НАВІГАЦІЯ

УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

АЛГОРИТМ ВИБОРУ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПСЕВДОСУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Приведена методика оцінки ефективності будь-якої технічної системи та процедура вибору і обґрунтування критеріїв ефективності (КЕ). Визначені вимоги до критерію ефективності, серед яких основними є вимоги щодо чутливості, репрезентативності, та відповідності КЕ завданням, які виконуються, а також відповідності об'єкту, до якого застосовується цей КЕ. Предметом розгляду роботи є оцінка ефективності псевдосупутникової радіонавігаційної системи, як складного об'єкта. Розглянута класифікація показників якості ПС РНС, яка проводиться за аналогією з іншими типами навігаційних систем та супутниковими радіонавігаційними системами.

Ключові слова: *псевдосупутник (ПС), супутникова радіонавігаційна система (СРНС), псевдосупутникова РНС, критерій ефективності (КЕ), мережа наземних та повітряних псевдосупутників.*

Вступ

В основі оцінки ефективності будь-якої технічної (ергатичної, організаційної, соціальної) системи неодмінно полягає процедура, пов'язана з вибором та обґрунтуванням критеріїв ефективності (КЕ). Для того, щоб сказати, чи відповідає система встановленим вимогам, а також, щоб можна було порівнювати різні системи необхідно, в першу чергу, визначити аспект розгляду (кут зору) під яким розглядається та чи інша система. Такі аспекти і відображаються за допомогою відповідних критеріїв.

Як відомо, до критерію (показника) ефективності висувається низка вимог, серед яких основними є вимоги щодо чутливості, репрезентативності, та відповідності КЕ завданням, які виконуються, а також відповідності об'єкту, до якого застосовується даний КЕ.

Складність сучасної бойової техніки, її насиченість різноманітними за призначенням, принципом дії та конструктивним виконанням системами з різними показниками викликають серйозні труднощі у їх оцінюванні.

У зв'язку з тим, що структура комплексних показників доволі різноманітна і вони можуть включати у себе окрім ступеню відповідності своєму призначенню, вартість та інші показники, то найбільш часто ефективність визначається як міра доцільності вибору того чи іншого технічного рішення, яке визначає характеристики технічної системи при проектуванні, чи метода її застосування при експлуатації.

Метою статті є розроблення та дослідження алгоритму вибору критеріїв оцінки ефективності псевдосупутникових радіонавігаційних систем із визначенням класів критеріїв та вибір критерію, який віддзеркалюватиме об'єктивну можливість виконання бойового завдання (загальну ймовірність його виконання).

Основна частина

Предметом розгляду даної роботи є оцінка ефективності псевдосупутникової радіонавігаційної системи, як складного об'єкта.

У залежності від вимог, які висуваються до системи та завдань, які нею виконуються, обираються показники ефективності для її оцінки. Так, якщо основним завданням навігаційної системи є точне визначення місцерозташування об'єкта (споживача), то основною вимогою щодо її функціонування буде точність визначення координат і, відповідно, критерієм – середньоквадратична похибка визначення місця розташування споживача.

За аналогією з іншими типами навігаційних систем та супутниковими радіонавігаційними системами зокрема, ПС РНС також можуть бути оцінені з точки зору незалежності від геофізичних та метеорологічних умов функціонування, пропускної здатності, завадозахищеності та за показниками надійності навігаційного забезпечення (рис. 1). До останніх, у свою чергу, відносяться:

– доступність (визначається ймовірністю

працездатності системи перед та у процесі

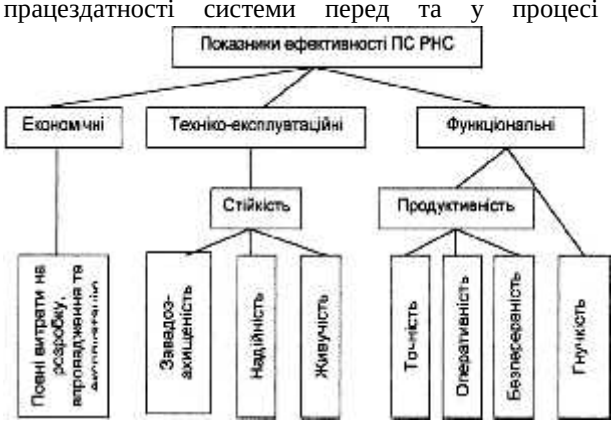

Рис. 1. Класифікація показників якості ПС РНС

виконання того чи іншого завдання);

– цілісність (ймовірність виявлення відмови протягом часу рівного чи менш ніж заданий);

– безперервність обслуговування (ймовірність працездатності системи протягом найбільш відповідальних етапів виконання завдання).

Але з точки зору військових споживачів найбільш прийнятними та зрозумілими будуть критерії, які відображатимуть вплив означеної навігаційної системи на загальний результат бойових дій (виконання бойового завдання). Тому доцільно обирати критерій, який віддзеркалюватиме об'єктивну можливість виконання бойового завдання – загальну ймовірність його виконання.

Такий критерій найбільш повно виражає суть справи, є загальнодоступним та дає змогу відповісти на питання, який шанс має авіаційний комплекс (підрозділ, частина) успішно виконати бойове завдання при тих чи інших параметрах системи навігаційного забезпечення. Більше того, задавши необхідне значення такого критерію, можна сформулювати технічні та організаційні вимоги до системи навігаційного забезпечення взагалі.

Однак статистичні критерії відображають події у минулому і мають деякі суттєві недоліки: не дають змоги виконати кількісну оцінку загальної ймовірності виконання бойового завдання без практичної реалізації, а також не показують шляхів ефективного підвищення ймовірності виконання завдань.

Сучасні засоби озброєння мають складну структуру і тому, щоб дослідити вплив параметрів системи навігаційного забезпечення на ймовірність виконання бойового завдання взагалі необхідно, з позицій системного підходу, розділити складну систему на більш прості підсистеми. Загальна методологія системного підходу передбачає, що будь-яка система може бути поділена на підсистеми будь-яким чином і у будь-якому порядку. Останнє визначається лише логікою міркувань дослідника.

Для того, щоб мати змогу оцінити роль кожної з підсистем у виконанні бойового завдання необхідно при поділі системи на елементи керуватись наступними принципами:

1) кожна з підсистем повинна забезпечувати вирішення певних завдань, які не дублюються іншими підсистемами;

2) якщо хоча б одна з підсистем не виконує свого завдання, то загальне бойове завдання не виконується;

3) ймовірність виконання бойового завдання взагалі повинна визначатись добутком умовних ймовірностей виконання завдань кожною з підсистем.

Застосування засобів озброєння у більшості випадків пов'язується з двома основними процесами: 1) доставка засобів ураження до визначеного місця застосування (зони ураження) і 2) безпосереднє застосування засобів ураження.

Відповідно до такого розгляду, з першого процесу випливає завдання якомога точнішої доставки засобів ураження до зони застосування. Таке завдання може бути виконано, коли засоби ураження обладнано спеціальними системами, які здатні точно відслідковувати місцезнаходження об'єкта у просторі і самостійно корегувати рух носіїв засобів ураження згідно з закладеними програмами.

Таким чином, усі засоби озброєння структурно можна представити у вигляді двох підсистем: комплексу озброєння та навігаційної системи. До першої відносяться засоби ураження, їх носії, системи управління, обслуговування та забезпечення - іншими словами усе, що може використовуватись у процесі збройної боротьби з метою ураження об'єктів та засобів протидіючої сторони, але за виключенням систем навігаційного забезпечення. До другої відносяться системи, призначені для визначення місцезнаходження рухомих об'єктів та засоби для забезпечення їх роботи.

Більшість сучасних засобів озброєння обладнані не однією а декількома навігаційними системами. Це, зокрема, відноситься до літальних апаратів, які мають у своєму складі різнотипні засоби навігації. Але, поряд з цим, сучасні умови ведення бойових дій вимагають від військ та техніки здатності визначати своє місцерозташування у будь-який момент часу з високою точністю, якої не може бути досягнуто жодною з існуючих навігаційних систем, окрім СРНС. Це, у свою чергу, викликає необхідність обладнання усіх засобів озброєння системами глобального місцевизначення, що робить їх залежними від дій країн-власниць СРНС. ПС РНС покликана замінити СРНС у випадку, коли інформація СРНС стане недоступною або спотвореною.

Таким чином, як уже зазначалось, в умовах бойових дій для класу завдань, які вимагають високої точності місцевизначення, засоби озброєння можна розглядати як сукупність комплексів

озброєння та технічних засобів ПС РНС (рис. 2). Тоді подію В, яка полягатиме в успішному виконанні завдань, що покладаються на війська та засоби озброєння можна буде представити у вигляді:

$$B=B_1 \cap B_2;\ B \cap B_i=\varnothing,\ i=1,2,$$

де B_1 - подія, яка означає визначення місце знаходження засобу ураження із заданою точністю; B_2 – подія, яка полягає у виконанні завдання за призначенням комплексом озброєння.

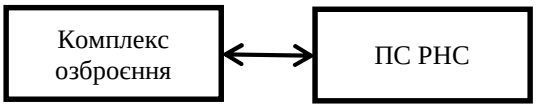

Рис. 2. Структура засобів озброєння

Для оцінки можливостей ПС РНС та можливості виконання бойового завдання взагалі необхідно обґрунтувати кількісний критерій, який дозволяє порівнювати існуючі проекти такої системи та встановлювати вимоги щодо їх технічних параметрів.

Щоб можна було судити про ефективність та порівнювати між собою різні за структурою та властивостями засоби озброєння одного і того ж призначення, КЕ повинен характеризувати засіб як єдине ціле, тобто володіти синтезуючою здатністю, яка враховує усі його властивості. Ефективність повинна виражатись одним числом, бути критичною до змін основних характеристик засобів та визначатися з достатньою для практики точністю.

Оскільки основною умовою виконання бойового завдання є вирішення завдань обома підсистемами, але взагалі ураження об'єкта неможливе без точного місцевизначення, то критерій ефективності - ймовірність виконання бойового завдання дорівнюватиме

$$P(B)=P(B_1)P(B_2/B_1), \qquad (2)$$

де $P(B_1)$ – ймовірність визначення місцезнаходження засобу ураження з припустимою похибкою; $P(B_2/B_1)$ – умовна ймовірність вирішення завдання комплексом озброєння.

Згідно із законом комутативності множин та подій і згідно з правилом множення ймовірностей можна записати

$$P(B_1)P(B_2/B_1)=P(B_2)P(B_1/B_2). \qquad (3)$$

Отже, з виразу (3) можна сказати, що загальна ефективність бойових дій буде залежати як від стану та здатності виконати завдання комплексами озброєння, так і від стану та ймовірності точного визначення координат за допомогою ПС РНС.

У свою чергу ПС РНС структурно також можна поділити на ряд підсистем. Згідно з основними принципами побудови ПС РНС у ній виділяють (рис. 3): мережу наземних та повітряних псевдосупутників, мережу контрольно-корегуючих станцій та навігаційну апаратуру споживачів.

Тоді, по аналогії з попередніми міркуваннями, складну подію визначення координат із заданою точністю можна розглядати як сукупність більш простих подій

$$B_1=A_1 \cap A_2 \cap A_3;\ B_1 \cap = \varnothing,\ i=1,2,3, \qquad (4)$$

де A_1 – подія, яка полягає в тому, що НАС перебуває у справному стані і параметри її роботи дозволяють визначити місцеположення із заданою точністю; A_2 – подія, яка полягає у тому, що у полі зору споживача одночасно знаходиться не менше встановленої кількості ПС; A_3 – подія, яка полягає у тому, що точність вирішення навігаційного завдання лежить у межах встановлених норм.

Як бачимо, серед зазначених подій є залежні та

Рис. 3. Структура ПС РНС

незалежні. Так, функціонування бортової НАС (подія A_1) у загальному випадку не залежить від стану мережі ПС, і навпаки, події A_2 та A_3 не залежать від події A_1. Але подія A_3 – точність визначення координат споживача лежить у межах встановлених норм, є неможливою без виконання попередньої події A_2, адже у полі зору споживача повинно знаходитись одночас певна кількість ПС. Ця кількість встановлюється у залежності від наявності іншої апріорної інформації про розташування об'єкта на місцевості, наприклад, коли відома висота С то для його місцевизначення необхідно мати лише три виміри від ПС.

Звідси узагальнений критерій ефективності функціонування ПС РНС буде являти собою ймовірність виконання завдання навігації (визначення місцезнаходження) із заданою точністю і матиме вигляд

$$P(B_1) = P(A_1)P(A_2)P(A_3/A_2) = W(t) = P_{НАС}(t)P_N(t)P_{точ}(t) \qquad (5)$$

де $P_{НАС}(t) = P(A_1)$ – ймовірність безвідмовної роботи НАС протягом заданого часу t; $P_N(t) = P(A_2)$ – ймовірність знаходження більше чотирьох ПС у полі зору споживача; $P_{точ}(t) = P(A_3/A_2)$ – ймовірність того, що точностні характеристики системи будуть знаходитись у встановлених межах.

Аналогічно виразу (3) можна записати:

$$P(A_1)P(A_2)P(A_3/A_2) = P(A_1)P(A_3)P(A_2/A_3) \qquad (6)$$

Таким чином, використовуючи у якості метода наукового дослідження методи дедукції, аналізуючи структуру засобів озброєння та вимоги, які до них висуваються, можна зробити висновок, що кінцевий результат бойових дій залежатиме як від типу та способів застосування комплексу озброєння, так і від стану навігаційного забезпечення. У свою чергу ряд завдань можуть бути успішно виконані лише при наявності високоточної навігаційної інформації яку у бойових умовах зможе надати тільки ПС РНС.

Достовірність моделі цільової ефективності ПС

РНС обумовлено тим, що її сформульовано на основі системного підходу з урахуванням усієї сукупності впливаючих факторів.

Звісно, застосуванням комплексів та систем озброєння не вичерпується сфера застосування ПС РНС і тому при обчисленні ймовірності виконання інших завдань зазначена методика може бути скорегована.

Висновки

Запропоновано алгоритм оцінювання ефективності псевдосупутникової радіонавігаційної системи, як складного об'єкта. У залежності від вимог, які висуваються до системи та завдань, які нею виконуються, розроблена класифікація критеріїв ефективності(КЕ) за якою обираються показники ефективності для її оцінки.

Доведена необхідність обладнання усіх засобів озброєння системами глобального місцевизначення, що робить ПС РНС, яка покликана замінити СРНС у випадку, коли інформація СРНС стане недоступною або спотвореною.

Подальші дослідження доцільно розширити для застосування комплексів та систем ПС РНС в інших галузях, крім військової і тому при обчисленні ймовірності виконання інших завдань зазначена методика може бути скорегована.

Список літератури

1. *Петров Н.Н. Системы и комплексы технических средств местоопределения подвижных объектов. – Режим доступу: http://st.ess.ru/redaction/index, htm*
2. *Рокот "Чёрного Грома": Применение RTK GPS при разработке горных месторождений. – Режим доступу: www.gpsworld.com*
3. *Application of geodesy to engineering. – Режим доступу: www.gfy.ku.dk*
4. *Indoor Navigation System using Pseudolite. – Режим доступу: http://gps.snu.ac.kr*
5. *Болдырев В.С. Беспилотники вместо спутников / В.С. Болдырев, В.П. Заколодяжный, Б.И. Лобойко // Независимое военное обозрение, – 2002. – №23.*
6. *Каримов А.Д. В России задумались над беспилотниками / А.Д. Каримов, В.В. Ильин // Независимое военное обозрение. – 2001.*
7. *Relative Positioning Using Pseudolites in the Navigation Systems Testing Laboratory at NASA's Johnson Space Center. – Режим доступу: www.nstl.com*
8. *Испытания псевдоспутника прошли успішно. – Режим доступу: www.nature.ru*
9. *United States Department of Defense Contract. – Режим доступу: www.defenselink.mil*

Надійшла до редколегії 08.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПСЕВДОСПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

О.В. Шульга

Приведена методика оценки эффективности любой технической системы и процедуры выбора и обоснования критериев эффективности (КЭ). Определены требования к критерию эффективности, среди которых основными являются требования к чувствительности, репрезентативности и соответствия КЭ задачам, которые выполняются, а также соответствия объекту, к которому применяется данный КЭ. Предметом рассмотрения данной работы является оценка эффективности псевдоспутниковой радионавигационной системы, как сложного объекта. Рассмотрена классификация показателей качества ПС РНС, которая проводится по аналогии с другими типами навигационных систем и спутниковыми радионавигационными системами.

Ключевые слова: *псевдоспутник (ПС), спутниковая радионавигационная система (СРНС), псевдоспутниковая РНС, критерий эффективности (КЭ), сеть наземных и воздушных псевдоспутников.*

PSEUDOSATELLITE NAVIGATION SYSTEM PERFORMANCE CRITERIA SELECTION ALGORITHM

O.V. Shulga

Effectiveness evaluating methods of any technical system shown and efficiency criteria (EC) choice and justification procedure. Defined efficiency criteria requirements, among which are requirements for sensitivity, representativeness and EC compliance tasks, as well as compliance with object to which apply this EC. Focus of this work is to evaluate pseudosatellites navigation system effectiveness as a complex object. PS RNS quality index classification considered, which is analogous to other types of navigation systems and satellite navigation systems.

Keywords: *pseudosatellite (PS), satellite radionavigation system (SRNS), pseudosatellite RNS, efficiency criterion (EC), ground-based and airborne pseusatellites network.*