

Для цитирования: Бабуров В. И., Иванцевич Н. В., Олянюк П. В., Саута О. И. Выбор приемника ГНСС для навигационно-посадочных комплексов с использованием интегральных показателей качества // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 81–86. УДК 621.391.26:621.396.96

В. И. Бабуров¹, Н. В. Иванцевич^{1,2}, П. В. Олянюк¹, О. И. Саута¹

¹ АО «ВНИИРА», ² Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

ВЫБОР ПРИЕМНИКА ГНСС ДЛЯ НАВИГАЦИОННО-ПОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

В статье развивается методологический подход к оптимальному выбору встраиваемого приемника глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для бортовой навигационной аппаратуры потребителей (НАП). Путем экспертного оценивания проводится структуризация альтернатив, представленных в настоящее время на рынке изделий авиационного назначения. Результат применения предложенного методологического подхода иллюстрируется на сокращенном наборе альтернатив и критериев предпочтений.

Ключевые слова: аппаратура спутниковой навигации, многофакторная оптимизация, оптимальные решения, критерии предпочтений.

При разработке бортовой НАП ГНСС возникает целый спектр проблем, от решения которых зависят не только потребительские свойства конечного продукта, но и объем финансовых и временных затрат на разработку [1, 2, 5]. Ошибочный выбор встраиваемого приемника ГНСС, являющегося функциональным ядром НАП, ведет к существенным потерям как на этапе разработки, так и на этапе эксплуатации НАП на летательных аппаратах (ЛА) [3, 4].

Решение задачи оптимального выбора встраиваемого приемника ГНСС для НАП требует достаточно высокого уровня компетентности конструктора НАП в соответствующей области знаний, а также учета множества разнообразных факторов, которые зачастую могут коррелировать друг с другом.

С целью решения задачи оптимизации выбора встраиваемого приемника ГНСС в [1] была предложена группа критериев предпочтений, обеспечивающая решение задачи выбора лучшей альтернативы. Там же были рассмотрены методологические подходы, с помощью которых можно найти на рынке или заказать изготовление такого встраиваемого приемника ГНСС, который обеспечит оптимальное построение НАП и наилучшее решение задач, стоящих перед навигационно-посадочным комплексом (НПК) ЛА в целом.

Так же как в [1], будут рассмотрены только те критерии предпочтений, которые характеризуют возможность расширения функций НПК (группа II

в соответствии с терминологией [1]), а критерии группы I, являющиеся по сути ограничениями, соответствующими требованиям технических заданий на изделие в целом, рассматриваться не будут.

В порядке уменьшения значимости критерии предпочтений для приемников ГНСС, предназначенных для НАП гражданской авиации, могут быть упорядочены следующим образом: F_1 – интегрируемость в структуру НПК; F_2 – надежность и целостность данных; F_3 – время на внедрение конкретного приемника ГНСС в НАП; F_4 – стоимость; F_5 – погрешность измерений.

Скалярный обобщенный показатель I_s степени близости конкретного s -го приемника ГНСС (выбранной альтернативы) к «идеальному приемнику» может быть представлен в виде [1]

$$I_s = [\text{diag}(T P_s N^T) J]^{-1}, \quad (1)$$

где T – диагональная нормировочная матрица (в нашем случае размерности $[5 \times 5]$); P_s – матрица известных функциональных и технических характеристик конкретного приемника ГНСС размерностью $[n \times m]$; при этом n – количество строк, равное количеству рассматриваемых критериев (в нашем случае $n = 5$); m – наибольшее количество параметров в рассматриваемых критериях предпочтений; N – эталонная матрица, по структуре соответствующая матрице P_s , характеризующая «идеальный приемник» и формируемая путем задания желаемых

(оптимальных) характеристик; элементами j_i вектора J являются экспертно назначенные веса рассматриваемых критериев предпочтений $F_1...F_5$.

Выбор весовых коэффициентов для критериев предпочтений проводится с учетом естественного ограничения

$$\sum_{i=1}^5 j_i = 1, j_i \geq 0, i = 1, 2...5. \quad (2)$$

В общем случае распределение весов критериев, задаваемое вектором J , может быть произвольным в рамках указанного ограничения (2). При необходимости сужения поля поиска некоторым из критериев может быть присвоен нулевой вес, что исключит из анализа соответствующие параметры.

На рис. 1 для примера приведены результаты расчета скалярного обобщенного показателя I_s для различных соотношений весов рассматриваемых критериев предпочтений.

На рис. 1а для критерия F_1 его вес j_1 положен равным 1, а веса всех остальных критериев, соответственно, равны нулю. Аналогичным образом: на рис. 1б вес критерия F_2 равен 1, а остальных – нулю, на рис. 1в вес критерия F_3 равен 1, а остальных – нулю, на рис. 1г вес критерия F_4 равен 1, а остальных – нулю, на рис. 1д вес критерия F_5 равен 1, а остальных – нулю. Анализ рис. 1а–1д позволяет проводить сопоставление характеристик представленных альтернатив по любому из интересующих критериев, исключив из рассмотрения остальные.

Представленное рис. 1а–1д многообразие результатов не позволяет выбрать оптимальную альтернативу по совокупности всех рассматриваемых критериев, но дает возможность быстро, особенно при большой базе данных анализируемых альтернатив, выбрать лучшую альтернативу по одному из заданных критериев.

На рис. 1е представлены результаты расчета скалярного обобщенного показателя I_s для случая, когда все рассматриваемые критерии предпочтений $F_1...F_5$ учтены с одинаковым весом $j_i = 0,2, i = 1...5$.

Анализ приведенных на рис. 1е данных показывает, что оптимальной альтернативой является приемоизмеритель ГНСС с номером 17. Его характеристики по совокупности всех равнозначных критериев предпочтений наиболее близки к «идеальному приемнику».

Однако возникает вопрос: насколько сделанное заключение достоверно? Что произойдет, если варьировать веса критериев предпочтений?

Для обобщения результатов анализа альтернатив в задаче выбора спутникового приемника для НПК вводится интегральный показатель качества \tilde{I}_s встраиваемых приемников ГНСС, характеризующий эффективность процесса его интеграции в НПК ЛА.

Интегральный показатель качества \tilde{I}_s определяется следующим образом:

$$\tilde{I}_s = \frac{1}{W} \sum_{(j_i)} \sum_{(k)} I_s(k; j_i), \quad (3)$$

где суммирование сначала осуществляется в рамках конкретного критерия в соответствии с общим количеством градаций изменения варьируемого веса критерия, а затем по всем независимо варьируемым критериям предпочтений j_i ; множитель $1/W$ обеспечивает условие нормировки: $\tilde{I}_s \leq 1$.

Заметим, что в рассматриваемом нами случае $k \leq 5$, а значения j_i могут выбираться произвольным образом с учетом ограничения (2).

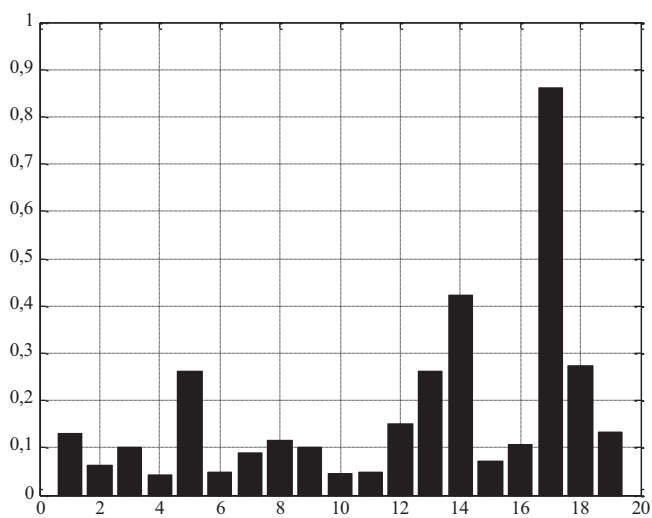
Таким образом, выражение (3) представляет собой усредненное значение обобщенных показателей I_s для соответствующих альтернатив при варьировании весовых коэффициентов.

Сравнение различных альтернатив, соответствующих определенным модификациям встраиваемых приемников ГНСС, проводилось в широком диапазоне изменения коэффициентов значимости частных критериев. Для построения интегрального обобщенного показателя проводилось варьирование весов критериев во всем возможном диапазоне изменения (от $j_i = 0, i = 1, 2...5$, когда данный критерий не представляет интереса, до $j_i = 1, i = 1, 2...5$, когда все остальные критерии не важны). При этом веса остальных критериев всегда выбирались с учетом ограничения (2).

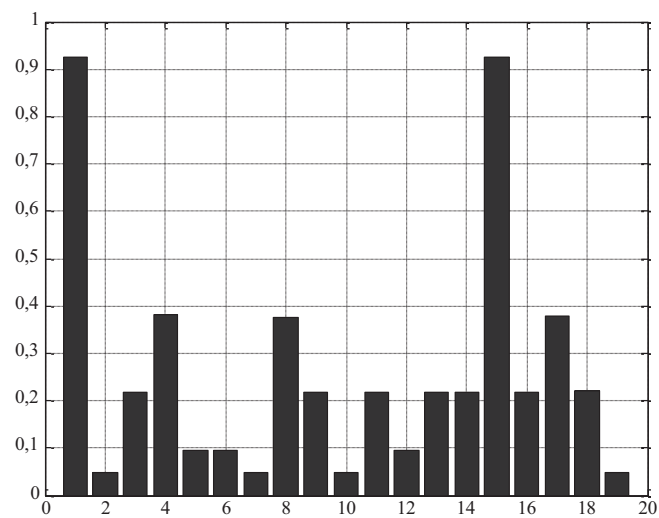
Для примера на рис. 2 представлены результаты анализа 19 альтернатив с использованием интегрального показателя качества \tilde{I}_s , величина которого отложена по оси ординат. При этом предполагалось, что вес критерия F_1 варьировался в диапазоне от 0,2 до 0,8 с шагом (градацией) 0,1. На рис. 3 приведены результаты, полученные для скалярного обобщенного показателя I_s для тех же 19 альтернатив, представленные наборами частных характеристик, для случаев, когда последовательно задавался вес 0,8 (превалирующий критерий) для всех рассматриваемых пяти критериев $F_1...F_5$.

Анализ представленных на рис. 2 и 3 результатов расчетов, а также более подробные исследования поведения характеристик I_s и \tilde{I}_s показывают, что использование интегрального показателя качества \tilde{I}_s имеет преимущество перед обобщенным показателем I_s , т.к. в значительной мере сглаживает или исключает влияние субъективного фактора при экспертном назначении весов критериев.

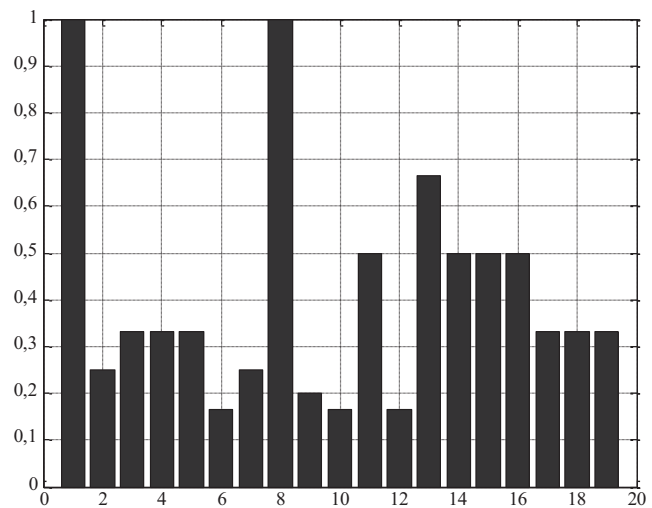
В то же время использование обоих показателей имеет устойчивый характер (инвариантно в некоторой области изменения весовых коэффициентов частных критериев) и позволяет однозначно выбрать оптимальную альтернативу.



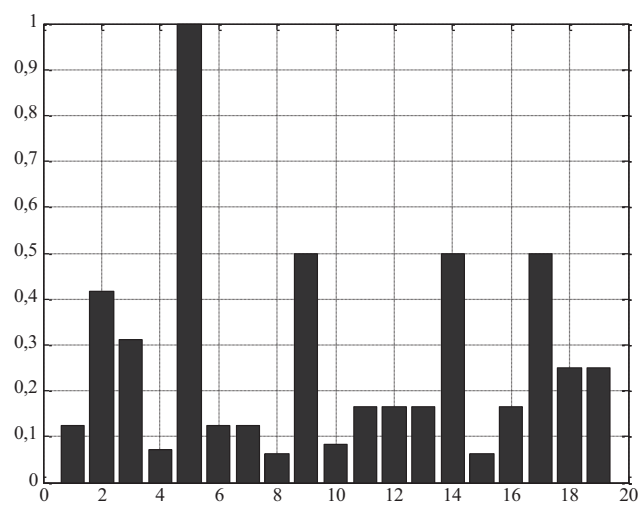
а)



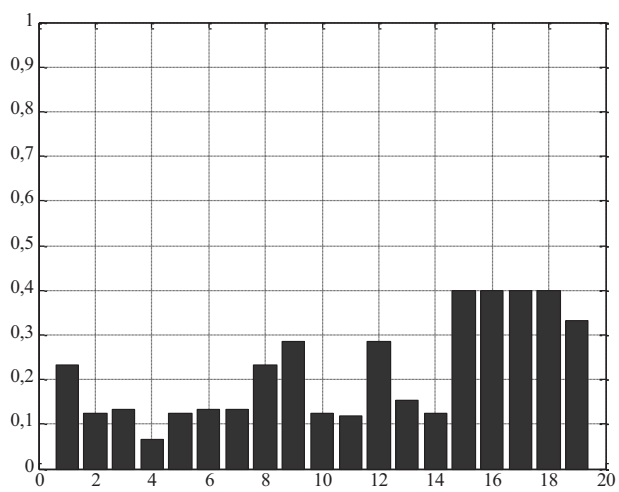
б)



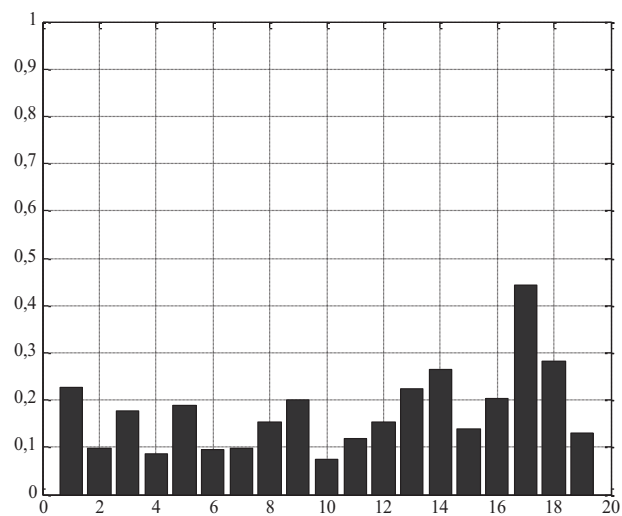
в)



г)



д)



е)

Рисунок 1. Скалярный обобщенный показатель качества для различных соотношений весов критериев предпочтений

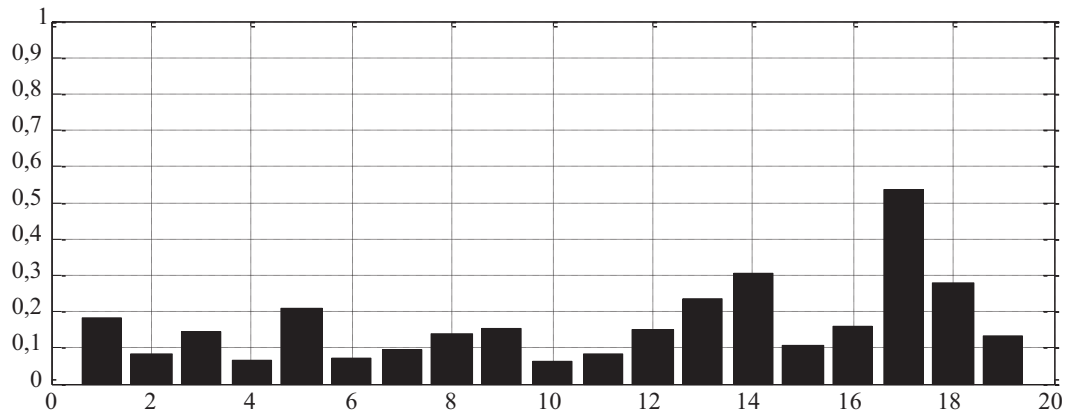


Рисунок 2. Результаты анализа альтернатив по интегральному показателю качества

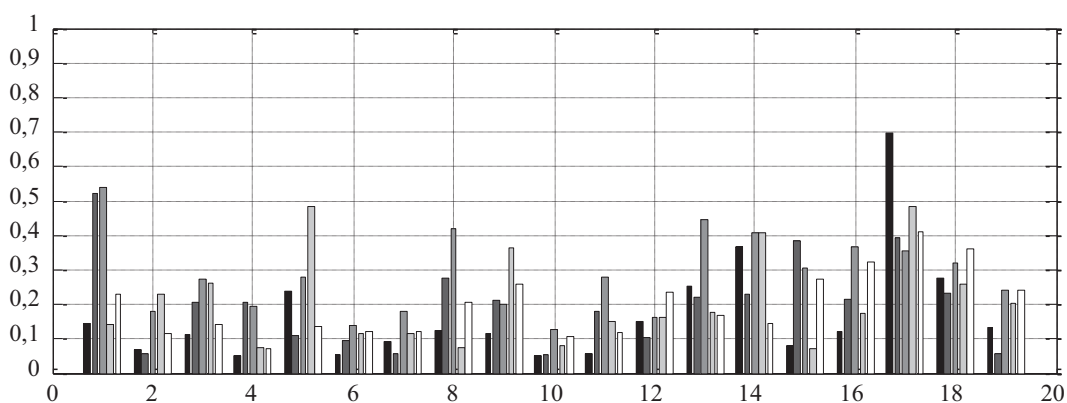


Рисунок 3. Результаты анализа альтернатив по скалярному показателю качества

Результаты исследований показывают, что при одинаковой важности критериев характеристики качества альтернатив распределяются следующим образом: наилучшими альтернативами являются те, которые обладают высокими показателями, характеризующими возможность встраивания приемника ГНСС в НАП либо без дополнительной доработки модулей, либо при доработке их предприятием-изготовителем в кратчайшие сроки, и низкой стоимостью. Причем первый аспект является доминирующим.

Установлено, что из множества альтернатив, содержащего 100 элементов, одни и те же альтернативы являются лучшими при изменении коэффициентов значимости частных критериев в диапазоне значений от 0,02 («практически не существен») до 0,8 («очень важен»). Это позволяет конструировать стратегии быстрого поиска нужных вариантов при заданных весовых коэффициентах частных критериев.

Результаты, полученные с использованием представленной выше методики поиска оптимальной альтернативы, рассчитаны с использованием «четких» параметров, характеризующих выбранные критерии предпочтений. Такие параметры имеют

конкретное численное значение (объем, масса, энергопотребление и т.п.). Однако, как отмечалось в [1], полное корректное описание критериев предпочтений возможно только с использованием «нечетких» (качественных) параметров, характеризующих такие показатели, как наличие опыта общения с компанией-производителем, отзывы потребителей о конкретной продукции и т.п. Методы теории «нечетких» множеств в настоящее время находят широкое применение при анализе многофакторных процессов в химии, биологии, в интеллектуальных системах принятия решений [6–9]. Использование методов теории нечетких множеств может производиться на основе методологических подходов, представленных в [1]. При этом вместо скалярного обобщенного показателя I_s можно использовать интегральный показатель качества \tilde{I}_s , что позволит дополнительно снизить влияние субъективных факторов при формировании экспертных оценок.

Заключение

Предложен усовершенствованный методологический подход, облегчающий выбор приемопередатчика ГНСС для навигационно-пилотажного комплекса воздушного судна. Рассмотренный подход

упрощает процесс оптимизации и устраняет влияние субъективных факторов.

Анализируемый банк данных построен на основе всей имеющейся информации – как проверенной экспериментально, в результате внедрения конкретных модификаций встраиваемых приемников ГНСС в НАП разработки ОАО «ВНИИРА», так и с включением в него непроверенных рекламных данных. Для дальнейших разработок в части создания экспертной навигационно-ориентированной системы целесообразно ввести соответствующий

показатель, характеризующий степень доверия рекламным данным. Этим показателем, например, может быть временной интервал, необходимый для тестирования приемника ГНСС, или показатель, характеризующий степень риска при использовании новейших разработок в НАП авиационного назначения.

Применение предложенного методологического подхода позволяет в дальнейшем проводить уточнения и корректировки на основе методов теории нечетких множеств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабуров В.И., Иванцевич Н.В., Саута О.И. Критерии предпочтений в задаче выбора спутникового приемника для навигационно-посадочного комплекса // XVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: Государственный научный центр Российской Федерации АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. С. 347–349.
2. Бабуров В.И., Пономаренко Б.В. Принципы интегрированной бортовой авионики. СПб.: Агентство «РДК-Принт», 2005. 448 с.
3. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. М.: Эко-Трендз, 2003. 326 с.
4. Стулов А.В. Эксплуатация авиационного оборудования спутниковой навигации. М.: Воздушный транспорт, 2003. 326 с.
5. Иванцевич Н.В. Об оптимизации структуры интегрированных навигационных комплексов на базе спутниковой навигационной аппаратуры с применением методов теории нечетких множеств // Вопросы радиоэлектроники. 2008. Вып. 2. С. 173–181.
6. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой информации. М.: Наука, 1981. 206 с.
7. Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. М.: Химия, 1995. 368 с.
8. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. 408 с.
9. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. М.: Радио и связь, 1989. 184 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бабуров Владимир Иванович, д.т.н., начальник научно-технического центра, АО «ВНИИРА», 199406, Санкт-Петербург, Шкиперский проток, д. 19, тел.: 8 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

Иванцевич Наталия Вячеславовна, д.т.н., профессор кафедры Е6 «Автономные информационные и управляющие системы», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1, тел.: 8 (812) 495-77-58, e-mail: bgty_e6@mail.ru; главный научный сотрудник АО «ВНИИРА», 199406, Санкт-Петербург, Шкиперский проток, д. 19, тел.: 8 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

Олянюк Петр Васильевич, д.т.н., главный научный сотрудник, АО «ВНИИРА», 199406, Санкт-Петербург, Шкиперский проток, д. 19, тел.: 8 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

Саута Олег Иванович, д.т.н., начальник научно-исследовательского сектора АО «ВНИИРА», 199406, Санкт-Петербург, Шкиперский проток, д. 19, тел.: 8 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

For citation: Baburov V.I., Ivantsevich N.V., Olyanyuk P.V., Sauta O.I. Selection of GNSS receiver for navigation and landing complexes with usage of integrated quality parameters. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 7, pp. 81–86.

V.I. Baburov, N.V. Ivantsevich, P.V. Olyanyuk, O.I. Sauta

SELECTION OF GNSS RECEIVER FOR NAVIGATION AND LANDING COMPLEXES WITH USAGE OF INTEGRATED QUALITY PARAMETERS

The authors suggest a new approach to optimize selection of in-built global navigation satellite (GNSS) receivers for Airborne Navigation Equipment (ANE). Expert assessment is used to structuralize the alternatives currently available on the aviation equipment market. The approach is illustrated on a limited set of alternatives and preference criteria.

Keywords: satellite navigation equipment, multi-factor optimization, optimal solutions, preference criteria.

REFERENCES

1. Baburov V.I., Ivantsevich N.V., Sauta O.I. Criteria of preferences in the task of selecting a satellite receiver for the navigation and landing complex. *XVII Sankt-Peterburgskaya mezhdunarodnaya konferentsiya po integrirovannym navigatsionnym sistemam*. Saint-Petersburg, State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor, 2010, pp. 425–427 (In Russian).

2. Baburov V. I., Ponomarenko B. V. *Principy integrirovannoj bortovoj avioniki* [Principles of integrated onboard avionics]. Saint-Petersburg, Agentstvo RDK-Print, 2005, 448 p. (In Russian).
3. Solovev Yu. A. *Sputnikovaja navigacija i ee prilozhenija* [Satellite navigation and applications thereof]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2003, 326 p. (In Russian).
4. Stulov A. V. *Jekspluatacija aviacionnogo oborudovanija sputnikovoj navigacii* [Operation of aeronautical satellite navigation equipment]. Moscow, Vozdushny transport, 2003, 326 p. (In Russian).
5. Ivancevich N. V. On optimization of the structure of integrated navigation systems based on satellite navigation equipment using methods of fuzzy sets theory. *Voprosy radioelektroniki*, 2008, iss. 2, pp. 173–181 (In Russian).
6. Orlovskiy S. A. *Problemy prinjatija reshenij pri nechetkoj informacii* [Problems of decision-making in fuzzy information conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 206 p. (In Russian).
7. Meshalkin V. P. *Jekspertnye sistemy v himicheskoj tehnologii* [Expert systems in chemical technology]. Moscow, Himiya Publ., 1995, 368 p. (In Russian).
8. *Nechetkie mnozhestva i teorija vozmozhnostej. Poslednie dostizhenija* [Fuzzy sets and Possibility Theory. Recent achievements]. In: R. R. Jager ed. Moscow, Radio i svyaz, 1986, 408 p. (In Russian).
9. Pospelov D. A. *Modelirovanie rassuzhdenij* [Modeling of reasoning]. Moscow, Radio i svyaz, 1989, 184 p. (In Russian).

AUTHORS

Baburov Vladimir, Dr., head of research centre, OJSC AUSRIRE, NTC Navigator, 19, Shkiperskiy protok, Saint-Petersburg, 199406, Russian Federation, tel.: +7 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

Ivantsevich Nataliya, Dr., professor, Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation, 1, 1st Krasnoarmeyskaya st., tel.: +7 (812) 316-24-77, e-mail: bgty_e6@mail.ru; chief researcher, OJSC AUSRIRE, NTC Navigator, 19, Shkiperskii protok, Saint-Petersburg, 199406, Russian Federation, tel.: +7 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

Olyanyuk Petr, Dr., chief researcher, OJSC AUSRIRE, NTC Navigator, 19, Shkiperskii protok, Saint-Petersburg, 199406, Russian Federation, tel.: +7 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.

Sauta Oleg, Dr., head of research sector, OJSC AUSRIRE, NTC Navigator, 19, Shkiperskii protok, Saint-Petersburg, 199406, Russian Federation, tel.: +7 (812) 740-15-18, e-mail: aspirantura@vniira.ru.