [11] *Орлов, А.И.* Прикладная статистика / А.И. Орлов. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004. – 656 с.
- [12] *Крянев, А.В.* Метрический анализ и обработка данных / А.В. Крянев, Г.В. Лукин, Д.К. Удумян. - М.: Физматлит, 2012. – 308 с.
- [13] *Пивавский, С.А.* Прогрессивность многокритериальных альтернатив / С.А. Пивавский // Онтология проектирования. – 2013 – № 4(10). - с. 60-71.
- [14] *Келлехер, Д.* Наука о данных. Базовый курс / Д. Келлехер, Б. Тирни. – М.: Альпина паблишер, 2020. – 220 с.

### Сведения об авторах



**Крянев Александр Витальевич**, 1941 г. рождения. Окончил Московский инженерно-физический институт в 1965 г. по специальности «Ядерные энергетические установки», доктор физико-математических наук (1990), профессор (1993 г.). С 1993 г. по настоящее время профессор кафедры «Прикладная математика». Автор более 150 публикаций, 5 монографий и 4 учебных пособий. AuthorID (РИНЦ): 153456. Author ID (Scopus): 6603101568; Researcher ID (WoS): G-2761-2011. [av-kryanev@mephi.ru](mailto:av-kryanev@mephi.ru).



**Семенов Сергей Сергеевич**, 1942 г. рождения. В 1963 г. окончил с отличием Московский радиомеханический техникум по специальности «Радиолокационные устройства», в 1969 г. – Московский инженерно-физический институт по специальности



«Автоматика и электроника», кандидат технических наук (2010). Руководитель группы анализа и перспективного проектирования АО «ГНПП «Регион». Автор и соавтор 210 научно-технических статей, 8 монографий и 6 книг, 47 изобретений и 116 научных трудов. AuthorID (РИНЦ): 26334. [gnppregion@sovintel.ru](mailto:gnppregion@sovintel.ru).

**Калдаева Алла Эдуардовна**, 1999 г. рождения. Окончила бакалавриат Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ) в 2020 г. [kaldaeva.a@mail.ru](mailto:kaldaeva.a@mail.ru).

Поступила в редакцию 29.07.2020, после рецензирования 06.09.2020. Принята к публикации 24.09.2020.

## Priority classification of combat unmanned aerial vehicles based on a comprehensive assessment of the main indicators

A.V. Kryanev<sup>1</sup>, S. S. Semenov<sup>2</sup>, A. E. Kaldaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National research nuclear University (MEPhI), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Joint Stock Company «State research and production enterprise «Region», Moscow, Russia

### Abstract

In this work, we solved the problem of obtaining estimates of the prospects combat of unmanned aerial vehicles (UAVs) according to the available estimates of a certain part of UAVs and their further clustering by the value of the complex priority indicator. A new estimation scheme is proposed that uses five known particular indicators of each assessed UAV, which, after normalizing them and determining the significance coefficients of particular indicators, were combined into a complex UAV indicator. Based on the obtained estimates of the complex indicator of each of the considered UAVs, the clustering of the set of the considered UAVs was carried out according to the belonging of the complex indicator to the intervals of its possible values from 0 to 100. One hundred or zero points can be obtained by that UAV, in which all particular indicators have respectively the best or worst values among all compared UAVs. Clustering made it possible to divide the UAVs into groups according to the principle of similarity of the tasks performed. In the Python programming language, a program was developed that implements the proposed clustering scheme, and allows to obtain estimates of objects and classify these objects according to the principle of proximity of complex indicators. This scheme allows to identify the best (and worst) UAVs in each of the UAV classes, distinguished by the commonly used clustering indicator, takeoff weight. About 14% of UAVs considered in this work were included in the best cluster in terms of complex indicator with an indicator value of at least 59 points with a maximum score of 100 points. The obtained results can be used in the development of requirements for the equipment and operation of UAVs.

**Key words:** classification, complex unmanned aerial vehicles, reconnaissance-strike drones, combat drones, estimates, diagram of metric analysis

**Citation:** Kryanev AV, Semenov SS, Kaldaeva AE. Priority classification of combat unmanned aerial vehicles based on a comprehensive assessment of the main indicators [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(3): 380-392. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-380-392.

### List of figures and tables

- Figure 1 – Evolution of unmanned aerial vehicles of the "Predator" family
- Figure 2 – Distribution histogram of reconnaissance-shock and shock UAVs of different countries by take-off weight
- Figure 3 – Reconnaissance-shock and shock UAV
- Figure 4 – The relationship between the mass of the payload and the take-off mass of a UAV
- Figure 5 – The relationship between the payload / take-off weight ratio and the UAV flight range
- Figure 6 – The relationship between the flight range and the takeoff weight of a UAV
- Figure 7 – Distribution histogram of UAV groups by take-off weight
- Table 1 – UAV classification by categories (III-IX)

Table 2 – UAV classification, taking into account flight, tactical and technical characteristics

Table 3 – UAV classification adopted by the US armed forces

Table 4 – UAV classification of MALE and HALE categories

Table 5 – Universal classification of UAVs by flight parameters (fragment)

Table 6 – Initial estimated indices of reconnaissance-shock and shock UAVs (by take-off weight in ascending order)

Table 7 – Normalized estimated indicators of reconnaissance-shock and shock B (by take-off weight in ascending order)

## References

- [1] An increase in the number of strikes in Afghanistan with the use of UAVs. Express information. Aviation systems [In Russian]. GosNIIAS. 2016; 40: P.6.
- [2] **Reg A.** Unmanned Aircraft systems. UAVS Design, Development and Deployment / Austin Reg. John Wiley and Sons, Ltd. Publication, 2010. 332 p.
- [3] **Martin J. Dougherty.** Drones. An illustrated guide to the unmanned aircraft that are filling our skies. 2015 Amber Books Ltd.
- [4] Jane's. All the World's Aircraft. 2017-2018. 458 p.
- [5] **Shibaev V, Shnyrev A, Bunya V.** Unmanned aviation systems: flight safety and critical factors [In Russian]. Aerospace courier. 2011; 1(73): 55-57.
- [6] **Poltavsky AV, Burba AA, Lupikov OA and others.** Combat complexes of unmanned aerial vehicles. Part 1. System characteristics of combat complexes of unmanned aerial vehicles [In Russian]. Scientific and methodological material. Ed. Maximov. – M.: VVIA named after Prof. N.E. Zhukovsky, 2005. 237 p.
- [7] **Nikolsky M.** Russian shock UAVs of the airplane type [In Russian]. Aerospace review. 2018; 4: 14-19.
- [8] **Koshkin RP.** Unmanned aircraft systems [In Russian]. M.: publishing house «Strategic priorities», 2016. 676 p.
- [9] Unmanned aviation: terminology, classification, current state [In Russian]. VS Fetisov, LM Neugodnikova, VV Adamovsky, RA Krasnoperov. Under the editorship of V. S. Fetisov. Ufa: PHOTON, 2014. 217 p.
- [10] Navigation software [In Russian]. Monino: VVA named after Yu. A. Gagarin, 2010. 565 p.
- [11] **Orlov AI.** Applied statistics [In Russian]. M.: Publishing house «Exam», 2004. 656 p.
- [12] **Kryanev AV, Lukin G.V., Udumyan D.K.** Metric analysis and data processing [In Russian]. M.: Fizmatlit, 2012. 308 p.
- [13] **Piyavsky SA.** Progressiveness of multicriteria alternatives [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 4 (10): 60-71.
- [14] **John D. Kelleher and Brendan Tierney.** Data science. Basic course [In Russian]. M.: Alpina publisher, 2020. 220 p.

---

## About the authors

**Alexander Vitalyevich Kryanev** (b. 1941). Graduated from the Moscow engineering physics Institute in 1965, Doctor of Physical and Mathematical Sciences (1990), academic degree Professor (1993). He is a Professor of the Department of Applied mathematics from 1993 till present. He is the author of more than 150 publications, 5 monographs and 4 textbooks. AuthorID (RSCI): 153456. Author ID (Scopus): 6603101568; Researcher ID (WoS): G-2761-2011. *avkryanev@mephi.ru*

**Sergey Sergeevich Semenov** (b. 1942). In 1963, he graduated with honors from the Moscow Radio-Mechanical Technical School, specializing in Radar Devices, and in 1969 he graduated from the Moscow Engineering Physics Institute with a degree in Automation and Electronics, and in 2010 he received a Candidate of technical Sciences degree. Head of the analysis and prospective design group of JSC «GNPP «Region». Author and co-author of 210 scientific and technical articles, 8 monographs and 6 books, 47 inventions and 116 scientific papers. AuthorID (RSCI): 26334. *gnppregion@sovintel.ru*

**Alla Eduardovna Kaldaeva**, (b. 1999) graduated from National Research Nuclear University MEPhI in 2020. *kaldaeva.a@mail.ru*

---

Received July 29, 2020. Revised September 06, 2020. Accepted September 24, 2020.

---