

## СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

© І. В. Маслов, Л. М. Заміховський

*Розглянуті принципи завадозахищеного приймання сигналів при апріорній невизначеності завад. Показано, що простими методами на основі критерія Неймана-Пірсона можна забезпечити безперебійне оптимальне приймання сигналів в дискретно-неперервних каналах передачі інформації. В результаті проведених досліджень підтверджено, що модифікований критерій Неймана-Пірсона для розпізнання цифрових сигналів реалізується, якщо він реалізується для часткових символів*

**Ключові слова:** канал, сигнал-завада, джерело інформації, передача інформації, критерії завадозахищеності, корисний сигнал

*The principles of anti-jam receiving of the signal protected with the priori uncertainty of interference were examined. It is shown what simple methods based on the Neyman-Pearson criterion can ensure uninterrupted optimal receiving of signals in discrete-continuous channels of information transmission. The result of the conducted research was confirmed that the modified Neyman-Pearson criterion for recognition of the digital signals is realized, when it realized for partial characters*

**Keywords:** channel, interference channel, information source, information transmission, anti-jam criteria, useful signal

**1. Вступ**

При аналізі та синтезі інформаційних систем, зокрема систем передачі інформації, оперують певними якісними та кількісними показниками, що дозволяють проводити як оцінку їх якості, так і співставляти їх з іншими, подібними до них системами передачі інформації. Враховуючи, що передача інформації (повідомлень), супроводжується дією різноманітних завад і спотворень, то одним найбільш важливих, специфічних показників систем передачі інформації є її завадостійкість [1, 2].

Методичною основою теорії завадостійкості є теорія імовірності і математична статистика. Вони широко використовуються при синтезі та аналізі оптимальних пристроїв і дозволяють порівняти їх між собою по тих чи інших критеріях, врахувати вплив реальних характеристик завадозахищеності та дати практичні рекомендації по вибору найкращого варіанту їх побудови [1, 2].

**2. Постановка задачі та літературний огляд та літературний огляд**

Під дією завад сигнали, що передаються від джерел інформації, спотворюються. Тому реальні сигнали при їх прийманні завжди відрізняються від вихідних. Внаслідок цього, визначення їх параметрів стає статистичною задачею [2, 3]. В результаті обробки повідомлень, які спотворені завадою, з тою чи іншою імовірністю мають місце події, що утворюють наступну повну групу ситуацій:

– прийнято вірне рішення, що сигнал є корисним при умові, що в дійсності був переданий цей сигнал. Це подія розпізнання сигналу з імовірністю  $P_p$ ;

– прийнято невірне рішення, що сигнал є сигналом завади, тоді як в дійсності переданий корисний сигнал. Це подія подавлення корисного сигналу сигналом завади з імовірністю  $P_n$ ;

– прийнято вірне рішення, що ніякого сигналу немає при умові, що в дійсності він відсутній. Це є вірне несприймання завади з імовірністю  $P_{np,z}$ ;

– прийнято невірне рішення, що прийнятий сигнал є корисним, тоді як в дійсності він відсутній. Це помилковий прийом сигналу з імовірністю  $P_{ном}$ ;

– прийнято невірне рішення, що прийнятий один з сигналів, тоді як в дійсності він є іншим. Ця подія справедлива лише по відношенню до приймання символів (бітів) цифрового сигналу і називається трансформацією з імовірністю  $P_{mp}$ . Разом з другою подією вона утворює ситуацію нерозпізнання сигналу з імовірністю  $P_{np} = P_n + P_{mp}$ .

Очевидно, що для неперервних сигналів:

$$P_p = 1 - P_n.$$

**3. Використання критерія Неймана-Пірсона для забезпечення оптимального приймання сигналів в дискретно-неперервних каналах передачі інформації**

Основна проблема прийняття вірного рішення для неперервних сигналів полягає в тому, що при зменшенні імовірності подавлення сигналу збільшується імовірність його помилкового приймання [4, 5]. Якщо ввести функцію залежності між  $P_n$  і  $P_{ном}$ :

$$P_n = f(P_{ном}; \gamma), \quad (1)$$

де  $\gamma = \frac{P_c}{P_z}$  – перевищення потужності корисного сигналу над завадою, то при  $\gamma = const$  ця функція є спадаючою від  $P_{ном}$ .

Отже, задачі мінімізації імовірності подавлення і помилкового приймання сигналу нерозді-

льні одна від одної і є суперечливими. Тому питання про вибір оптимальних критеріїв завадостійкості при розпізнаванні корисного сигналу може бути вирішено тільки шляхом вибору компромісу між  $P_n$  і  $P_{ном}$ .

Найбільш сприйнятним є критерій Неймана-Пірсона, який оцінює в цілому задану помилку приймання повідомлення. Правда, цей критерій  $P_n \rightarrow \min$  або  $P_{ном} = P_{ном доп} = const$  також припускає елемент вольового рішення, але тим не менше він має пред двома першими критеріями три наступні переваги [1, 2]:

1. Вольовим рішенням призначається тільки одна величина –  $P_{ном доп}$ , а не декілька.

2. Допустиме значення  $P_{ном}$  можна встановити на основі практичних ймовірностей подій приблизно з тими ж наслідками в інших галузях техніки.

3. Розпізнавання сигналу може бути практично реалізовано. Справа в тому, що функція (1) індивідуальна для кожної завади і ніякого зв'язку з іншими критеріями завадостійкості немає.

Представимо цю функцію в більш зручній формі:

$$\gamma = \Psi(P_n; P_{ном}).$$

Очевидно, що ця функція дає значення  $\gamma$ , яке достатнє для забезпечення заданих значень ймовірності подавлення сигналу  $P_n$  при заданому значенні  $P_{ном}$ . Тоді вимога мінімізації  $P_n$ :

$$P_n = f(P_{ном}; \gamma) \Rightarrow \min$$

еквівалентна вимозі:

$$\gamma = \Psi(P_n; P_{ном}) \Rightarrow \min.$$

Об'єднуючи ці рівняння, отримуємо:

$$P_{ном} = P_{ном доп} = const,$$

$$\gamma = \Psi(P_n; P_{ном}) \Rightarrow \min.$$

Таким чином, виділення неперервного корисного сигналу при всій множині можливих завад можливо, коли:

– існує така ймовірність помилкового приймання сигналу, яка дорівнює заздалегідь вибраному допустимому значенню;

– мінімізація відношення потужностей сигнал-завада достатня для забезпечення допустимого значення ймовірності подавлення сигналу завадою.

Викладене формулювання має дві принципи різниці з традиційним формулюванням критерію Неймана-Пірсона:

– замість вимоги мінімізації ймовірності  $P_n$  при фіксованих значеннях ймовірності  $P_{ном}$  і відношення  $\gamma$  тут ставиться вимога мінімізації величини  $\gamma$  при фіксованих значеннях ймовірностей  $P_n$  і  $P_{ном}$ ;

– вимоги критерія сформульовані стосовно будь-якої завади, а не будь-якої конкретної.

#### 4. Результати досліджень

Зрозуміло, що при множині завад встановити єдину для всіх завад область прийняття рішення неможливо. Але це можна зробити, встановивши поріг, при перевищенні відношення правдоподібності якого приймається рішення про приймання сигналу [6, 7]. Що стосується імпульсних сигналів, то їх адаптацію до завади встановити набагато легше.

Наприклад:

$$v_3 \equiv 0; v_1 = "1"; v_0 = "0",$$

де сигнали дискретних символів  $v_1$  і  $v_0$  мають однакову вагу і рівноімовірні.

Для цього випадку, який можна трактувати як розпізнавання часткових сигналів (символів), припустимі однакові допустимі значення ймовірностей помилкового приймання  $P_{ном,1}$  і  $P_{ном,0}$  символів  $v_1$  і  $v_0$ :

$$P_{ном,1 доп} = P_{ном,0 доп} = P_{ном,c доп} = const.$$

Тоді допустиме значення  $\tilde{P}_{ном,c доп}$  ймовірності помилкового приймання одного часткового символу дорівнює:

$$\tilde{P}_{ном,c доп} = P_{ном,1 доп} + P_{ном,0 доп} = 2P_{ном,c доп} = const.$$

При однаковій мінімізації ймовірностей нерозпізнання  $P_{нр,1}$  і  $P_{нр,0}$  символів  $v_1$  і  $v_0$ :

$$P_{нр,1} = P_{нр,0} = P_{нр,c} \Rightarrow \min.$$

Об'єднуючи два останніх рівняння, отримуємо вимогу для узагальненого критерія Неймана-Пірсона стосовно часткової системи розпізнавання символів (бітів "0" і "1") цифрового сигналу:

$$P_{ном,c доп} = const,$$

$$P_{нр,c} \Rightarrow \min. \tag{2}$$

Можна ввести функцію:

$$P_{нр,c} = f(\gamma_c; P_{ном,c}),$$

яка також є спадаючою від  $P_{ном,c}$ . Звідси отримуємо функцію:

$$\gamma_c = \Psi_c(P_{нр,c}; P_{ном,c}),$$

що дає порогове значення  $\gamma_c$ , достатнє для забезпечення даного значення  $P_{нр,c}$  при значенні  $P_{нр,c доп}$ .

При вимозі мінімізації  $\gamma_c = \Psi_c$ , що еквівалентно вимозі (2), отримуємо:

$$P_{ном,c доп} = const,$$

$$\gamma_c = \Psi_c(P_{нр,c}; P_{ном,c}) \rightarrow \min.$$

Отже, приймання символів цифрового сигналу згідно критерія Неймана-Пірсона по всій множині можливих завад забезпечується, коли:

– імовірність помилкового приймання кожного з символів заздалегідь дорівнює вибраному допустимому значенню, однаковому для обох символів;

– можлива така мінімізація відношення потужностей сигналу і завади, яка забезпечує допустиме значення імовірностей нерозпізнання символу цифрового сигналу.

Нерозпізнання символів цифрового сигналу можливо в двох випадках:

– переданий символ не виявлений, оскільки внаслідок дії завади він є нижче порогу виявлення. Його імовірність складає  $P_{n,c}$  ;

– переданий символ є вище порогу виявлення, але під дією завади трансформувалася в інший символ причому такого рівня, що рішення приймається на користь помилково сформованого символу. Позначимо імовірність такої трансформації символів  $P_{mp,c}$  .

Через те, що ці випадки несумісні, то:

$$P_{np,c} = P_{n,c} + P_{mp,c} .$$

Якщо приймається цифровий сигнал з  $m$  символами, тобто кодований сигнал, то

$$P_{ном,и} (i = 1, 2, \dots, m) = \tilde{P}_{ном,и} = const ,$$

$$\tilde{P}_{ном,и} = \tilde{P}_{ном,c}^{доп} .$$

При прийманні  $\mu$  фрагментів кодової послідовності з  $m$  символами кожної отримуємо:

$$P_{ном \Sigma} = \sum_{i=1}^{\mu} P_{ном,ci} = \mu \tilde{P}_{ном} ,$$

$$P_{ном \Sigma}^{доп} = \mu \tilde{P}_{ном,и}^{доп} = \mu P_{ном,c}^{доп} = const .$$

Звідси імовірність нерозпізнання кодового сигналу складає:

$$P_{np,i} (i = 1, 2, \dots, m) = 1 - (1 - P_{np,ci})^m .$$

Якщо поставити вимогу мінімізації імовірності нерозпізнання сигналу в цілому і звести її до вимоги:

$$P_{np,ci} = P_{nc,c} ,$$

то тоді вимога мінімізації імовірності нерозпізнання запишеться як:

$$\begin{aligned} P_{np,i} (i = 1, 2, \dots, m) &= \\ &= P_{np} = 1 - (1 - P_{nc,c})^m \Rightarrow \min . \end{aligned} \quad (3)$$

Очевидно, що нерозпізнання кодової послідовності буде мати місце при будь-якій з наступних подій:

– не виявлений хоча б один символ переданого сигналу, внаслідок чого сигнал в цілому не виявлений. Імовірність такої події  $P_{n,и}$  ;

– хоча б один з символів переданого сигналу трансформувалася в протилежний. Імовірність цієї події  $P_{n,mp,и}$  ;

– частина символів окремих фрагментів кодової послідовності трансформувалась таким чином, що

сигнал в цілому трансформувалася в вірний. Імовірність такої події  $P_{mp}$ .

Тоді:

$$P_{np} = P_{n,и} + P_{n,mp,и} + P_{mp} = P_n + P_{mp} .$$

По аналогії з вище викладеним:

$$P_{np} = f(P_{ном \Sigma}; \gamma_{и}) ,$$

звідки отримуємо порогове значення  $\gamma_{и}$  :

$$\gamma_{и} = \Psi_{и} (P_{np}; P_{ном \Sigma}) ,$$

яке забезпечує дане значення  $P_{np}$  при даному значенні  $P_{ном \Sigma}$  .

Отже, замість (3) отримуємо вимогу мінімізації:

$$\gamma_{и} = \Psi_{и} (P_{np}; P_{ном \Sigma}) \Rightarrow \min$$

при

$$P_{ном \Sigma}^{доп} = \mu \tilde{P}_{ном,и}^{доп} = const .$$

Це означає, що розпізнавання кодового сигналу по критерію Неймана-Пірсона по всій множині можливих завад забезпечується коли:

– імовірність помилкового приймання цифрового сигналу дорівнює заздалегідь вибраному допустимому значенню;

– мінімізація відношення потужностей сигналу до завади достатня для забезпечення допустимого значення імовірності нерозпізнання сигналу.

## 5. Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено:

– модифікований критерій Неймана-Пірсона для розпізнання цифрових сигналів реалізується, якщо він реалізується для часткових символів. Останнє, як було показано вище, виконується;

– критерій завадостійкості Неймана-Пірсона на відміну від критеріїв Котельникова і середнього ризику може бути легко практично реалізований для неперервних і дискретних сигналів за заздалегідь вибраному допустимому значенню їх помилкового приймання.

## Література

1. Финк, Л. М. Теория передачи дискретных сообщений [Текст] / Л. М. Финк. – М.: Сов. радио, 1970. – 728 с.
2. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст] / Б. Р. Левин. – М.: Сов. радио, 1986. – 889 с.
3. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст] / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1984. – 750 с.
4. Гатев, Г. Обработка данных и построение динамических моделей [Текст] / Г. Гатев, Н. Маджаров, С. Марков // Автометрия. – 1975. – № 2. – С. 3–16.

5. Неруйнівний контроль і технічна діагностика [Текст] / під ред. З. Т. Назарчука. – Л.: ФМІ НАН України, 2001. – 1134 с.

6. Райбман, Н. С. Идентификация объектов управления [Текст] / Н. С. Райбман. – М.: Машиностроение, 1986. – 341 с.

7. Аоки, М. Оптимизация стохастических систем [Текст] / М. Аоки. – М.: Наука, 1981. – 202 с.

#### References

1. Fink, L. M. (1970). Theory of transmission of discrete messages. Moscow: Sov. radio, 728.

2. Levin, B. R. (1986). Theoretical Foundations of Statistical Radio Engineering. Moscow: Sov. radio, 889.

3. Bessonov, L. A. (1984). Theoretical Foundations of Electrical Engineering. Moscow: High school, 750.

4. Hatev, H., Madzarov, N., Markov, S. (1975). Data processing and construction of dynamic models. Avtometriya, 2, 3–16.

5. Nazarchuk, Z. T. (Ed.) (2001). Non-destructive testing and technical diagnostics. Lviv: PMI NAS of Ukraine, 1134.

6. Raibman, N. S. (1986). Identification of control objects. Moscow: Machine building, 341.

7. Aoki, M. (1981). Optimization of Stochastic Systems. Moscow: Science, 202.

*Дата надходження рукопису 23.12.2015*

**Заміховський Леонід Михайлович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019  
E-mail: leozam@ukr.net

**Маслов Ігор Вадимович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019  
E-mail: ihor.maslov@gmail.com

УДК 004.925

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58765

## МЕТОДИКА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ GOOGLE ANALYTICS

© И. Н. Егорова, О. Н. Кадушкевич

*Проведено исследование современных инструментов Google Analytics, определены эффективные каналы привлечения пользователей и выявлены «узкие» места. Предложена методика эффективного использования инструментов Google Analytics, основанная на анализе основных показателей трафика, а также глубоком анализе целей и их последующей настройке. Методика позволяет повысить конверсию сайта и может быть полезна для специалистов в области поисковой оптимизации и web-аналитики*

**Ключевые слова:** методика, конверсия, сайт, поисковая оптимизация, трафик, web-аналитика, цель, источник

*Modern Google Analytics tools have been investigated against effective attraction channels for users and bottlenecks detection. Conducted investigation allowed to suggest modern method for effective usage of Google Analytics tools. The method is based on main traffic indicators analysis, as well as deep analysis of goals and their consecutive tweaking. Method allows to increase website conversion and might be useful for SEO and Web analytics specialists*

**Keywords:** method, conversion, website, search optimization, web analytics, goal, source, traffic

### 1. Введение

Наряду со стремительным ростом объемов данных, циркулирующих в Сети, значительно усложняется анализ и мониторинг web-ресурсов. В настоящее время главным инструментом мониторинга является веб-аналитика – мощное средство сбора, измерения, отслеживания и анализа количественных данных Интернета с целью оптимизации web-сайтов. Рост популярности инструментов веб-аналитики объясняется их доступностью, простотой использования и эффективностью.

Целью работы является эффективное использование инструментов, предоставляемых Google Analytics, для повышения конверсии сайтов. Конверсия позволяет оценить целевую аудиторию сайта и

рассматривается в работе в качестве показателя эффективности работы сайта.

В работе осуществлено исследование инструментов Google Analytics, проведен анализ алгоритма их использования и разработана эффективная методика повышения конверсии сайта.

Таким образом, определение целей, анализ типов конверсий и разработка методики повышения эффективности сайта, представляется задачей актуальной.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Конверсия – это важный параметр, характеризующий отношение посетителей сайта, которые вы-