

В.И. БАБУРОВ, Н.В. ИВАНЦЕВИЧ, П.В. ОЛЯНЮК, О.И. САУТА
**НЕЧЕТКИЕ КРИТЕРИИ И ПОНЯТИЯ В ЗАДАЧЕ ВЫБОРА
ПРИЕМНИКА ГНСС ДЛЯ НАВИГАЦИОННО-ПИЛОТАЖНОГО
КОМПЛЕКСА**

Бабуров В.И., Иванцевич Н.В., Олянюк П.В., Саута О.И. **Нечеткие критерии и понятия в задаче выбора приемника ГНСС для навигационно-пилотажного комплекса.**

Аннотация. Развивается методологический подход к оптимальному выбору встраиваемого приемника глобальных навигационных спутниковых систем для бортовой навигационной аппаратуры потребителей. Проводится анализ и обобщение различных методов экспертного оценивания качественных и количественных характеристик приемников ГНСС. Показано, что применение различных методов приводит в конечном итоге к идентичным результатам в части выбора оптимальной альтернативы на заданном множестве, несмотря на использование принципиально различного математического аппарата.

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

Baburov V.I., Ivantsevich N.V., Olyanyuk P.V., Sauta O.I. **Fuzzy logic and sets to the selection of gnss receiver for navigation and landing complexes.**

Abstract. The authors suggest a new methodological approach for optimal selection of embedded Global Navigation Satellite Systems (GNSS) receiver for airborne navigation equipment (ANE). The analysis and synthesis of various methods of expert evaluation of qualitative and quantitative characteristics of GNSS receivers are held out. It is shown that the use of different methods ultimately leads to identical results in terms of selecting the best alternative for a given set, despite the use of fundamentally different mathematical tools.

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

1. Введение. Настоящая статья является продолжением и обобщением исследований [1–3] по оптимизации процесса выбора спутникового приемника для навигационно-посадочного комплекса. В ней более глубоко исследуется влияние нечетких понятий (представлений) на результат выбора приемника СРНС для навигационно-пилотажного комплекса.

При постановках задач оптимизации выбора встраиваемого приемника ГНСС в [1–3] 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. При решении зада-

чи выбора рассматривались как преимущественно количественные (четкие) параметры для выбранных критериев, которые характеризуются известными количественными показателями. Нечеткие параметры были рассмотрены только в части иллюстрации их возможностей, например, при построении интегральных критериев.

В общем случае нечеткими могут быть как сами частные критерии, способ объединения частных критериев в интегральный показатель качества, и система ограничений, так и отдельные переменные. Кроме того, возможны ситуации, когда ограничения не могут быть четко аргументированы. Например, даже такой параметр как диапазон рабочих температур для многих альтернатив целесообразно рассматривать как нечеткий, так как зачастую заявленные производителем показатели отличаются от реализованных в изделиях, особенно для новых видов приемников ГНСС. Тогда, некоторые параметры, которые в [1–3] рассматривались как ограничения, целесообразно перевести в разряд нечетких параметров.

2. Общая постановка задачи. В общем виде задача выбора оптимальной альтернативы формулируется следующим образом. Пусть X — множество альтернатив (модификаций спутниковых навигационных приемников), x — элементы этого множества ($x \in X$), $F_k(x)$ — целевые функции, соответствующие критериям выбора наилучших альтернатив, $k = 1, \dots, K$, $C_m(x)$ — ограничения, $m = 1, \dots, M$. Целевые функции и функции ограничений содержат качественные и количественные описания. Требуется найти те альтернативы, которые в наибольшей степени соответствуют целевым функциям и ограничениям.

Для получения решения воспользуемся методами теории нечетких множеств [4–8]. Каждому критерию и каждому ограничению поставим в соответствие функции принадлежности $\mu_{F_k}(x)$, $\mu_{C_m}(x)$ и коэффициенты значимости λ_k и v_m , причем для коэффициентов значимости должно выполняться соотношение:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k + \sum_{m=1}^M v_m = 1. \quad (1)$$

Нечеткое решение D также является нечетким множеством на множестве альтернатив X с функцией принадлежности $\mu_D(x)$,

$$D = F \cap C, \quad (2)$$

$$\mu_D(x) = \mu_F(x) \cap \mu_C(x), \quad (3)$$

где F и C – нечеткие множества целей (критериев предпочтений) и ограничений с функциями принадлежности соответственно $\mu_F(x)$ и $\mu_C(x)$. Функция принадлежности $\mu_D(x)$ является мерой того, насколько альтернатива x удовлетворяет одновременно критериям и ограничениям. Далее на множестве решений находится оптимальное решение D_0 , то есть такое, которое в наибольшей степени принадлежит всем критериям предпочтений и ограничениям:

$$D_0 : \max_{(x)} \{ \mu_D(x) \}. \quad (4)$$

Свертка частных критериев $F_k(x)$, $k = 1, \dots, K$ и ограничений $C_m(x)$, $m = 1, \dots, M$, производится в соответствии с формулами

$$F = \lambda_1 F_1 \cap \lambda_2 F_2 \dots \cap \lambda_k F_k = \bigcap_{k=1}^K \lambda_k F_k \quad (5)$$

$$C = \bigcap_{m=1}^M v_m C_m, \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k + \sum_{m=1}^M v_m = 1.$$

Действия, описываемые формулами (4–6), означают, что для каждой альтернативы $x \in X$ находится степень принадлежности ее всем частным критериям и ограничениям. Причем существенным является то обстоятельство, что определяющим является наименьшее значение взвешенной функции принадлежности, то есть какими бы хорошими ни были показатели по остальным критериям и ограничениям, при анализе альтернативы учитывается только наименьший показатель. Выбирая далее одну или несколько альтернатив с наибольшим значением μ_D , согласно правилу (4), получаем решение задачи выбора наилучших альтернатив. Таким образом, если известны коэффициенты значимости λ_k и v_m , такие, что выполняется условие (1), известны функции принадлежности каждой альтернативы всем частным критериям $\mu_{F_k}(x)$, $k = 1, \dots, K$ и всем ограничениям $\mu_{C_m}(x)$, $m = 1, \dots, M$, то алгоритм поиска лучшей альтернативы описывается, в соответствии с формулами (3–6), соотношением

$$D_0 : \max_{(x)} \left\{ \mu \left(\bigcap_{k=1}^K \lambda_k F_k \right) \cap \mu \left(\bigcap_{m=1}^M v_m C_m \right) \right\} \quad (7)$$

3. Нахождение функций принадлежности альтернатив частным критериям и ограничениям. Для некоторых задач функции принадлежности $\mu_{F_k}(x)$ и $\mu_{C_m}(x)$ для каждой альтернативы $x \in X$ могут быть заданы либо на основании статистических расчетов, либо путем экспертного оценивания. Тогда при известных λ_k и v_m задача выбора наилучшей альтернативы решается описанным выше способом. В случае выбора варианта приемоизмерителя ГНСС для НАП надо учитывать, что каждая целевая функция (частный критерий и конкретное ограничение) зависят от нескольких параметров, качественных и количественных,

$$F_k = F_k(t_{k1}, t_{k2}, \dots, t_{k\Omega(k)}) = F_k(t_{k\omega}), \quad \omega \in [1, \Omega(k)], \quad (8)$$

$$C_m = C_m(t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{m\Theta(m)}) = C_m(t_{m\nu}), \quad \nu \in [1, \Theta(m)]. \quad (9)$$

Функции принадлежности альтернативы x критерию F_k и ограничению C_m определяются следующим образом:

$$\mu_{F_k}(x) = \prod_{\omega=1}^{\Omega(k)} \lambda_{k\omega} \mu_{F_k}(x, t_{k\omega}), \quad (10)$$

$$\mu_{C_m}(x) = \prod_{\vartheta=1}^{\Theta(m)} v_{m\vartheta} \mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta}), \quad (11)$$

где $\lambda_{k\omega}$ — коэффициент значимости параметра $t_{k\omega}$ в критерии F_k , $\sum_{\omega=1}^{\Omega(k)} \lambda_{k\omega} = 1$, $\mu_{F_k}(x, t_{k\omega})$ — функция принадлежности параметра $t_{k\omega}$ критерию F_k , $\lambda_{m\vartheta}$ — коэффициент значимости параметра $t_{m\vartheta}$ в ограничении C_m , $\sum_{\vartheta=1}^{\Theta(m)} v_{m\vartheta} = 1$, $\mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta})$ — функция принадлежности параметра $t_{m\vartheta}$ ограничению C_m .

В формулы (8–11) входят качественные и количественные параметры.

Функции принадлежности $\mu_{F_k}(x, t)$ рассчитываются следующим образом. Для четких параметров (количественных) $t(x)$ мерой удовлетворения альтернативы x , лучше соответствующей характеристике приемоизмерителя ГНСС для НАП $t(0)$, является отношение значения этого параметра к соответствующему параметру идеального приемни-

ка $t(0)$, то есть его функцией принадлежности частному критерию будет функция вида

$$\begin{aligned} \mu_{F_k}(x, t_{k\omega}) &= \frac{t_{k\omega}(x)}{t_{k\omega}(0)}, \text{ если } t_{k\omega}(x) < t_{k\omega}(0), \\ \mu_{F_k}(x, t_{k\omega}) &= 1, \text{ если } t_{k\omega}(x) \geq t_{k\omega}(0). \end{aligned} \quad (12)$$

Для четких параметров, определяющих ограничения C_m , справедливо аналогичное выражение

$$\begin{aligned} \mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta}) &= \frac{t_{m\vartheta}(x)}{t_{m\vartheta}(0)}, \text{ если } t_{m\vartheta}(x) < t_{m\vartheta}(0), \\ \mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta}) &= 1, \text{ если } t_{m\vartheta}(x) \geq t_{m\vartheta}(0). \end{aligned} \quad (13)$$

Для нечетких параметров должны быть известны либо функции принадлежности каждой альтернативы критерию при конкретном значении параметра (набора параметров) $t_{k\omega}$ $\mu_{F_k}(x, t_{k\omega})$, либо формульные зависимости пересчета параметров $t(x)$ в целевые функции принадлежности частных критериев (ограничений).

В первом случае известные для нечетких параметров $\mu_{F_k}(x, t_{k\omega})$ и функции принадлежности, рассчитанные по формуле (12), подставляются в формулу (10). Входящая в формулу (10) величина $\Omega(k)$ — это общее количество параметров, соответствующих критерию F_k , среди которых ω_1 — четких (количественных) и ω_2 — нечетких (качественных), $\omega_1 + \omega_2 = \Omega(k)$.

Аналогично, для нечетких параметров известные $\mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta})$ и функции принадлежности x ограничениям, рассчитанные по формуле (13), подставляются в формулу (11). Для описания ограничения C_m используются ϑ_1 четких и ϑ_2 — нечетких параметров, таких, что $\vartheta_1 + \vartheta_2 = \Theta(m)$.

Во втором случае, когда известны соотношения $\varphi_{k\omega}$ пересчета параметров $t_{k\omega}$ в целевую функцию F_k , можно, задавая функции принадлежности $t_{k\omega}$ множеству допустимых альтернатив $\mu_X(x, t_{k\omega})$, определить функцию принадлежности альтернатив критерию F_k . Используя принцип обобщения Л.А. Заде [5], можно процедуру преобразования нечеткой переменной записать в виде:

$$\mu_{F_k}(x, t_{k\theta}) = \mu_X(x, \varphi_{k\theta}(t_{k\theta})) = \sup_{t_{k\theta} \in \varphi_{k\theta}^{-1}(t_{k\theta})} \mu_X(x, t_{k\theta}), \quad (14)$$

Аналогично можно записать функцию принадлежности альтернативы $x \in X$ с параметром $t_{m\theta}$ ограничению C_m при известных соотношениях $\Psi_{m\theta}$ пересчета параметров $t_{m\theta}$ в функцию ограничения C_m и известной функции принадлежности $t_{m\theta}$ множеству допустимых альтернатив $\mu_x(x, t_{m\theta})$:

$$\mu_{C_m}(x, t_{m\theta}) = \mu_X(x, \Psi_{m\theta}(t_{m\theta})) = \sup_{t_{m\theta} \in \Psi_{m\theta}^{-1}(t_{m\theta})} \mu_x(x, t_{m\theta}), \quad (15)$$

4. Возможные алгоритмы свертки частных критериев и ограничений. Известны разные способы объединения информации при многокритериальной оптимизации на нечетком множестве альтернатив. Укажем некоторые из них, основанные на использовании операции пересечения множеств частных решений и ограничений. С учетом введенных ранее обозначений решение D записывается в виде одного из следующих наборов формул:

$$1) \quad \mu_F(x) = \min \{ \lambda_1 \mu_{F_1}(x), \lambda_2 \mu_{F_2}(x), \dots, \lambda_K \mu_{F_K}(x) \}, \quad (16)$$

$$\mu_C(x) = \min \{ v_1 \mu_{C_1}(x), v_2 \mu_{C_2}(x), \dots, v_M \mu_{C_M}(x) \}, \quad (17)$$

$$\mu_D(x) = \min \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 \mu_{F_1}(x), \lambda_2 \mu_{F_2}(x), \dots, \lambda_K \mu_{F_K}(x); \\ v_1 \mu_{C_1}(x), v_2 \mu_{C_2}(x), \dots, v_M \mu_{C_M}(x) \end{array} \right\}. \quad (18)$$

$$2) \quad \mu_F(x) = \min \{ \mu_{F_1}^{\lambda_1}(x), \mu_{F_2}^{\lambda_2}(x), \dots, \mu_{F_K}^{\lambda_K}(x) \}, \quad (19)$$

$$\mu_C(x) = \min \{ \mu_{C_1}^{v_1}(x), \mu_{C_2}^{v_2}(x), \dots, \mu_{C_M}^{v_M}(x) \}, \quad (20)$$

$$\mu_D(x) = \min \left\{ \begin{array}{l} \mu_{F_1}^{\lambda_1}(x), \mu_{F_2}^{\lambda_2}(x), \dots, \mu_{F_K}^{\lambda_K}(x); \\ \mu_{C_1}^{v_1}(x), \mu_{C_2}^{v_2}(x), \dots, \mu_{C_M}^{v_M}(x) \end{array} \right\}; \quad (21)$$

$$3) \quad \mu_F(x) = \min \left\{ \frac{\mu_{F_1}(x)}{\lambda_1}, \frac{\mu_{F_2}(x)}{\lambda_2}, \dots, \frac{\mu_{F_K}(x)}{\lambda_K} \right\}, \quad (22)$$

$$\mu_C(x) = \min \left\{ \frac{\mu_{C_1}(x)}{v_1}, \frac{\mu_{C_2}(x)}{v_2}, \dots, \frac{\mu_{C_M}(x)}{v_M} \right\}, \quad (23)$$

$$\mu_D(x) = \min \left\{ \frac{\mu_{F_1}(x)}{\lambda_1}, \frac{\mu_{F_2}(x)}{\lambda_2}, \dots, \frac{\mu_{F_K}(x)}{\lambda_K}; \frac{\mu_{C_1}(x)}{\nu_1}, \frac{\mu_{C_2}(x)}{\nu_2}, \dots, \frac{\mu_{C_M}(x)}{\nu_M} \right\}. \quad (24)$$

Оптимальное решение, как и ранее, записывается в виде:

$$D_0 : \min_{(x)} \{ \mu_D(x) \}.$$

При равнозначных частных критериях и ограничениях все известные способы их объединения дают одинаковые результаты:

$$\mu_D(x) = \min \left\{ \mu_{F_1}(x), \mu_{F_2}(x), \dots, \mu_{F_K}(x); \mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), \dots, \mu_{C_M}(x) \right\}. \quad (25)$$

Другая группа критериев основана на использовании выпуклой комбинации компонентов с учетом их важности:

$$D = F + C, \quad (26)$$

$$\mu_D(x) = \mu_F(x) + \mu_C(x), \quad (27)$$

$$F = \lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \dots + \lambda_k F_k = \sum_{k=1}^K \lambda_k F_k, \quad (28)$$

$$C = \sum_{m=1}^M \nu_m C_m, \quad (29)$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k + \sum_{m=1}^M \nu_m = 1. \quad (30)$$

$$\mu_D(x) = \sum_{k=1}^K \lambda_k \mu_{F_k}(x) + \sum_{m=1}^M \nu_m \mu_{C_m}(x), \quad (31)$$

$$\text{где } \mu_{F_k}(x) = \sum_{\omega=1}^{\Omega(k)} \lambda_{k\omega} \mu_{F_k}(x, t_{k\omega}), \quad (32)$$

$$\mu_{C_m}(x) = \sum_{\vartheta=1}^{\Theta(m)} \nu_{m\vartheta} \mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta}), \quad (33)$$

$$\mu_D(x) = \sum_{k=1}^K \sum_{\omega=1}^{\Omega(k)} \lambda_k \lambda_{k\omega} \mu_{F_k}(x, t_{k\omega}) + \sum_{m=1}^M \sum_{\vartheta=1}^{\Theta(m)} \nu_m \nu_{m\vartheta} \mu_{C_m}(x, t_{m\vartheta}). \quad (34)$$

Оптимальное решение, как и ранее, записывается в виде:

$$D_0 : \max_{(x)} \{ \mu_D(x) \}. \quad (35)$$

Выражения (27, 31–33) по виду напоминают оптимизируемые функционалы при многокритериальной оптимизации в случае четких количественных характеристик.

5. Учет корреляции частных критериев. Выше приведены формулы объединения независимых частных критериев в обобщенный критерий качества. Однако условие независимости не всегда выполняется. Один из возможных методов учета корреляции между критериями заключается в следующем. Вводится расширение набора альтернатив в соответствии с имеющейся корреляционной зависимостью. Например, рассмотренные в [1, 2] критерии F_1 (интегрируемость в структуру НПК) и F_4 (стоимость) зависимы. Параметр t_2 - возможность внесения корректировок в алгоритмы функционирования - входит составным элементом в оба критерия. Придавая различные значения параметра t_2 конкретной альтернативе, получаем соответствующие значения функций принадлежности данной альтернативы критериям F_1 и F_4 .

Пусть t_2 принимает одно из q возможных значений, $t_2 \in [t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2q}]$. Тогда при доступности на рынке приемоизмерителей ГНСС всех m модификаций вместо одной конкретной альтернативы надо анализировать q ее разновидностей, причем каждому из q значений параметра t_2 будут соответствовать пары значений целевых функций $\{F_1, F_4\}$.

Заключение. В настоящей статье продолжено развитие методологического подхода к оптимальному выбору встраиваемого приемника глобальных навигационных спутниковых систем для бортовой навигационной аппаратуры потребителей. С использованием теории нечетких множеств проведен анализ и обобщение различных методов экспертного оценивания качественных и количественных характеристик приемников ГНСС. Показано, что применение различных методов приводит в конечном итоге к идентичным результатам в части выбора оптимальной альтернативы на заданном множестве, несмотря на использование принципиально различного математического аппарата.

Литература

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. 2010 г., с.347-349.

2. *Бабуров В. И., Иванцевич Н. В., Саута О. И.* Интегральные показатели качества приемников ГНСС для навигационно-посадочных комплексов.- XVIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. 2011 г., с.327-329.
3. *Бабуров В. И., Иванцевич Н. В., Саута О. И.* Формализованный подход к выбору приемоизмерителя для бортового оборудования спутниковой навигации и посадки. // Вопросы радиоэлектроники, Сер. ОТ, Вып.4, 2011. с.16-31.
4. *Беллман Р., Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. - М.: Мир, 1976. – С. 172 – 215.
5. *Орловский С. А.* Проблемы принятия решений при нечеткой информации.- М.: Наука, 1981. 206 с.
6. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / *А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьева и др.* – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
7. *Иванцевич Н.В.* Об оптимизации структуры интегрированных навигационных комплексов на базе спутниковой навигационной аппаратуры с применением методов теории нечетких множеств//Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиолокационная техника.-2008.-Вып. 2.-С. 173-181.

Бабуров Владимир Иванович — д.т.н., директор филиала ОАО "ВНИИРА" г. Санкт-Петербург ОАО "Концерн ПВО "Алмаз-Антей". Область научных интересов: радиолокация и радионавигация. Число научных публикаций — 160. www.navigat.ru; ВНИИРА, Шкиперский пр.19, г.Санкт-Петербург, 199406, РФ; р.т. +7(812)335-25-55(3738), факс +7 (812)352-35-08.

Baburov Vladimir Ivanovich — the Doctor of Engineering., director of VNIIRA branch of JSC St. Petersburg JSC Concern PVO «Almaz-Antey». Area of scientific interests: radar-location and radio navigation. Number of scientific publications — 160. www.navigat.ru; ВНИИРА, Shkipersky Ave. 19, St. Petersburg, 199406, Russian Federation; Ph.: +7 (812) 335-25-55 (3738), fax +7 (812) 352-35-08.

Иванцевич Наталья Вячеславовна — д.т.н., старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник филиала ОАО "ВНИИРА" ОАО "Концерн ПВО «Алмаз-Антей» г. Санкт-Петербург. Область научных интересов: радиолокация и радионавигация. Число научных публикаций — 137. www.navigat.ru; ВНИИРА, Шкиперский пр.19, г.Санкт-Петербург, 199406, РФ; р.т. +7(812)335-25-55(3784), факс +7 (812)352-35-08.

Ivantsevich Natalia Vyacheslavovna — the Doctor of Engineering., senior research associate, leading research associate of VNIIRA branch of JSC of JSC Concern PVO Almaz-Antey St. Petersburg. Area of scientific interests: radar-location and radio navigation. Number of scientific publications — 137. www.navigat.ru; ВНИИРА, Shkipersky Ave. 19, St. Petersburg, 199406, Russian Federation; Ph.: +7 (812) 335-25-55 (3784), fax +7 (812) 352-35-08.

Олянюк Петр Васильевич — д.т.н., профессор по кафедре радионавигации, Государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург. Область научных интересов: радиолокация, радионавигация, управление воздушным движением. Число научных публикаций — 180. Адрес: 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38, Тел.: (812)704-18-18, Факс: (812)704-18-63, E-mail: info@academiaga.ru.

Olyanyuk Petr Vasilevich — the Doctor of Engineering, the professor on radio navigation chair, the State university of civil aviation, St. Petersburg. Area of scientific interests: radar-

location, radio navigation, air traffic control. Number of scientific publications — 180, the Address: 196210, St. Petersburg, Pilotov St., 38, Ph.: (812) 704-18-18, Fax: (812) 704-18-63, E-mail: info@academiaga.ru.

Саута Олег Иванович — к.т.н., начальник сектора ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры», г. Санкт-Петербург. Область научных интересов: радиолокация, радионавигация, управление воздушным движением. Число научных публикаций — 35. Адрес: 199406, Санкт-Петербург, ул. Шкиперский проток, д.19. Тел. р.т. +7(812)335-25-55(3715), факс +7 (812)352-35-08.

Sauta Oleg Ivanovich — Candidate of Technical Sciences, the chief of the sector of JSC «All-Russia research institute of radio equipment», St. Petersburg. Area of scientific interests: radar-location, radio navigation, air traffic control. Number of scientific publications — 35. Address: 199406, St. Petersburg, Shkipersky Canal St., 19. Ph. of river of t. +7 (812) 335-25-55 (3738), fax +7 (812) 352-35-08.

Рекомендовано ИГИТО СПИИРАН, рук. ктн, доц. А.В. Тишков.
Статья поступила в редакцию 09.04.2012.

РЕФЕРАТ

Бабуров В.И., Иванцевич Н.В., Олянюк П.В., Саута О.И. **Нечеткие критерии и понятия в задаче выбора приемника ГНСС для навигационно-пилотажного комплекса.**

Настоящая статья является продолжением и обобщением исследований авторов по оптимизации процесса выбора спутникового приемника для навигационно-посадочного комплекса. В ней более глубоко исследуется влияние нечетких понятий (представлений) на результат выбора приемника ГНСС для навигационно-пилотажного комплекса.

При постановках задач оптимизации выбора встраиваемого приемника ГНСС ранее была предложена группа критериев предпочтений, обеспечивающая решение задачи выбора лучшей альтернативы и были рассмотрены методологические подходы, с помощью которых можно найти на рынке или заказать изготовление такого встраиваемого приемника ГНСС, который обеспечит оптимальное построение навигационной аппаратуры потребителя и наилучшее решение задач, стоящих перед навигационно-посадочным комплексом летательного аппарата в целом. При решении задачи выбора рассматривались как преимущественно количественные (четкие) параметры для выбранных критериев, которые характеризуются известными количественными показателями. Нечеткие параметры были рассмотрены только в части иллюстрации их возможностей, например при построении интегральных критериев.

В общем случае нечеткими могут быть как сами частные критерии, способ объединения частных критериев в интегральный показатель качества, и система ограничений, так и отдельные переменные. Кроме того, возможны ситуации, когда ограничения не могут быть четко аргументированы. Например, даже такой параметр как диапазон рабочих температур для многих альтернатив целесообразно рассматривать как нечеткий, так как зачастую заявленные производителем показатели отличаются от реализованных в изделиях, особенно для новых видов приемников ГНСС. Тогда, некоторые параметры, которые в традиционно рассматриваются как ограничения, целесообразно перевести в разряд нечетких параметров.

В статье продолжено развитие методологического подхода к оптимальному выбору встраиваемого приемника глобальных навигационных спутниковых систем для бортовой навигационной аппаратуры потребителей. С использованием теории нечетких множеств проведен анализ и обобщение различных методов экспертного оценивания качественных и количественных характеристик приемников ГНСС. Показано, что применение различных методов приводит в конечном итоге к идентичным результатам в части выбора оптимальной альтернативы на заданном множестве, несмотря на использование принципиально различного математического аппарата.

SUMMARY

Baburov V.I., Ivantsevich N.V., Olyanyuk P.V., Sauta O.I. **Fuzzy logic and sets to the selection of GNSS receiver for navigation and landing complexes.**

The present paper is the continuation and synthesis of researches of authors on optimization of process of a choice of the satellite receiver for a navigation and landing complex. The influence of indistinct concepts (representations) on result of a choice of the GNSS receiver for a navigation and flight complex is explored in greater depth.

At the statements of the problems of choice optimization of the built-in GNSS receiver the group of criteria of the preferences earlier was offered, providing the solution of a problem of a choice of the best alternative and methodological approaches by means of which it is possible to find it in the market were considered or to order manufacture of such built-in GNSS receiver which will provide optimal creation of navigation equipment for the consumer and the best problem solving, facing a navigation and landing complex of the aircraft as a whole were considered. At the solution of a problem of a choice mainly the quantitative parameters were considered as mainly (legible) by parameters for the chosen criteria which are characterized by known quantitative indices. Fuzzy parameters were considered only regarding an illustration of their possibilities, for example at creation of integral criteria.

Generally the system of restrictions, and separate variables can be the as fuzzy as private criteria, and the way of joining the private criteria in an integral indicator of quality. Besides, situations when restrictions can't be given legibly reason are possible. For example, even such parameter as the range of operating temperatures for many alternatives should be regarded as indistinct as the indicators often declared by the producer differ from realized ones in products, especially for new types of GNSS receivers. Then, some parameters which in are traditionally considered as restriction expediently to transfer to the category of fuzzy parameters.

The methodological approach to an optimal choice of the built-in receiver of global navigation satellite systems for onboard navigation equipment for consumers is further developed in the present paper. With the use of the theory of fuzzy logic the analysis and generalization of various methods of expert estimation of quality and quantitative characteristics of GNSS receivers are carried out. It is shown that application of various methods leads finally to identical results in the part of a choice of optimal alternative on the given set, despite the use of in essentially various different mathematical apparatus.