

УДК 004.05

DOI: 10.26102/2310-6018/2019.26.3.002

А.А. Гавришев  
**ОБОБЩЕННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СРАВНЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНОК ЗАЩИЩЕННОСТИ  
БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**  
ФГАОУ ВО «СКФУ», Ставрополь, Россия

*В данной работе автором для целей сравнительного анализа точности количественных методов оценки защищенности беспроводных систем безопасности, разработан обобщенный вычислительный метод сравнения точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности на примере охранно-пожарных сигнализаций. Для этого описаны известные оценки защищенности беспроводных систем безопасности. Приведены численные показатели оценок защищенности известных технологий защиты радиоканала охранно-пожарных сигнализаций от несанкционированного двумя оценками защищенности. Показаны известные подходы сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности, указаны их недостатки. В качестве перспективного подхода сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности, свободного от недостатков известных подходов, указан аппарат математической статистики. Показано применение аппарата математической статистики к сравнительному анализу точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности. Описан разработанный обобщенный вычислительный метод сравнения точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности, основанный на аппарате математической статистики. Указаны его преимущества над известными методами, а так же его ограничения. Даны рекомендации по его применению к вопросам сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности. Так же указано, что разработанный вычислительный метод является обобщенным – его потенциально возможно применять для сравнительной оценки однотипных количественных оценок защищенности широкого класса беспроводных систем безопасности для целей определения, какая из оценок защищенности обладает большей точностью оценки защищенности.*

**Ключевые слова:** оценка защищенности, радиоканал, системы безопасности, вычислительный метод, математическая статистика.

**Введение.** Одним из самых важных вопросов вычислительной математики является понятие точности [1, 2]. В вопросах защиты информации и информационной безопасности данное понятие так же имеет важное значение, например в таком актуальном направлении [3], как в вопросах оценки защищенности различных методов, способов, устройств обеспечения защиты информации и информационной безопасности. Вместе с тем известно [3, 4], что оценку защищенности одного и того же метода, способа или устройства обеспечения защиты информации и информационной безопасности можно провести разными методами оценки защищенности. В данных обстоятельствах важным является оценка

точности одного метода оценки защищенности над другим для целей их сравнительного анализа [4, 5], особенно в условиях слабоструктурированности и трудноформализуемости процесса оценки защищенности [5-7]. В данной статье автор хочет обратиться к вопросу сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности на примере охранно-пожарных сигнализаций (ОПС).

Целью данной статьи является сравнительный анализ точности количественных методов оценки защищенности беспроводных систем безопасности.

Задачей данной статьи является разработка обобщенного вычислительного метода сравнения точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности на примере охранно-пожарных сигнализаций.

**Материалы и методы.** В настоящее время идет активное развитие различных беспроводных систем безопасности. Одним из важных вопросов при этом является оценка защищенности беспроводных систем безопасности от различных преднамеренных угроз. В настоящее время этот вопрос является достаточно сложноформализуемым и трудоемким [5-7]. Одними из самых известных беспроводных систем безопасности являются беспроводные ОПС. Одним из важных вопросов при их использовании является оценка защищенности передаваемых по беспроводным каналам связи тревожных и служебных команд от несанкционированного доступа. Анализ известных оценок защищенности беспроводных ОПС проведен в работах [4-7].

В настоящее время в качестве базовой методики оценки защищенности систем передачи информации (СПИ) охранной (охранно-пожарной) сигнализации, в том числе и по беспроводным каналам связи, является качественная методика, предложенная в руководящем документе «ГОСТ Р 52435-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства охранной сигнализации. Классификация. Общие технические требования и методы испытаний». Среди очевидных недостатков данной методики оценки защищенности следует выделить отсутствие количественных показателей защищенности [4]. Данный недостаток не позволяет построить ранжированный список технологий защиты радиоканала ОПС, так же не представляется возможным произвести сравнительный анализ с другими методиками оценки защищенности беспроводных ОПС.

Обобщенный анализ различных методик оценки защищенности, проведенный в работах [5-7], показывает, что в настоящее время для количественной оценки защищенности беспроводных ОПС при передаче информации по беспроводным каналам связи подходит аппарат нечеткой

логики (НЛ). Среди известных оценок защищенности беспроводных систем безопасности в настоящее время следует выделить методику оценки защищенности на основе нечеткой логики, представленную в работе [6], а так же методику оценки защищенности, основанную на использовании матрицы нечетких правил (МНП) [8]. Более подробно с данными методиками оценки защищенности можно ознакомиться в работах [6, 8].

На основе вышеперечисленных методик оценки защищенности [6, 8], в Таблице 1 приведены количественные и качественные показатели оценки защищенности для 15 различных технологий защиты радиоканала ОПС от комплексных угроз (просмотр, подмена, перехват, радиоэлектронное подавление) [4]. Ниже будем использовать следующие сокращения «Н» – низкий, «С» – средний, «В» – высокий. В соответствии с [7], названия технологий защиты радиоканала ОПС будут обозначаться литерой «Т» с цифровым обозначением, причем технология под литерой «Т4» в расчет браться не будет из-за ее незначительного вклада в количественную оценку защищенности. Заметим, что в качестве технологий защиты радиоканала используются криптографические методы защиты (КМЗ) [7], а также технологии на основе шумоподобных сигналов (ШПС) [7]. Более подробное описание данных технологий защиты радиоканала ОПС, в силу их многочисленности, приведено в работе [7], причем каждому номеру технологии (литера «Т» с цифровым обозначением) соответствует конкретная ссылка в источнике литературы.

Как видно из Таблицы 1, оценки защищенности по качественному показателю являются идентичными, а по количественному показателю находятся приблизительно в одном диапазоне.

Таблица 1 – Оценка защищенности беспроводных ОПС

№	Первый автор	Название метода защиты	Оценка на основе нечеткой логики		Оценка на основе МНП	
			колич.	кач.	колич.	кач.
T16	Осипов Д.Л.	ШПС	0,6800	В	0,5834	В
T15	Руднев А.Н.	ШПС	0,6400	В	0,5834	В
T14	Гарбацевич В.А.	ШПС	0,6175	В	0,5834	В
T5	Косарев С.А.	ШПС	0,6000	В	0,5834	В
T7	Partyka А.	ШПС	0,5325	С	0,4167	С
T12	Алиев Э.А.	ШПС	0,5050	С	0,4167	С
T8	Грибок В.П.	ШПС	0,4900	С	0,4167	С
T11	Василевский В.В.	ШПС	0,4600	С	0,4167	С
T13	Леньшин В.П.	ШПС	0,4600	С	0,4167	С
T6	Молдаванов А.В.	ШПС	0,4150	С	0,4167	С
T9	Федяев С.Л.	ШПС	0,4150	С	0,4167	С
T10	Герасимчук А.Н.	ШПС	0,3700	Н	0,2500	Н
T1	Антонюк О.І.	КМЗ	0,3700	Н	0,2500	Н
T3	Скуратов В.В.	КМЗ	0,3700	Н	0,2500	Н

T2	Рунов Ю.А.	КМЗ	0,3700	Н	0,2500	Н
----	------------	-----	--------	---	--------	---

Далее установим, обладают ли выборки, представляющие собой оценки защищенности беспроводных ОПС (Таблица 1), репрезентативностью [5]. Это является необходимым условием для дальнейшей корректной статистической обработки полученных данных [5]. Расчеты по алгоритму определения однородной генеральной совокупности по ограниченным выборочным данным, предложенному А.И. Уразбахтиным и И.Г. Уразбахтиным, показывают, что исследуемые выборки, представляющие собой оценки защищенности ОПС (Таблица 1), обладают однородной репрезентативностью и для них можно вычислить параметр  $P_{sc}$  однородной генеральной совокупности [5]. Таким образом, данные выборки (Таблица 1) потенциально пригодны для статистической обработки. При этом, по мнению автора, среди объективных ограничений для статистической обработки указанных данных (Таблица 1) следует отметить слабоструктурированность и трудноформализуемость процесса оценки защищенности [5].

После установления того факта, что рассматриваемые оценки защищенности обладают свойствами репрезентативности, обратимся к известным методам сравнительной оценки точности [4]. Одним из таких показателей является средняя ошибка аппроксимации (*MAPE*) [4]. Средняя ошибка аппроксимации (*MAPE*) характеризует величину, на которую теоретические (приближенные) значения отклоняются от фактических (опорных) значений [4]. В Таблице 2 приведены расчеты показателя *MAPE* для количественных оценок из Таблицы 1, причем в одном случае в качестве фактического (опорного) метода оценки защищенности выбрана методика оценки защищенности на основе нечеткой логики [6], а в другом – методика оценки защищенности на основе МНП [8].

Таблица 2 – Расчет показателя *MAPE*

Название показателя	Значение показателя (опорный метод оценки – НЛ)	Значение показателя (опорный метод оценки – МНП)
<i>MAPE</i>	15 %	19 %

Полученные значения показателя *MAPE* (Таблица 2) свидетельствуют о высокой точности (значения показателя *MAPE* меньше 20 %) приближенной оценки защищенности ОПС (методика оценки защищенности на основе матрицы нечетких правил) по сравнению с фактической (опорной) оценкой защищенности (методика оценки защищенности на основе нечеткой логики) и наоборот [4]. Отсюда следует, что полученные средние ошибки аппроксимации *MAPE* (Таблица 2) следует рассматривать с позиции оценки заданной точности [4]: одна методика оценки защищенности точнее другой методики оценки защищенности (и

наоборот) на 15 % (19 %). Однако, как следует из полученных расчетов, одним из недостатков показателя *MAPE* является необходимость определить фактический (опорный) метод оценки защищенности, а так же приближенный метод оценки защищенности [4]. С учетом того, что рассматриваемые оценки защищенности являются вероятностными, данная задача может быть достаточно сложной. В то же время, как видно из Таблицы 2, разброс значений оценки точности может быть достаточно существенным.

Другим распространенным показателем оценки точности оценок защищенности является коэффициент детерминации  $R^2$  [4]. Он применяется для оценки качества математических моделей, как показатель разброса экспериментальных (фактических) значений по отношению к расчетным (приближенным) [4]. В соответствии с проведенными расчетами, значение  $R^2$  в процентном выражении равно 88 %. Лимитом точности моделирования считается значение выше 71-75 %. Отсюда следует, что полученные оценки защищенности являются достаточно близкими [4]. Вместе с тем, коэффициент детерминации  $R^2$  явным образом не указывает, какая оценка защищенности является более точной. Данное обстоятельство можно отметить в качестве достаточно большого недостатка.

Таким образом, из приведенных расчетов видно, что исследования в области оценки точности одного метода оценки защищенности беспроводных систем безопасности над другим для целей их сравнительного анализа требуют усовершенствования и разработки новых подходов для решения данной задачи.

**Разработка обобщенного вычислительного метода сравнения точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности.** В настоящее время перспективным подходом для сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности выглядит аппарат математической статистики [5]. Так в работе [5] проводится сравнительный анализ точности количественных оценок защищенности беспроводных ОПС (Таблица 1) на основе математической статистики с помощью статистических тестов. При этом существуют некоторые ограничения на использование того или иного статистического теста. Для количественных оценок защищенности следует учитывать следующие ограничения [5]: в силу отсутствия нормального закона распределения рассматриваемых данных, будут использоваться непараметрические тесты; малая выборка; выборки будут зависимыми (связанными), так как в рассматриваемом случае одна и та же группа объектов порождает числовой материал. В качестве статистических тестов используется распространенный непараметрический тест – критерий знаков [5]. Более подробно с его математическим описанием, а так же с описанием других известных непараметрических тестов можно ознакомиться в работе

[5] и списках литературы к ней. В Таблице 3 приведены полученные результаты вычислений для данных выборок из Таблицы 1 по критерию знаков.

Таблица 3 – Результаты вычислений по критерию знаков

Обозначение переменных	No. of Non-ties	Percent $v < V$	Z	p-level
Var1 & Var2	15	13,33333	2,581989	0,009823

На Рисунке 1 предоставлен график (диаграмма «ящик и усы»), показывающий средние значения и доверительные интервалы выборочных средних (при четырех угрозах), причем обозначение «Var1» – методика на основе нечеткой логики, а обозначение «Var2» – методика на основе МНП. Как следует из Рисунка 1, средние и доверительные интервалы выборочных средних находятся близко друг к другу. Однако, переменная «Var1» находится несколько выше, чем переменная «Var2», что можно трактовать как более высокую количественную оценку защищенности [5].

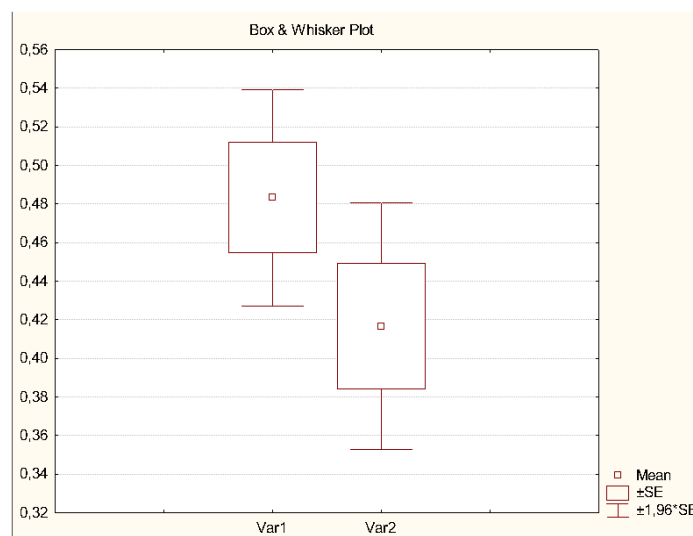


Рисунок 1 – Графическое представление значений выборок оценок защищенности ОПС на основе нечеткой логики и МНП по критерию знаков

В Таблице 4 приведены численные значения средних и доверительных интервалов выборочных средних («верхний ус» и «нижний ус») с Рисунка 1, так же подтверждающие сказанное.

Таблица 4 – Значения средних и доверительных интервалов выборочных средних

Название	Критерий знаков, значение	
	НЛ	МНП
Средние	0,48	0,42
Граница «нижний ус»	0,43	0,35
Граница «верхний ус»	0,54	0,48

Разработаем на основе данного подхода обобщенный вычислительный метод сравнения точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности. Данный вычислительный метод будет состоять из следующих шагов:

- 1) получение выборок однотипных количественных оценок защищенности  $P_i = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ,  $n \geq 2$ ,  $P_i \in [0, 1]$ ;
- 2) определение, обладают ли рассматриваемые выборки  $P_i = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  репрезентативностью;
- 3) если обладают, то переход к следующему пункту, если нет, то завершение работы вычислительного метода;
- 4) применение к репрезентативным выборкам, представленным количественными оценками защищенности, непараметрических тестов;
- 5) расчет доверительных интервалов и выборочных средних для каждой выборки  $P_i = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ;
- 6) построение графических диаграмм «ящик и усы» для каждой выборки  $P_i = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ;
- 7) определение, какая из методик оценки защищенности обладает большей точностью оценки защищенности;

Разработанный вычислительный метод является обобщенным – его потенциально возможно применять для сравнения точности однотипных количественных оценок защищенности широкого класса беспроводных систем безопасности для целей определения, какая из оценок защищенности обладает большей точностью оценки защищенности. В отличие от средней ошибки аппроксимации *MAPE*, в данном случае нет необходимости определять, какая из оценок защищенности является фактической (опорной), а какая приближенной. Преимуществом же над коэффициентом детерминации  $R^2$ , является то, что предложенный вычислительный метод явным образом указывает, какая оценка защищенности является более точной. Среди ограничений данного подхода следует отметить следующие: необходимо, чтобы рассматриваемые оценки защищенности были количественными и однотипными; необходимо, чтобы было использовано для количественной оценки защищенности минимум две методики оценки защищенности; необходимо, чтобы рассматриваемые оценки защищенности обладали свойствами репрезентативности; необходимо, чтобы были учтены известные ограничения для применяемых статистических тестов (закон распределения выборок, размер выборок, зависимость или независимость выборок и т.д.).

**Заключение.** Таким образом, в данной работе автором описаны известные оценки защищенности беспроводных систем безопасности. Указано, что в условиях слабоструктурированности и трудноформализуемости процесса оценки защищенности, для целей оценки

защищенности беспроводных систем безопасности подходит нечеткая логика [5]. Приведены численные показатели оценок защищенности известных технологий защиты радиоканала ОПС, как одной из самых известных беспроводных систем безопасности. Показано, что по качественному показателю полученные оценки защищенности являются идентичными, а по количественному показателю – находятся приблизительно в одном диапазоне [4]. Установлено, что полученные оценки защищенности обладают свойствами репрезентативности и потенциально пригодны для статистической обработки [5]. Показаны известные подходы сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности, указаны их недостатки. В качестве перспективного подхода сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности, свободного от указанных недостатков известных подходов, указан аппарат математической статистики [5]. Показано применение аппарата математической статистики к сравнительному анализу точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности на примере ОПС. На основе данного подхода разработан обобщенный вычислительный метод сравнения точности количественных оценок защищенности беспроводных систем безопасности на примере охранно-пожарных сигнализаций. Указаны его преимущества над известными методами, а так же его ограничения. Даны рекомендации по его применению к вопросам сравнительного анализа точности количественных оценок защищенности. Так же указано, что разработанный вычислительный метод является обобщенным – его потенциально возможно применять для сравнительной оценки однотипных количественных оценок защищенности широкого класса беспроводных систем безопасности для целей определения, какая из оценок защищенности обладает большей точностью оценки защищенности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Житников В.П. Оценка достоверности численных результатов при наличии нескольких методов решения задачи / В.П. Житников, Н.М. Шерыхалина // Вычислительные технологии. 1999. Т. 4. № 6. С. 77-87.
2. Корячко В.П. Теоретические основы САПР: учеб. для вузов / В.П. Корячко, В.М. Курейчик, И.П. Норенков. М.: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
3. Полянский Д.А. Оценка защищенности / Д.А. Полянский. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005. 80 с.
4. Жук А.П. Методика оценки защищенности беспроводной сигнализации с повышенной точностью / А.П. Жук, А.А. Гавришев // Инфокоммуникационные технологии. 2018. Т. 16. № 1. С.116-122.



5. Гавришев А.А. Сравнительный анализ методик оценки защищенности беспроводных охранно-пожарных сигнализаций / А.А. Гавришев, А.П. Жук, Д.Л. Осипов // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 2 (74). С. 98-108.
6. Гавришев А.А. Оценка защищенности беспроводной сигнализации от несанкционированного доступа на основе понятий нечеткой логики / А.А. Гавришев, В.А. Бурмистров, Д.Л. Осипов // Прикладная информатика. 2015. Т. 10. № 4(58). С. 62–69.
7. Гавришев А.А. Анализ технологий защиты радиоканала охранно-пожарных сигнализаций от несанкционированного доступа / А.А. Гавришев, А.П. Жук, Д.Л. Осипов // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 4 (47). С. 28–45.
8. Жук А.П. Оценка защищённости беспроводной сигнализации от несанкционированного доступа на основе матрицы нечётких правил / А.П. Жук, А.А. Гавришев, Д.Л. Осипов // Математические структуры и моделирование. 2016. № 1(37). С. 112-120.

A.A. Gavrishv

**GENERALIZED COMPUTATIONAL METHOD TO COMPARE  
THE ACCURACY OF QUANTITATIVE ESTIMATES OF SECURITY  
OF WIRELESS SECURITY SYSTEMS**

*FSAEI HE "NCFU", Stavropol, Russia*

*In this paper, the author for the purposes of comparative analysis of the accuracy of quantitative methods for assessing the security of wireless security systems, developed a generalized computational method for comparing the accuracy of quantitative assessments of the security of wireless security systems on the example of fire alarm systems. For this purpose, the known security assessments of wireless security systems are described. The numerical indicators of security assessments of the known technologies of protection of the radio channel of fire alarm systems from unauthorized by two security assessments are presented. The known approaches of the comparative analysis of the accuracy of quantitative estimates of protection are shown, their shortcomings are specified. As a perspective approach of the comparative analysis of the accuracy of quantitative estimates of security, free from the shortcomings of known approaches, the apparatus of mathematical statistics is indicated. The application of mathematical statistics to the comparative analysis of the accuracy of quantitative estimates of security of wireless security systems is shown. The developed generalized computational method of comparison of the accuracy of quantitative estimates of security of wireless security systems is described. Its advantages over known methods, as well as its limitations are indicated. Recommendations on its application to the comparative analysis of the accuracy of quantitative security assessments are given. It is also indicated that the developed computational method is generalized – its potential can be used for comparative evaluation of the same type of quantitative security assessments of a wide class of wireless security systems for the purposes of determining which of the security assessments has greater accuracy of security.*

**Keywords:** security assessment, radio channel, security systems, computational method, mathematical statistics.

## REFERENCES

1. Zhitnikov V.P. Ocenka dostovernosti chislennykh rezul'tatov pri nalichii neskol'kih metodov resheniya zadachi / V.P. Zhitnikov, N.M. Sheryhalina. Vychislitel'nye tekhnologii. 1999. v. 4. no. 6. pp. 77-87 (In Russian).
2. Koryachko V.P. Teoreticheskie osnovy SAPR: ucheb. dlya vuzov / V.P. Koryachko, V.M. Kurejchik, I.P. Norenkov. M.: Energoatomizdat Publ., 1987. 400 p. (in Russian).
3. Polyanskij D.A. Ocenka zashchishchennosti / D.A. Polyanskij. Vladimir: Vladim. gos. un-ta Publ., 2005. 80 p. (In Russian).
4. Zhuk A.P. Metodika ocenki zashchishchennosti besprovodnoj signalizacii s povyshennoj tochnost'yu / A.P. Zhuk, A.A. Gavrishchev. Infokommunikacionnye tekhnologii. 2018. v. 16. no 1. pp.116-122. (In Russian).
5. Gavrishchev A.A. Sravnitel'nyj analiz metodik ocenki zashchishchennosti besprovodnykh ohranno-pozharnykh signalizacij / A.A. Gavrishchev, A.P. Zhuk, D.L. Osipov. Prikladnaya informatika. 2018. v. 13. no 2 (74). pp. 98-108 (in Russian).
6. Gavrishchev A.A. Ocenka zashchishchennosti besprovodnoj signalizacii ot nesankcionirovannogo dostupa na osnove ponyatij nechetkoj logiki / A.A. Gavrishchev, V.A. Burmistrov, D.L. Osipov. Prikladnaya informatika. 2015. v. 10. no. 4(58). pp. 62–69 (In Russian).
7. Gavrishchev A.A. Analiz tekhnologij zashchity radiokanala ohranno-pozharnykh signalizacij ot nesankcionirovannogo dostupa / A.A. Gavrishchev, A.P. Zhuk, D.L. Osipov. Trudy SPIIRAN. 2016. no. 4 (47). pp. 28–45 (In Russian).
8. Zhuk A.P. Ocenka zashchishchyonnosti besprovodnoj signalizacii ot nesankcionirovannogo dostupa na osnove matricy nechyotkih pravil / A.P. Zhuk, A.A. Gavrishchev, D.L. Osipov. Matematicheskie struktury i modelirovanie. 2016. no. 1(37). pp. 112-120 (In Russian).