

## Безопасность в чрезвычайных ситуациях (05.26.02, технические науки)

УДК 614.8: 654.078

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.18.3.008

### Применение КС-энтропии для количественного анализа систем связи гражданской обороны

*Гавришев А.А.*

*ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет*

#### **Аннотация:**

Проведен экспериментальный анализ систем связи гражданской обороны с помощью нижней границы КС-энтропии, которая рассматривается в качестве аналога структурной скрытности передаваемых сигналов. Среди анализируемых моделей систем связи наибольшей нижней границей КС-энтропии, и соответственно наибольшей структурной скрытностью, обладают модели систем связи на основе хаотических сигналов. Наименьшей нижней границей КС-энтропии, и соответственно наименьшей структурной скрытностью, обладает модель системы связи с простыми сигналами. Модель системы связи с широкополосными сигналами имеет нижнюю границу КС-энтропии, и соответственно структурную скрытность, значительно большую, чем модель системы связи с простыми сигналами, но меньшую, чем модель системы связи на основе хаотических сигналов. Установлено, что системы связи на основе хаотических сигналов в целом являются более предпочтительными по критерию скрытности для систем связи гражданской обороны и потенциально могут найти более широкое применение в них.

**Ключевые слова:** гражданская оборона, системы связи, скрытность, КС-энтропия

### Application of KS-entropy for quantitative analysis of civil defense communication systems

*Gavrishev A.A.*

*North-Caucasus Federal University*

#### **Abstract:**

An experimental analysis of civil defense communication systems using the lower bound of KS-entropy, which is considered as an analog of the structural stealth of transmitted signals, is performed. Among the analyzed models of communication systems, models of communication systems based on chaotic signals have the highest lower bound of KS-entropy and, accordingly, the highest structural stealth. The model of a communication system with simple signals has the lowest lower bound of the KS-entropy and, accordingly, the lowest structural stealth. Model communication systems with noise-like signals has a lower bound of KS-entropy, and, correspondingly, structural stealth, much greater than the model communication systems with simple signals but less than the model of the communication system based on chaotic signals. It is established that communication systems based on chaotic

signals are generally more preferable by the criterion of stealth for civil defense communication systems and can potentially find wider application in them

**Keywords:** civil defense, communications systems, stealth, KS-entropy

### Введение

Гражданская оборона РФ включает систему мероприятий по подготовке к защите и непосредственно защите населения, материальных и культурных ценностей на территории РФ от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, а также возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. С учетом таких общеизвестных факторов, как обширность территорий РФ, разные климатические условия, различная развитость инфраструктуры, неравномерность распределения населения на территории страны и т.д., остро стоит задача эффективного управления гражданской обороной и мероприятиями по защите от чрезвычайных ситуаций [1-7]. Решением указанной задачи является использование различных систем связи. Под связью гражданской обороны, в соответствии с [1; 4; 7], понимается передача и прием с требуемым качеством различных видов информации для управления гражданской обороной и мероприятиями по защите от чрезвычайных ситуаций. В настоящее время происходит активное внедрение в сферу гражданской обороны систем радиосвязи [1-7], которые обладают рядом достоинств: возможность установления связи с объектами, находящимися в движении на суше, в воздухе и в море; возможность установления связи с объектами, местоположение которых неизвестно, а также к которым затруднен или невозможен доступ; возможность передачи сигналов большому количеству абонентов и ряд других. Вместе с тем, к радиосвязи так же предъявляется ряд требований, важнейшими из которых являются [1-7]: пропускная способность, мобильность, защищенность, доступность и некоторые другие.

С учетом того факта [1-7], что радиосигнал может распространяться за пределами контролируемой зоны, потенциальные злоумышленники могут его перехватить, подменить или подавить и дестабилизировать работу системы связи гражданской обороны. Таким образом, вопросы обеспечения защищенности передаваемых радиосигналов систем связи гражданской обороны являются одними из первоочередных. В соответствии с [3; 8], одним из основных параметров, определяющих состояние защищенности системы связи, является скрытность передаваемых сигналов. Из литературы известно [3; 7; 8], что скрытность передачи информации достигается путем обеспечения энергетической скрытности сигналов-переносчиков информации, структурной скрытности передаваемых сигналов и информационной скрытности передаваемого сообщения. Энергетическая и структурная скрытность являются важнейшими характеристиками сигналов, применяемых в системах связи. В связи с этим в настоящее время, в соответствии с [1-8], для обеспечения скрытности передаваемых радиосигналов систем связи гражданской обороны наиболее активное применение нашли системы связи на основе простых сигналов, в которых используются криптографические методы защиты и на основе широкополосных сигналов, использующие линейные и нелинейные псевдослучайные последовательности (ПСП).

В указанных условиях возникает задача оценки скрытности сигналов, генерируемых различными системами связи. В качестве распространенных методов оценки скрытности возможно выделить оценку скрытности на основе сложности разгадывания структуры псевдослучайной последовательности [8], вероятную оценку скрытности [9], оценку, предложенную в «ГОСТ Р 52435-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства охранной сигнализации. Классификация. Общие технические требования и методы испытаний» и некоторые другие. В последние годы для исследования режимов работы и анализа свойств систем связи в процессе их совершенствования используют методы нелинейной динамики [10-13], а также программные продукты, построенные на их основе. В работе [10] авторами с помощью пакета программ ScicosLab было проведено экспериментальное моделирование распространенных систем связи и их экспериментальный анализ с помощью известных методов нелинейной динамики. В качестве систем связи были выбраны система связи с прямым расширением спектра, система связи на основе хаотической маскировкой, система связи на основе хаотической модуляции и некоторые другие. Дополнительно в работе [11] было проведено исследование системы связи с простыми сигналами, представленными синусоидой. С учетом того факта, что в настоящее время значительное развитие в системах связи гражданской обороны

получили системы связи с простыми сигналами и системы связи на основе широкополосных сигналов [1-7], в данной работе авторы хотят, с учетом работ [10; 11], провести экспериментальный анализ некоторых из данных систем связи с помощью других известных методов нелинейной динамики, а именно – широко известной КС-энтропии, которая относится к количественным методам.

Целью данной статьи является оценка нижней границы КС-энтропии  $K_2$  для количественного анализа свойств различных сигналов, генерируемых в системах связи гражданской обороны.

### Основная часть

Рассмотрим понятие КС-энтропии  $K$ , являющейся одной из самых важных мер хаотичности. В общем случае КС-энтропия  $K$  вычисляется как сумма всех положительных показателей Ляпунова  $\lambda_i$ , усредненная по некоторой области фазового пространства  $P$  с мерой  $d\mu$  на основе следующей формулы [14; 15]:

$$K \leq \int_P \sum_{\lambda_i > 0} \lambda_i d\mu$$

По определению [14-16], КС-энтропия  $K$  для детерминированных (регулярных) сигналов равняется 0, а для белого шума – она бесконечна. Вместе с тем, на практике вычисление КС-энтропии  $K$  является достаточно сложной задачей [14-16]. Поэтому исследователи часто обращаются к нижней границе КС-энтропии  $K_2$ , которая может быть вычислена с помощью корреляционной энтропии исследуемого временного ряда, основанной на корреляционном интеграле. Более подробно с описанием корреляционной энтропии и процессом ее вычисления можно ознакомиться в работах [14-16]. Использование нижней границы КС-энтропии  $K_2$  является приближенным методом оценки хаотичности, однако ее положительное значение может являться критерием наличия хаотичности.

Вместе с тем в ряде работ, например [17], нижняя граница КС-энтропии  $K_2$  используется в качестве аналога криптостойкости различных алгоритмов шифрования. Так же обратим внимание на работу [13], в которой значение максимального показателя Ляпунова  $\lambda_{\max}$  используется в качестве аналога структурной скрытности передаваемых сигналов. Исходя из этого, в данной работе нижнюю границу КС-энтропии  $K_2$  будем рассматривать в качестве аналога структурной скрытности передаваемых сигналов. Для вычисления нижней границы КС-энтропии  $K_2$  воспользуемся программой Fractan [14; 16]. Вместе с тем следует уточнить, что для вычисления нижней границы КС-энтропии  $K_2$  можно воспользоваться и другими программами, например описанными в работе [16], при этом полученные результаты могут различаться. Так авторы работы [16] утверждают, что программа Fractan дает несколько завышенные оценки нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , по сравнению с их программой. Для того, чтобы избежать путаницы в данной работе все вычисления будут проводиться в программе Fractan, а для сравнения полученных результатов будут использоваться результаты схожих вычислений [14, 16], сделанных так же в программе Fractan.

В качестве первой системы связи, нашедшей применение в области гражданской обороны, возьмем модель системы связи с простыми сигналами [11] и оценим ее свойства с помощью нижней границы КС-энтропии  $K_2$ . Простейшим примером простых сигналов является синусоида, которая относится к классу гармонических сигналов. На рис. 1 приведен пример временной диаграммы передаваемых в канале связи сигналов системы связи с простыми сигналами [11].

Для синусоиды, согласно проведенным расчетам, нижняя граница КС-энтропии  $K_2$  равняется 0, что указывает на регулярность исследуемого сигнала и соответственно на его низкую структурную скрытность. Полученные данные не противоречат известным исследованиям [10; 11; 13].

В качестве второй системы связи, нашедшей применение в области гражданской обороны, возьмем модель системы связи с прямым расширением спектра [10]. Более подробно о ней, о процессе ее моделирования и т.д. сказано в работе [10] и других источниках. На рис. 2 приведен пример временной диаграммы сигналов, передаваемых в канале связи системы связи с прямым расширением спектра [10], а на рис. 3 – значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  в зависимости от initial condition register для всех исследуемых выборок системы связи с прямым расширением спектра. Заметим, что в соответствии с [13], системы связи на основе широкополосных сигналов и их производных, в которых используются линейные и нелинейные ПСП, в общем случае обладают примерно одинаковыми свойствами. Исходя из этого, будем приводить по одной временной диаграмме, так как другие полученные диаграммы имеют схожий вид.

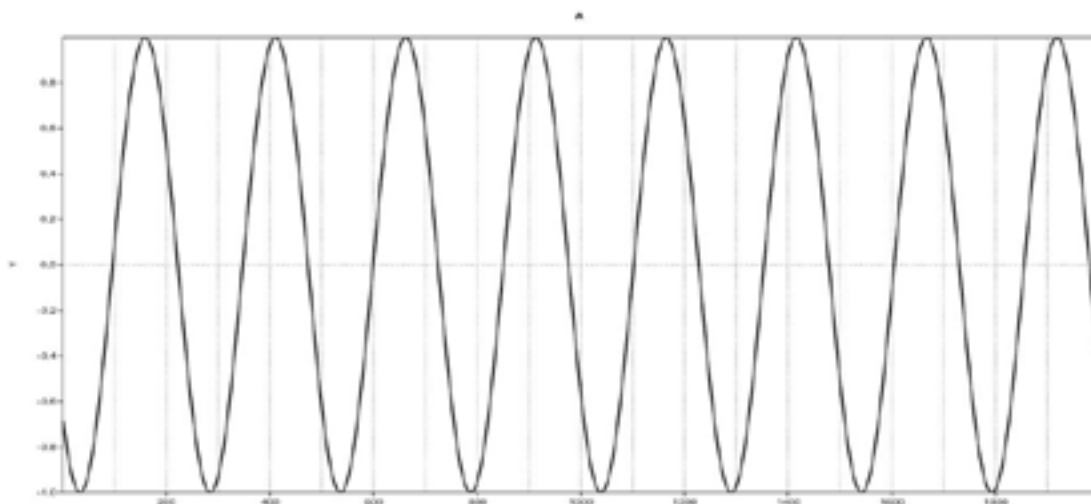


Рис. 1. Временная диаграмма сигнала, передаваемого в канале связи

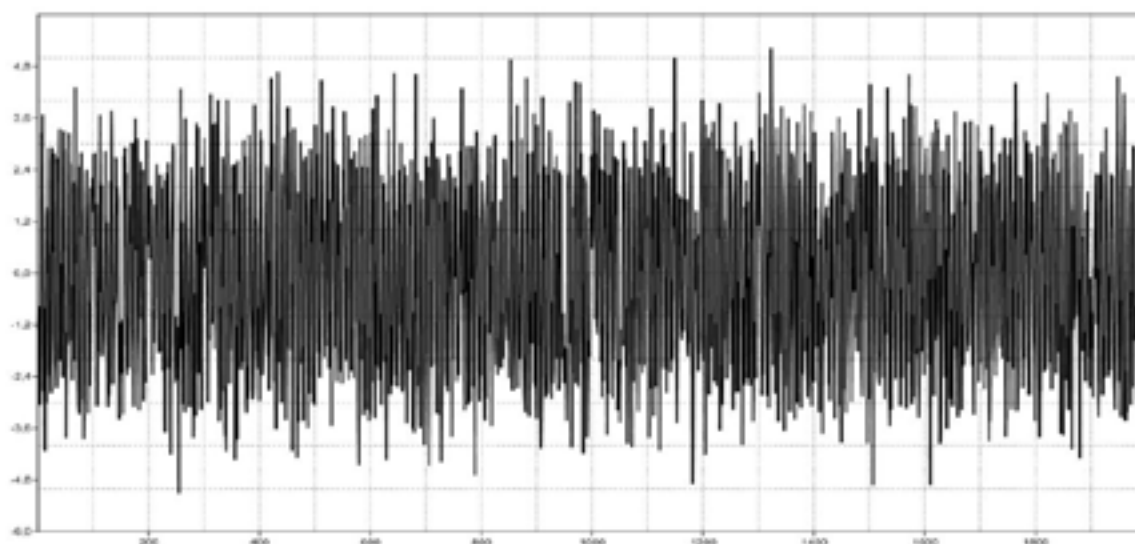


Рис. 2. Временная диаграмма сигнала, передаваемого в канале связи

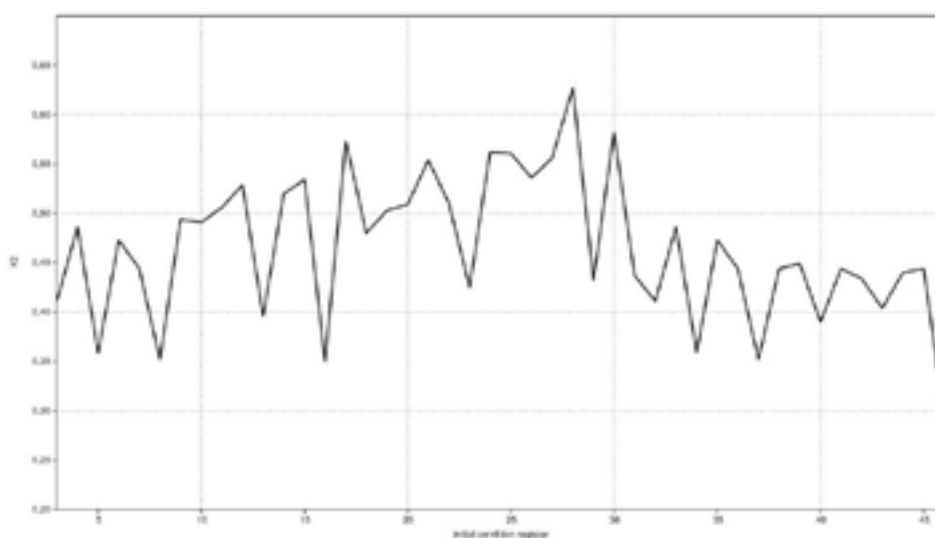


Рис. 3. Значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  в зависимости от initial condition register

Как видно из полученных показателей для сигналов системы связи с прямым расширением спектра, исследуемые сигналы обладают положительным значением нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , находящейся в диапазоне  $[0,37; 0,57]$ . Данное обстоятельство указывает на то, что сигналы, вырабатываемые системой связи с прямым расширением спектра, обладают свойствами хаотичности и соответственно обладают приемлемым значением структурной скрытности. Полученные расчеты согласуются с другими исследованиями в данной области – так в работе [16] исследуется хаотичность конгруэнтного генератора ПСП, относящегося к классу рекуррентных генераторов. Согласно приведенным в работе [16] расчетам в программе Fractan, значение нижней границы КС-энтропии  $K_2$  для конгруэнтного генератора ПСП равно примерно 0,7, что является достаточно близким к количественным значениям, приведенным выше. Здесь следует отметить, что использованные в работе [10] в качестве расширяющих последовательностей  $m$ -последовательности так же относятся к классу рекуррентных генераторов, поэтому проведенные расчеты являются достаточно корректными.

В качестве третьей системы связи, которая потенциально может найти применение в области гражданской обороны в будущем, возьмем модель системы связи с хаотической модуляцией [10]. Как известно из литературы [3; 10; 12; 13], хаотические сигналы, по сравнению с классическими широкополосными сигналами, обладают следующими преимуществами: большим потенциальным числом кодовых конструкций, сплошным спектром мощности, непредсказуемостью на больших интервалах времени, повышенной скрытностью. Более подробно о данной системе связи, о процессе ее моделирования и т.д. сказано в работе [10] и списках литературы к данной работе. На рис. 4, 6 приведены примеры различных временных диаграмм сигналов, передаваемых в канале связи системы связи с хаотической модуляцией, использующей в качестве генератора хаотических сигналов возмущенный осциллятор Ван дер Поля (рис. 4) и аттрактор Ресслера (рис. 6) [10], а на рис. 5, 7 – значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  в зависимости от изменяемого параметра  $A$  уравнения возмущенного осциллятора Ван дер Поля и в зависимости от изменяемого параметра  $s$  уравнения аттрактора Ресслера для всех исследуемых выборок. Заметим, что в соответствии с [10, 13], системы связи на основе хаотических сигналов, в общем случае не обладают одинаковыми свойствами. Исходя из этого будем приводить по одной временной диаграмме для нескольких различных генераторов хаотических сигналов.

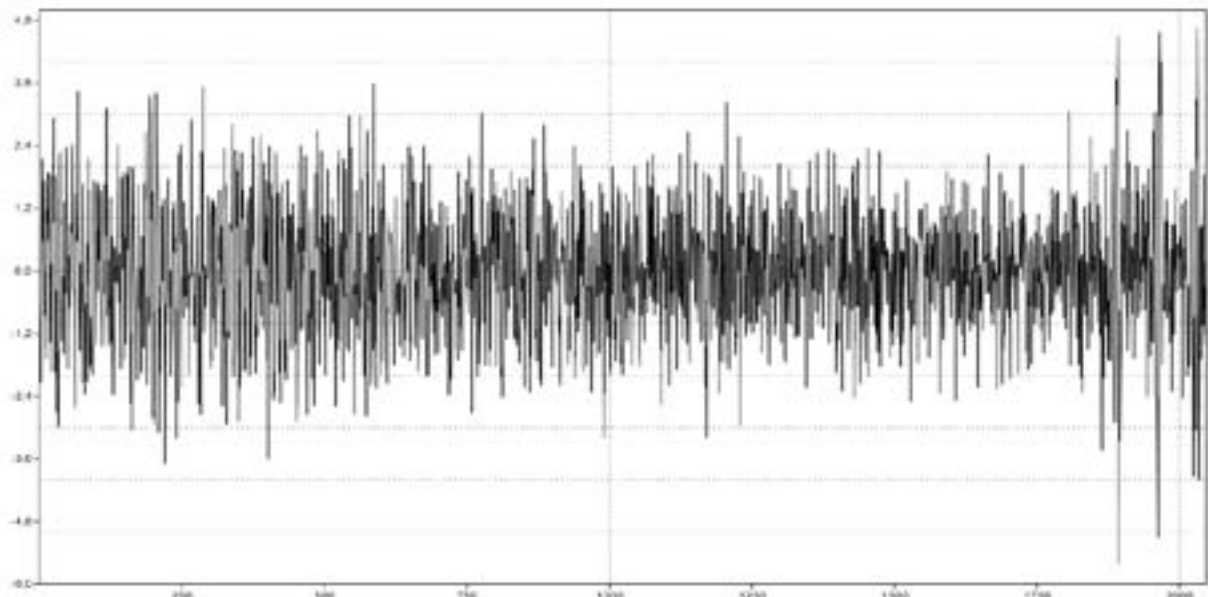


Рис. 4. Временная диаграмма сигнала, передаваемого в канале связи

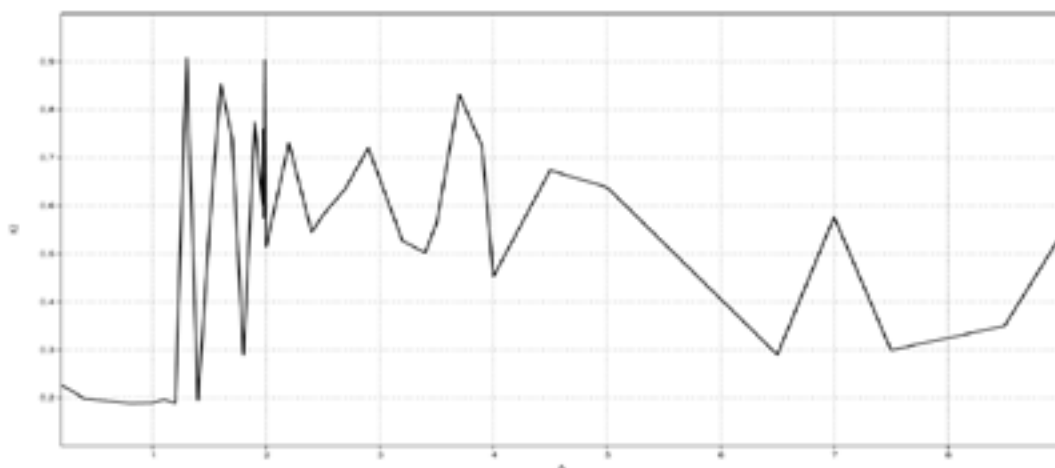


Рис. 5. Значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  в зависимости от параметра  $A$

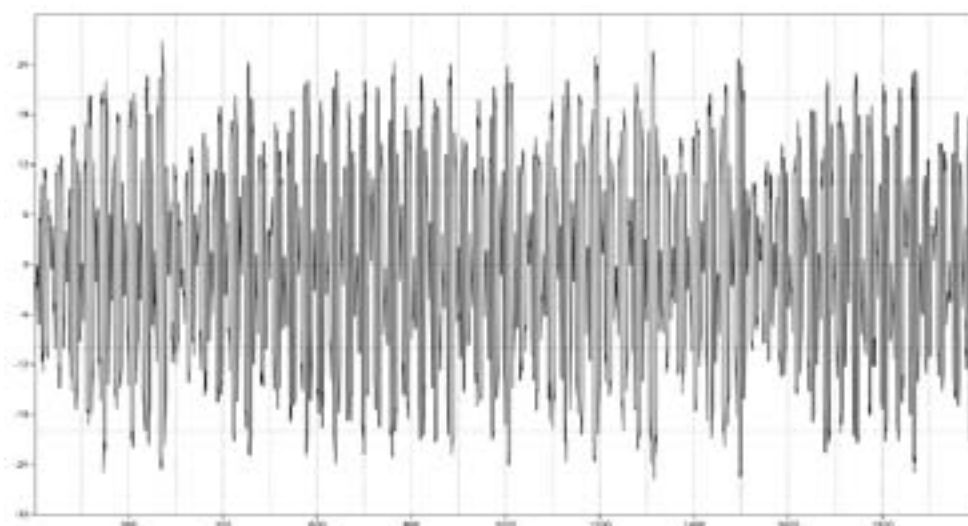


Рис. 6. Временная диаграмма сигнала, передаваемого в канале связи

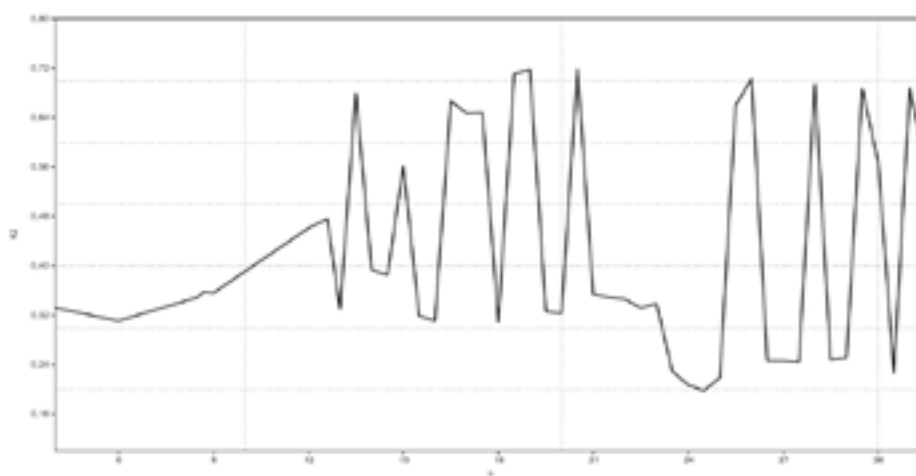


Рис. 7. Значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  в зависимости от параметра  $c$

Как видно из полученных показателей для сигналов системы связи с хаотической модуляцией, в которой в качестве генератора хаотических сигналов используется возмущенный осциллятор Ван дер Поля, исследуемые сигналы обладают положительным значением нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , находящейся примерно в диапазоне [0,3; 0,74]. Для системы связи с хаотической модуляцией, в которой в качестве генератора хаотических сигналов используется аттрактор Ресслера, исследуемые сигналы так же обладают положительным значением нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , находящейся примерно в диапазоне [0,27; 0,62]. Данное обстоятельство указывает на то, что сигналы, вырабатываемые системой связи с хаотической модуляцией, обладают свойствами хаотичности и соответственно обладают приемлемым уровнем структурной скрытности.

Полученные расчеты согласуются с другими исследованиями в данной области – так в работе [14] исследуется хаотичность различных генераторов хаотических сигналов, среди которых есть возмущенный осциллятор Ван дер Поля и аттрактор Ресслера. Согласно приведенным в работе [14] расчетам в программе Fractan, значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  для возмущенного осциллятора Ван дер Поля находятся примерно в диапазоне [0,2; 0,32], а для аттрактора Ресслера – примерно в диапазоне [0,16; 0,29], что является достаточно близким к количественным значениям, приведенным выше. Исходя из этого, проведенные расчеты являются достаточно корректными.

### Заключение

В данной работе авторами проведена оценка нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , как аналога структурной скрытности, для количественного анализа свойств различных сигналов, генерируемых в системах связи гражданской обороны. Были приведены примеры временных реализаций передаваемых в канале связи сигналов [10; 11] и соответствующие им значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$ . Было отмечено, что все исследуемые модели систем связи, за исключением модели системы связи с простыми сигналами, обладают положительным значением нижней границы КС-энтропии  $K_2$ . Данное обстоятельство указывает на то, что исследуемые системы связи, за исключением системы связи с простыми сигналами, обладают свойствами хаотичности и соответственно обладают приемлемой структурной скрытностью передаваемых сигналов. Среди исследуемых систем связи наибольшим значением нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , и соответственно структурной скрытности, обладают системы связи с хаотическими сигналами. Наименьшим значением нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , и соответственно структурной скрытности, обладает система связи с простыми сигналами. Вместе с тем, системы связи с широкополосными сигналами имеют значение нижней границы КС-энтропии  $K_2$ , и соответственно структурной скрытности, которое значительно больше, чем у систем связи с простыми сигналами, но меньшее по сравнению с системой связи с хаотическими сигналами.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что системы связи с хаотическими сигналами в целом являются более предпочтительными для систем связи гражданской обороны по критерию скрытности, чем системы связи с широкополосными сигналами. Полученные данные согласуются с другими работами в данной области [3; 9; 13; 14; 16]. Так же стоит отметить, что полученные результаты согласуются с ранее полученными авторами результатами [10; 11], а именно – полученные значения нижней границы КС-энтропии  $K_2$  находятся достаточно близко к минимальным значениям максимального показателя Ляпунова  $\lambda_{max}$  для соответствующих систем связи. Отсюда можно заключить, что полученные результаты являются корректными, согласуются с известными исследованиями [3; 9; 10; 11; 13; 14; 16] и нижнюю границу КС-энтропии  $K_2$  целесообразно применять в комплексе с другими известными методами нелинейной динамики, что позволит более адекватно проводить анализ систем связи. Кроме того, авторы надеются, что хаотические сигналы в недалеком будущем будут более активно использоваться для обеспечения скрытности систем связи гражданской обороны, так как имеющийся в настоящее время научно-технический задел позволяет это осуществить.

### Литература

1. Борисов Р.И. Проблема развития средств связи в интересах гражданской обороны // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 3 (73). 4 С.
2. Урывский Л.А., Мошинская А.В., Осипчук С.А. Анализ возможностей организации мобильной связи в условиях чрезвычайных ситуаций на основе стандартов 802.11xx // Збірник наукових праць ВІПІ. 2019 № 1. С. 110-118.

3. Страхолис А.А., Олейников В.Т., Петренко А.Н. Повышение устойчивости и защищённости систем связи при оперативном управлении подразделениями территориального гарнизона пожарной охраны // *Материалы Международной научно-технической конференции INTERMATIC–2014, Ч.5. М.: МИРЭА. 2014. С.116-120.*
4. Качественная радиосвязь как важнейшая составляющая системы управления гражданской обороной и защиты от чрезвычайных ситуаций // *Гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций в учреждениях, организациях и на предприятиях» 2019. № 8. URL: [http://гражданская-оборона-и-защита-от-чс.рф/publ/organizacija\\_go/kachestvennaja\\_radiosvjaz\\_kak\\_vazhnejshaja\\_sostavljajushhaja\\_sistemy\\_upravlenija\\_grazhdanskoj\\_oboronoj\\_i\\_zashhity\\_ot\\_chrezvychajnykh\\_situacij/2-1-0-534](http://гражданская-оборона-и-защита-от-чс.рф/publ/organizacija_go/kachestvennaja_radiosvjaz_kak_vazhnejshaja_sostavljajushhaja_sistemy_upravlenija_grazhdanskoj_oboronoj_i_zashhity_ot_chrezvychajnykh_situacij/2-1-0-534) (дата обращения: 27.06.2020)*
5. Членов А.Н., Рябцев Н.А., Федин А.Н. Анализ способов нейтрализации тревожной сигнализации систем охраны категорированных объектов // *Технологии техносферной безопасности. 2017. № 3 (73). С. 271-279.*
6. Методические рекомендации Р 061-2017 «Применение современных видов модуляции и организация обмена информацией в радиоканальных системах передачи извещений». М: НИЦ «Охрана», 2017. 45 С.
7. *Гражданская оборона / Под общ. ред. В.А. Пучкова; МЧС России. — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. — 377 с.*
8. Сухарев Е. М. Общесистемные вопросы защиты информации. Коллективная монография. Кн. 1. М.: Радиотехника, 2003. 292 с.
9. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И., Урядников Ю.Ф., Дергачев Ю.А., Сулиманов А.А. Помехозащищённость радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.
10. Гавришев А.А. Моделирование и количественно-качественный анализ распространённых защищённых систем связи // *Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 5. С. 84-122.1*
11. Гавришев А.А. Моделирование системы связи с простыми сигналами и ее экспериментальный анализ // *Вестник НЦБЖД. 2019. № 2 (40). С. 151-156*
12. Леонов К.Н., Потапов А.А., Ушаков П.А. Математическое моделирование системы передачи информации на основе хаотических сигналов с фрактальной размерностью // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 47-53.*
13. Сивашенко С.И. Скрытность радиосистем со сложными и хаотическими сигналами // *Системы управління, навігації та зв'язку. 2009. № 3(11). С. 56-58.*
14. Сычев В.В. Вычисление стохастических характеристик физиологических данных. Пущино. 1999. URL: <http://www.iki.rssi.ru> (дата обращения: 21.06.2020).
15. Шахтарин Б. И. и др. Генераторы хаотических колебаний: Учебное пособие. М.: Гелиос АРВ, 2007. 248 с.
16. Федотов В.Х., Кольцов Н.И. Модели хаотической динамики. Часть 8. Энтропийные инварианты // *Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 2. С. 330-335.*
17. Сидоренко А. В., Мулярчик К. С. Шифрование данных на основе дискретных хаотических систем и отображений // *Доклады БГУИР. 2013. № 1 (71). С. 62-67.*