Оригинальная статья / Original article
https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-2-55-63

Методология проектирования модели многомерного оценивания привязных высотных платформ на базе мультикоптеров

Methodology for designing the model of multidimensional estimation of tethered high-altitude multicopter-based platforms

Станислав В. Микони[1], Александр В. Полтавский[2], Сергей С. Семёнов[3]*
Stanislav V. Mikoni[1], Alexander V. Poltavsky[2], Sergey S. Semionov[3]

[1]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Российская Федерация, [2]Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Российская Федерация, [3]АО «Государственное научно-производственное предприятие «Регион», Москва, Российская Федерация
[1]St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Saint Petersburg, Russian Federation, [2]V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the RAS, Moscow, Russian Federation, [3]JSC State-Owned Research and Manufacturing Enterprise Region, Moscow, Russian Federation
**gnppregion@sovintel.ru*

Станислав В. Микони

Александр В. Полтавский

Сергей С. Семёнов

Резюме. Цель. *На основе ныне существующих привязных высотных платформ на базе мультикоптеров выбрать наиболее перспективный образец с точки зрения летных качеств. Летные качества оцениваются по сочетанию влияющих на них свойств платформы.* **Методы**. *Для достижения поставленной цели предлагается методология создания модели многомерного оценивания платформ.В ней применяются методы системного и функционального анализа свойств платформы, методы и модели теории отношений и измерения.* **Результаты**. *В качестве составляющих модели многомерного оценивания предложены модель предметной области и модель предпочтений лица, принимающего решение. Методология продемонстрирована на примере оценивания качества пяти экземпляров платформ.* **Заключение**. *Предлагаемый в статье подход позволяет использовать разработанную методологию для оценивания качества и технического уровня объектов любой природы. Методология может использоваться для получения комплексной оценки объекта по свойствам надежности и живучести.*

Abstract. Aim. *To select, out of the currently available tethered high-altitude multicopter-based platforms, the most promising one in terms of the flying characteristics. The latter are estimated based on the combination of the affecting properties of the platform.* **Methods.** *In order to achieve the specified goal, it is suggested using the methodology for developing the model of multidimensional estimation of a platform. It uses methods of system and function analysis of a platform's characteristics, methods and models of the theory of relations and measuring.* **Results.** *A problem domain model and decision-maker's preference model are suggested to be used as components of the multidimensional estimation model. The methodology is demonstrated using the case of quality estimation of five platforms.* **Conclusion.** *The approach proposed in the paper allows using the developed methodology for estimating the quality and engineering sophistication of items of any nature. The methodology can be used for comprehensive assessment of an item in terms of dependability and survivability.*

Ключевые слова: *привязная высотная платформа, свойства, многомерная оценка, модель, рейтинг.*
Keywords: *tethered high-altitude platform, characteristics, multidimensional estimate, model, rating.*

Для цитирования: *Микони С.В., Полтавский А.В., Семенов С.С. Методология проектирования модели многомерного оценивания привязных высотных платформ на базе мультикоптеров // Надежность. 2022. №2. С. 55-63. https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-2-55-63*
For citation: *Mikoni S.V., Poltavsky A.V., Semionov S.S. Methodology for designing the model of multidimensional estimation of tethered high-altitude multicopter-based platforms. Dependability 2022;2:55-63. https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-2-55-63*

Поступила *05.03.2022 г.* / **После доработки** *22.03.2022 г.* / **К печати** *17.06.2022 г.*
Received on: *05.03.2022* / **Revised on:** *22.03.2022* / **For printing:** *17.06.2022.*

Введение

В последнее десятилетие за рубежом существенно вырос интерес к мультикоптерам [1]. На их базе создаются робототехнические системы для решения разнообразных задач как в военной, так и в гражданской области. К таким задачам относятся: мониторинг окружающей среды, охрана, разведка, целеуказание, обнаружение и идентификация объектов в режиме реального времени, включая определение их точных координат и передачу данных на наземную станцию управления (НСУ), ретрансляция радиосигналов и т.д.

По сравнению с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) с фиксированным крылом, у мультикоптеров имеется несколько преимуществ, к которым относятся вертикальный взлет и посадка, им не требуется посадочная полоса и навигационное оборудование. Наземное оборудование ограничено стартовой платформой. Мультикоптеры непрерывно сохраняют свое стационарное положение даже в условиях завихрения и быстрого порывистого ветра.

К мультикоптерам относятся летательные аппараты (ЛА), имеющие более трех несущих винтов [2]. Трехроторные мультикоптеры называют трикоптерами, четырехроторные – квадрокоптерами, пятироторные – пентакоптерами, шестироторные – гексакоптерами, а восьмироторные – октокоптерами. Они способны сохранять устойчивый полет при выходе из строя одного из роторов и обеспечивать мягкую посадку.

Наряду с мультикоптерами с дистанционным управлением и автономного действия возник и успешно развивается класс привязных, соединенных с наземным пунктом управления привязным кабелем-тросом, мультикоптеров в качестве высотных авиационных платформ различного назначения, например, в системах связи и управления [3–5]. Данное направление развития применения информационных систем, обладающих благодаря научно-техническому прогрессу в области радиоэлектроники малыми массогабаритными характеристиками и энергопотреблением, является весьма перспективным в связи получением нового свойства – высотности за счет размещения на БЛА [6].

Анализ конструкции, свойств и технических характеристик приведенных моделей привязных высотных платформ (ПВП) показал, что за основу конфигурации моделей взяты, в основном, квадрокоптеры и гексакоптеры, максимальная взлетная масса которых составляет 4–35 кг, максимальная масса полезной нагрузки – 2–25 кг, максимальная высота подъема – 40–200 м, продолжительность работы – 5–400 ч, допустимая скорость ветра не превышает 13 м/с.

1. Область применения

Анализ ПВП свидетельствует о повышенном интересе к этому виду ЛА, проявляемом во всех развитых странах мира. Применение ПВП целесообразно в тех случаях, когда не требуется большой радиус действия ЛА, но необходимо его длительное зависание на определенной высоте для выполнения задач видеосъемки, длительного наблюдения, ретрансляции радиосигналов, охраны или обороны с применением вооружения и др. [7].

К числу основных достоинств ПВП на мультикоптере является значительная (а порой и неограниченная, определяемая только ресурсами двигателей винтов) продолжительность полета, относительная скрытность применения, малое время развертывания, защищенность канала передачи данных.

2. Характеристика привязной высотной платформы

Разнообразие конструкций и применений высотных платформ требует систематизации их характеристик с целью создания новых конкурентоспособных образцов.

Рис. 1. Состав и схема применения привязного мультикоптера

Перечень характеристик, которые могут выступать в качестве оценочных показателей при проведении анализа, определяются задачами и целями исследования.

В состав ПВП на базе мультикоптера входят стартовая платформа, базовая станция, мультикоптер, полезная нагрузка (ПН), кабель-трос, наземный блок питания (рис. 1). Полезной нагрузкой в телекоммуникационных системах могут быть оптико-электронные приборы и разнообразное радиоэлектронное оборудование.

Мультикоптер непрерывно сохраняет свое стационарное положение даже в условиях турбулентности и быстрого порывистого ветра. Этот БЛА, снабженный ПН, связан с наземной станцией управления кабелем, выполняющим одновременно роль удерживающего троса, силового кабеля и коммуникационной линии.

Рис. 2. Квадрокоптер DJI «Matrice 300»

Рис. 3. Квадрокоптер DJI «Matrice 200/210»

Рис. 4. Квадрокоптер DJI «Matrice 600»

3. Постановка задачи

В качестве цели исследования поставим выбор наиболее предпочтительного образца ПВП из ныне существующих. Высотные платформы оцениваются только как носители радиоэлектронного оборудования без анализа их содержимого.

Наиболее предпочтительный образец ПВП определяется по результатам упорядочения существующих образцов ПВП. Образец ПВП, получивший наиболее высокую обобщенную оценку, представляет интерес с точки зрения сочетания значений характеризующих его показателей. Такое сочетание может быть принято за основу при выборе вариантов наиболее перспективных ПВП.

Для определения рейтинга существующих ПВП проектируется модель его многомерного оценивания (ММО) [8]. Эта модель состоит из двух частей: модели предметной области (ПрО) и модели предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР).

4. Исходные данные для определения предпочтительной ПВП

Для проектирования модели предметной области воспользуемся имеющейся информацией о пяти экземплярах ПВП, охарактеризованных девятью показателями с известными значениями, представленными в табл. 1. Первые 4 экземпляра ПВП в табл. 1 изготовляются в Китае, а Геоскан 401 – в России.

Внешний облик пяти моделей привязных мультикоптеров приведен на рис. 2–6.

5. Анализ альтернатив

Для определения возможности оценивания ПВП, как альтернатив, воспользуемся постулатами системного анализа [9].

5.1. *Анализ на непротиворечивость.* Все представленные ПВП *непротиворечивы*, поскольку измеряются в одном пространстве показателей.

5.2. *Анализ на осуществимость и допустимость.* Все ПВП *доступны* для выбора, поскольку изготовляются по заказам.

Табл. 1. Характеристики ПВП

ПВП	Макс. высота подъема, м	Время полета, ч	Макс. допустим.скорость ветра, м/с	Макс. взлетная масса, кг	Макс. масса полезной нагрузки, кг	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Стоимость, млн. руб
«Matrice 300»	75	8	15	9,00	2,7	0,810	0,670	0,430	0,869
«Matrice 200/21»	75	6	12	6,14	1,5	0,887	0,880	0,378	0,432
«Matrice 600»	100	5	8	15,50	6,0	0,720	0,800	0,360	0,392
«Phantom 4/4 PRO»	60	2,5	10	1,39	0,3	0,247	0,247	0,196	0,105
«Геоскан 401»	100	72	10	9,50	2,0	1,560	1,560	0,560	1,650

Рис. 5. Квадрокоптер «Phantom 4/4 PRO»

Рис. 6. Квадрокоптер «Геоскан 401»

5.3. *Анализ на независимость*. Все представленные ПВП *независимы*, поскольку между ними отсутствуют отношения: «Общее-частное», «Целое-часть», «Цель-средство», «Причина-следствие». В частности, ни один ПВП не является частью другого и ни один не зависит от функционирования другого.

5.4. *Анализ на полноту и избыточность*. Список ПВП *не полон,* поскольку представлены только те платформы, для которых известны значения показателей. Список неизбыточен, поскольку отсутствуют ПВП с одинаковыми свойствами.

5.5. *Анализ на сопоставимость.* Альтернативы *сопоставимы* по j-му показателю, $j = \overline{1,n}$, если выполняются следующие условия:

1) имеется значение показателя для каждой альтернативы;

2) значения показателя измерены в единой шкале;

3) границы шкалы показателя соответствуют одному классу объектов.

Все ПВП отвечают первым двум условиям *сопоставимости*, так как все клетки таблицы заполнены, и каждый показатель измерен в единой для всех ПВП шкале.

Третье условие конкретизируется следующим утверждением.

Утверждение 1. Объект x со значением $y(x)$ j-го показателя, равным одной из границ выборочной шкалы $[y_{j,\min}, y_{j,\max}]$, относится по этому показателю к другому классу объектов, если ближайшее к нему значение $y(z)$ объекта z отличается от него не менее чем на половину шкалы.

Справедливость этого утверждения следует из фактического разделения объектом z исходной шкалы $[y_{j,\min}, y_{j,\max}]$ на две *соизмеримые* шкалы: $[y_{j,\min}, y(z))$ и $(y(z), y_{j,\max}]$. Удвоение шкалы со значениями всех объектов кроме объекта x с граничным значением j-го показателя фактически означает его принадлежность другому классу объектов, а сам j-й показатель играет роль классификатора объектов.

Объект x следует отнести по j-му показателю к старшему классу в том случае, когда $y(x) = y_{j,\max}$, что соответствует условию:

$$y_{j,\max} - y(z) \geq y(z) - y_{j,\min}.$$

Объект x следует отнести по j-му показателю к младшему классу в том случае, когда $y(x) = y_{j,\min}$, что соответствует условию:

$$y(z) - y_{j,\min} \geq y_{j,\max} - y(z).$$

Третьему условию сопоставимости не отвечают ПВП:

1) Геоскан – по показателю «Время полета» (в 11 раз превышает диапазон значений других ПВП) и по показателю «Стоимость»;

2) Phantom 4/4 PRO – по показателю «Взлетная масса»;

3) Matrice 600 – по показателю «Макс. масса полезной нагрузки».

Исходя из несопоставимости ПВП по указанным показателям, они должны быть выведены из общего состава ПВП; при этом на соответствующие показатели возлагается роль классификационных признаков. В частности, ПВП Phantom 4/4 PRO следует отнести к классу больших ПВП, а ПВП Matrice 600 – к классу малогабаритных ПВП.

6. Проектирование модели предметной области

Полнота состава показателей определяется относительно важнейших свойств, которыми он должен обладать. Для ПВП к таким свойствам относится *функциональность*, *устойчивость* позиционирования и *ресурсоемкость*.

Максимальная *высота подъема* и *время полета* отражают полетные характеристики ПВП. Как

носителя целевого оборудования, ПВП следует охарактеризовать *максимальной массой полезной нагрузки*. Три выделенных показателя характеризует назначение ПВП.

Максимальную допустимую скорость ветра следует принять за обобщающий показатель устойчивости ПВП к воздействиям среды. Он зависит от числа *винтов* геликоптера – чем больше винтов, тем больше устойчивость. На устойчивость ПВП влияет также его *масса* и геометрическая конфигурация.

С другой стороны, массогабаритные показатели характеризуют материальную ресурсоемкость ПВП. Один из показателей массы ПВП уже включен в группу функциональность. Взлетная масса обычно играет роль классификационного показателя, поскольку она влияет на область применения ПВП. Ресурсоемкость ПВП характеризует *относительная масса полезной нагрузки* как отношение массы полезной нагрузки к взлетной массе. Другим показателем, отражающим материальную ресурсоемкость ПВП, является отношение длины кабеля-троса к максимальной высоте подъема (полезная длина троса). Длина кабеля-троса в табл. 1 отсутствует.

Показателем энергетической ресурсоемкости ПВП является *потребляемая энергия* в кВт·ч. В табл. 1 этот показатель отсутствует. Учитывая тот факт, что стоимость играет роль денежного эквивалента свойств ПВП, экономические показатели выделяются в отдельную группу. Стоимость ПВП можно использовать либо в качестве ограничения, либо как частную цель в некоторой пропорции к общей характеристике объекта. При этом следует иметь в виду, что стоимость в рассматриваемом примере охватывает не все свойства ПВП. В частности, в табл. 1 отсутствуют показатели, характеризующие стартовую платформу.

Анализ показателей ПВП относительно таких обобщенных свойств, как *функциональность*, *устойчивость*, *ресурсоемкость*, *стоимость*, фактически свелся к их группировке, т.е. к построению дерева свойств. Состав показателей, включенных в табл. 1, можно считать полным относительно назначения и устойчивости ПВП и неполным по двум другим показателям. Это касается характеристики стартовой платформы и стоимости обслуживания ПВП. Включенные в табл. 1 показатели позволяют судить о летных качествах ПВП как носителя спецоборудования.

Количественные значения показателей в табл. 1 ориентируют на применение многоцелевой оптимизации для получения линейного порядка объектов. Ограниченность числа ПВП пятью экземплярами не позволяет применить корреляционный анализ для установления независимости показателей табл. 1, что заставляет ограничиться логическим анализом их взаимосвязи.

Наиболее очевидна взаимозависимость показателей массы. Она уменьшается включением относительной массы полезной нагрузки в состав показателей ресурсоемкости и исключением взлетной массы из состава критериев. Имеет место также взаимозависимость между габаритными показателями платформы. Ее уменьшению способствует замена длины и ширины платформы ее диагональю.

Результирующее дерево оцениваемых показателей ПВП изображено на рис. 7. Оно отличается от дерева целей отсутствием требований к значениям показателей.

Добавлением к каждому показателю «Наиболее предпочтительное значение» осуществляется переход от дерева свойств к дереву целей ПВП. Это очевидное пожелание конкретизируется в модели предпочтений ЛПР путем задания целевых значений измеряемых показателей ПВП.

Рис. 7. Дерево оцениваемых показателей ПВП

7. Проектирование модели предпочтений ЛПР

7.1. *Важность показателей*

Из двух способов задания важности показателей (в относительных и абсолютных оценках) применим задание абсолютных оценок в баллах [8]. На рис. 7 у вершин каждого уровня дерева проставлены экспертные оценки важности показателей в десятибалльной шкале 1, 2, …, 10.

Балльные оценки переводятся в относительные оценки делением каждой оценки на их сумму по формуле [9]:

$$w_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^{n} b_j}.$$

В группе *Функциональность* вектору балльных оценок (10, 6, 8) соответствует вектор весов $\mathbf{w}_ф$ = (10/24; 6/24; 8/24) = (0,42; 0,25; 0,33).

В группе *Габариты* вектору балльных оценок (6, 6) соответствует вектор весов $\mathbf{w}_г$ = (0,5; 0,5). В группе *Ресурсы* соотношению Масса/Габариты (8, 6) соответствует вектор весов $\mathbf{w}_р$ = (8/14; 6/14) = (0,57; 0,43). Группы *Устойчивость* и *Стоимость* включают по одному показателю.

В группе *Характеристика* вектору балльных оценок (10, 8, 8) соответствует вектор весов $\mathbf{w}_х$ = (10/26; 8/26; 8/26) = (0,38; 0,31; 0,31).

Соотношение важности группы *Характеристика ПВП (МК)* определяется отношением суммы 10 + 8 + 8 к пяти баллам группы *Стоимость* и составляет 26/31 ≅ 0,8 и 5/26 ≅ 0,2.

7.2. *Предпочтения превосходства на шкалах показателей*

В отсутствие обоснованных нормативов (реальных целей) показателей, им задаются идеальные цели на границах шкал. К значениям показателей, отражающих потребительские свойства объекта, обычно предъявляется требование максимизации. Оно применимо к пяти верхним первичным показателям на рис. 7.

К значениям ресурсных показателей обычно предъявляется требование минимизации. В данной задаче это касается габаритов ПВП. В том случае, когда стоимость включается в общую оценку объекта, к ней также предъявляется требование минимизации. Предъявленные требования к значениям показателей означает применение целевых критериев типа $y \to \max$ (min). Если ЛПР имеет ограничение на стоимость ПВП, задается ограничительный критерий, например, $y_{ст} \le 0{,}5$ млн руб. В этом случае первый и последний ПВП в табл. 1 выпадают из оценивания.

Более мягкий вариант оценивания заключается в применении убывающей логистической функции к показателю стоимости с точкой перегиба 0,5 млн руб. В интервале $[y_{ст,min}, 0{,}5)$ эта функция отражает склонность, а в интервале $(0{,}5, y_{ст,max}]$ несклонность ЛПР к риску (рис. 8).

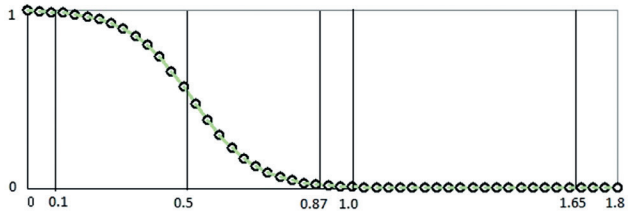

Рис. 8. Логистическая функция ценности показателя «Стоимость ПВП»

На рис. 8 наглядно подтверждается факт превышения длины интервала [0,87; 1,65] над интервалом [0,1; 0,87], что означает удвоение шкалы стоимости. А это наглядно показывает несопоставимость ПВП «Геоскан 401» по стоимости (1,65 млн руб) с другими платформами, стоимость которых ограничена диапазоном [0,1; 0,87] млн руб.

7.3. *Задание границ шкал показателей*

По результатам анализа на сопоставимость пять ПВП из табл. 1 разбито на 3 группы. ПВП «Phantom 4/4 PRO» по показателю «Взлетная масса» отнесена к классу «Малые ПВП». ПВП «Геоскан 401» по показателю «Время полета» отнесена к классу «Большие ПВП», а 3 ПВП «Matrice» отнесены к классу «Средние ПВП». Для исключения нулевых оценок в классе «Средние ПВП» при применении мультипликативной обобщающей функции на 10% раздвигаются границы выборочных шкал показателя, снизу – при максимизации, сверху – при минимизации показателя (табл. 2).

В том случае, когда не заданы границы классов, они вычисляются относительно центра сгустка значений каждого показателя. Если класс включает только одного представителя, для выравнивания шкал классов

Табл. 2. Показатели класса «Средние ПВП»

ПВП	Макс. высота подъема, м	Время полета, ч	Макс. масса полезной нагрузки, кг	Макс. допустим. скорость ветра, м/с	Относит. масса полезной нагрузки, кг	Диагональ $м^2$	Высота, м	Стоимость, млн. руб
«Matrice 300»	75	8	2,7	15	0,30	1,05	0,430	0,869
«Matrice 200/21»	75	6	1,5	12	0,24	1,25	0,378	0,432
«Matrice 600»	100	5	6,0	8	0,39	1,08	0,360	0,392
$y_{min} - 0{,}1 \times y_{min}$	65	4,2	2,1	6,5	0	0,93	0,317	0,300
$y_{max} + 0{,}1 \times y_{max}$	110	8,8	6,6	16,5	1	1,37	0,473	0,950

Табл. 3. Показатели класса «Малые ПВП»

ПВП	Макс. высота подъема, м	Время полета, ч	Макс. масса полезной нагрузки, кг	Макс. допустим. скорость ветра, м/с	Относит. масса полезной нагрузки, кг	Диагональ $м^2$	Высота, м	Стоимость, млн. руб
«Phantom 4/4 PRO»	60	2,5	0,3	10	0,18	0,35	0,196	0,105
$y_{min} - 0{,}5 \times y_{min}$	30	1,25	0,15	5	0	0,18	0,176	0,095
$y_{max} + 0{,}5 \times y_{max}$	90	3,75	0,45	15	1	0,53	0,21	0,115

Табл. 4. Показатели класса «Большие ПВП»

ПВП	Макс. высота подъема, м	Время полета, ч	Макс. маса полезной нагрузки, кг	Макс. допустим. скорость ветра, м/с	Относит. масса полезной нагрузки, кг	Диагональ $м^2$	Высота, м	Стоимость, млн. руб
«Геоскан 401»	100	72	2,0	10	0,21	2,21	0,56	1,650
$y_{min} - 0{,}5 \times y_{min}$	50	36	1,0	5	0	1,10	0,28	0,825
$y_{max} + 0{,}5 \times y_{max}$	150	108	3,0	15	1	3,31	0,84	2,475

Табл. 5. Рейтинг средних ПВП

Средние ПВП	Хар-ка ПВП	Ранг	Стоимость	Ранг	Общ.оценка	Ранг
«Matrice 600» (Китай)	0,435	2	0,858	1	0,52	**1**
«Matrice 200/21» (Китай)	0,374	3	0,797	2	0,46	**2**
«Matrice 300» (Китай)	0,484	1	0,125	3	0,41	**3**

его значение принимается за центр сгустка, а нижняя и верхняя границы класса откладываются на 50% от этого значения показателя: $y \pm 50\%$ (табл. 3 и 4). Это относится к классам «Малые ПВП» и «Большие ПВП».

При равенстве отрезков шкал, оценки, вычисляемые для представителей разных классов, сопоставимы.

7.4. *Согласование частных оценок показателей*

Согласование частных оценок показателей ПВП осуществляется с применением обобщающих функций (ОФ). В качестве таковых для получения линейного порядка ПВП по выбранным показателям применим аддитивную (АОФ) и мультипликативную (МОФ) средневзвешенные обобщающие функции.

Аддитивная обобщающая функции имеет вид:

$$y_{АОФ}(x_i) = \sum_{j=1}^{n} w_j y_j(x_i). \quad (1)$$

Мультипликативная обобщающая функции имеет вид:

$$y_{МОФ}(x_i) = \prod_{j=1}^{n} y_j(x_i)^{w_j}. \quad (2)$$

В этих формулах y_j – значение j-го показателя, а w_j – его относительная важность (вес). Веса показателей, выраженные в долях единицы, подчиняются требованию:

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1.$$

Как следует из формул (1) и (2), обобщенная оценка i-го БЛА зависит от значения y_j j-го показателя, его важности (веса) w_j, количества показателей n и вида обобщающей функции. В свою очередь, значение y_j j-го показателя зависит от выбранной шкалы. Учитывая разнородность шкал показателей, для вычисления многокритериальных оценок их значения приводятся к абсолютной шкале [0, 1] путем нормирования шкалой $[y_{j,min}, y_{j,max}]$. На экспертное назначение важности показателей влияет их структура.

Рассмотрим различные варианты упорядочения на основе разработанной модели многомерного оценивания ПВП с применением методов достижения цели и многомерной полезности.

8. Расчет рейтинга сопоставимых привязных высотных платформ

Для создания моделей ПрО и предпочтений ЛПР и вычисления на их основе обобщенных оценок всех пяти ПВП и рейтинга средних ПВП была использована информационно-аналитическая система «СВИРЬ» [9].

8.1. ***Рейтинг средних ПВП***

Рейтинг средних ПВП, полученный с применением АОФ, приведен в табл. 5. По совокупности значений показателей предпочтение отдается ПВП «Matrice 300». Однако с учетом дороговизны (3-е место по стоимости) эта платформа заняла последнее место. Общее первое место заняла платформа «Matrice 600», по характеристике занявшая второе место.

Общие оценки, рассчитанные с применением МОФ, имеют несущественное различие (0,50; 0,43; 0,37).

8.2. ***Оценка малой ПВП***

Оценка малой платформы, полученная с применением АОФ, приведена в табл. 6.

Табл. 6. Оценка малой ПВП

Малая ПВП	Характеристика ПВП	Стоимость	Оценка
«Phantom 4/4 PRO»	0,418	0,5	0,43

8.3. ***Оценка большой ПВП***

Оценка большой платформы приведена в табл. 7.

Табл. 7. Оценка большой ПВП

Большая ПВП	Характеристика ПВП	Стоимость	Оценка
«Геоскан 401»	0,449	0,5	0,46

Оценки характеристики и стоимости малой и большой платформы равноценны с учетом выбранной важности этих обобщенных показателей. А общие оценки соизмеримы с общими оценками средних ПВП.

Заключение

В образном выражении формирование облика (лица) будущего объекта представляет собой нахождение нужных пропорций между характеризующими его факторами. В роли факторов технического изделия выступают показатели, отражающие его назначение и функционирование. Для оценивания вариантов ПВП как носителя оптико-электронных и радиоэлектронных приборов, предложено использовать 7 технических показателей и стоимость.

Стоимость выделена в качестве отдельного показателя. Это дает возможность раздельного оценивания ПВП по техническим характеристикам и стоимости. В идеале стоимость является денежным эквивалентом качества ПВП. С другой стороны, в отношении принятых показателей она не полностью отражает техническую характеристику ПВП и может использоваться как в виде ограничения, так и в составе показателей.

Важную роль в оценивании качества и технического уровня ПВП играет их сопоставимость. При значительном расхождении значений показателей следует относить соответствующие ПВП к разным классам. При надлежащем формировании шкал показателей обеспечивается сопоставимость оценок ПВП, что важно при наличии единственного представителя класса. Предложенная методология оценивания качества и технического уровня ПВП продемонстрирована на примере пяти платформ с известными значениями выбранных показателей. Предложенный подход применим и для оценивания качества ПВП с комплексной оценкой показателей надежности.

Библиографический список

1. Полтавский А.В., Семенов С.С., Бурба А.А. и др. Информационные процессы в технике: моделирование систем и объектов многофункциональных робототехнических комплексов беспилотной авиации / Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.М. Вишневского, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН. – Королев: Изд. центр АО «ПСТМ», 2019. 408 с.

2. Свердлов С.З. О компоновке многороторного беспилотного вертолета (мультикоптера) // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2018. № 2 (2). С. 20-24.

3. Вишневский В.М., Терещенко Б.Н. Разработка и исследование нового поколения высотных привязных телекоммуникационных платформ // T-Comm. 2013. № 7. С. 20-24.

4. Полтавский А.В., Юрков Н.К., Нгуен Зуи Фыонг. Телекоммуникация сетевых систем на основе высотных платформ // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 46-55.

5. Полтавский А.В. Телекоммуникация систем связи и управления на платформах беспилотных воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2021. Т. 24. № 2. С. 58-69.

6. Фетисов В.С., Кулбаев Б.Р. Содержание и развитие концепции «Привязанный беспилотный летательный аппарат» // Альманах современной науки и образования. 2014. № 3 (82). С. 170-173.

7. Полтавский А.В., Семенов С.С., Русяева Е.Ю. Привязные высотные телекоммуникационные платформы на базе беспилотных летательных аппаратов – аэростатов и мультикоптеров // Боеприпасы. 2021. № 2. С. 58-69.

8. Микони С.В., Семенов С.С. Оценивание рейтинга разведывательно-ударных и ударных беспилотных летательных аппаратов // Полет. 2021. № 6. С. 28-40.

9. Микони С.В. Теория принятия управленческих решений. СПб.: Лань, 2015. 448 с.

10. ИС СВИРЬ [Электронный ресурс]. URL: http://www.mcd-svir.ru. Дата обращения: 03.03.2022.

References

1. Poltavsky A.V., Semionov S.S., Burba A.A. et al. Vishnevsky V.M., Doctor of Engineering, Professor, Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, editor. [Information processes in technology: simulation of systems and facilities of multifunctional robotics systems in unmanned aviation]. Korolyov: Izdatelsky tsentr AO PSTM; 2019. (in Russ.)

2. Sverdlov S.Z. On layout design of multirotor unmanned helicopter (multicopter). *Bulletin of Vologda State University. Series Technical Sciences* 2018;2(2):20-24. (in Russ.)

3. Vishnevsky V.M., Tereshchenko B.N. Research and development of new generation of telecommunication tethered high altitude platforms. *T-Comm* 2013;7:20-24.(in Russ.)

4. Poltavskiy A.V., Yurkov N.K., Nguen Z.F. Telecommunications network systems on the basis of high-altitude platforms. *Reliability and Quality of Complex Systems* 2018;1(21):46-55. (in Russ.)

5. Poltavsky A.V. Telecommunication of communication and control systems on unmanned aerial vehicles platforms. *Civil Aviation High Technologies* 2021;24(2):58-69. (in Russ.)

6. Fetisov V.S., Kulbaev B.R. Content and development of "Tethered unmanned aerial vehicle" conception. *Almanakh sovremennoy nauki i obrazovaniya* 2014;3(82):170-173. (in Russ.)

7. Poltavsky A.V., Semenov S.S., Rusiaeva E.Yu. [Tethered high-altitude telecommunication platforms based on unmanned aerial vehicles, blimps and milticopters]. *Boepripasy* 2021;2:58-69. (in Russ.)

8. Mikoni S.V., Semyonov S.S. Rating Assessment of Reconnaissance-Strike and Strike Unmanned Aerial Vehicles. *Polyot* 2021;6:28-40. (in Russ.)

9. Mikoni S.V. [Theory of managerial decision-making]. Saint-Petersburg: Lan; 2015. (in Russ.)

10. [IS SVIR]. [accessed: 03.03.2022]. Available at: http://www.mcd-svir.ru. (in Russ.)

Сведения об авторах

Микони Станислав Витальевич – доктор технических наук, профессор, член Российской ассоциации искусственного интеллекта, ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН). Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии Наук (СПИИРАН). Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: smikoni@mail.ru

Полтавский Александр Васильевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: lab-54@bk.ru

Семёнов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, руководитель группы анализа и перспективного проектирования, АО «Государственное научно-производственное предприятие «Регион», Москва, Российская Федерация, e-mail: gnppregion@sovintel.ru

About the authors

Stanislav V. Mikoni, Doctor of Engineering, Professor, Member of the Russian Association of Artificial Intelligence, Lead Researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences. Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: smikoni@mail.ru.

Alexander V. Poltavsky, Doctor of Engineering, Lead Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Moscow, e-mail: lab-54@bk.ru

Sergey S. Semionov, Candidate of Engineering, Head of Group for Analysis and Advanced Engineering, State Research and Development Company Region, Moscow, Federation Moscow, e-mail: gnppregion@sovintel.ru.

Вклад авторов в статью

Микони С.В. Постановка задачи, проектирование модели предметной области, расчет рейтинга сопоставимых привязных высотных платформ, заключение.

Полтавский А.В. Постановка задачи, проектирование модели предметной области, заключение

Семенов С.С. Постановка задачи, характеристика привязной высотной платформы, исходные данные, проектирование модели предпочтений.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.