

П.А. Землянухин, А.В. Кондратьев, С.С. Свидельский

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМИРОВАТЕЛЯ ШУМОВОГО СИГНАЛА, КАК ИСТОЧНИКА ШУМА В МНОГОКАНАЛЬНОМ ГЕНЕРАТОРЕ ШУМА

Целью работы является исследование принципа работы и характеристик формирователя шумового сигнала модуляционного типа, в котором в качестве несущего колебания и модулирующего сигнала используются квазигармонические шумовые сигналы, и в котором обеспечивается управление шириной спектра шумового сигнала в заданном диапазоне частот. Выполнено исследование структуры построения и характеристик формирователя шумового сигнала, который может быть использован при создании адаптивных многоканальных генераторов шума для маскирования информативных компонент побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН). По источникам отечественной и зарубежной литературы, а также патентной документации проведен анализ технических решений по исполнению генераторов шума, предназначенных для маскирования ПЭМИН. Этот анализ подтвердил актуальность проблемы по созданию адаптивных генераторов шума. Отмечено, что для улучшения характеристик генераторов шума, придания им более широкого применения с целью качественного противодействия несанкционированному съему злоумышленниками информации по каналам излучения ПЭМИН, необходимо создавать многоканальные адаптивные генераторы шума. В этих генераторах в каждом канале зашумления можно обеспечить регулировку мощности, формируемого шумового сигнала и управление шириной полосы частот зашумления, что позволит повысить электромагнитную совместимость подобных устройств. Для обеспечения этого предлагается использовать в формирователях шумового сигнала два аналоговых перемножителя сигналов, с выходов которых шумовые сигналы суммируются и поступают на выход формирователя шумового сигнала, что позволяет получить равномерный по амплитуде шумовой сигнал. При этом обеспечивается управление шириной спектра шумового сигнала не менее, чем в два раза в сравнении с традиционными методами формирования шумового сигнала модуляционными методами.

Генератор шума; формирователь шумового сигнала; шумовой сигнал; перемножитель аналоговых сигналов; ПЭМИН; квазигармонический шумовой сигнал.

P.A. Zemlyanukhin, A.V. Kondratiev, C.C. Svidelskiy

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF THE NOISE SIGNAL CONDITIONER AS A NOISE SOURCE IN MULTI-CHANNEL NOISE GENERATORS

The purpose of this work is to study the principle of operation and characteristics of a modulation-type noise signal conditioner in which quasi-harmonic noise signals are used as a carrier oscillation and modulating signal and in which the spectrum width of the noise signal is controlled in a given frequency range. A study of the structure of the construction characteristics of the noise signal generator that can be used to create adaptive multichannel noise generators to provide active protection of informative components of side electromagnetic radiation and interference (SERaI). According to the sources of domestic and foreign literature, as well as patent documentation, the analysis of technical solutions for the implementation of noise generators intended for masking SERaI were analyzed. The analysis confirmed the relevance of the problem of creating adaptive noise generators. It is noted that it is necessary to create multichannel adaptive noise generators to improve the characteristics of noise generators and make them more widely used in order to effectively counteract unauthorized leakage of information by hackers through the SERaI radiation channels. In these generators, each noise channel can be adjusted for power, generated noise signal and control of the noise masking frequency bandwidth, which will increase the electromagnetic compatibility of such devices. To ensure this, it is proposed to use two analog signal

multipliers in the noise signal conditioner, from the outputs of which the noise signals are summed and sent to the output of the noise signal conditioner which allows to obtain a uniform noise signal in amplitude. It provides control over the spectral width of the noise signal at least twice as compared to traditional methods of generating a noise signal using modulation methods.

Noise generator; noise signal conditioner; noise signal; analog signal multiplier; SERAI; quasi-harmonic noise signal.

Введение. Впервые в начале прошлого века было осуществлено считывание злоумышленниками информации, которая излучается по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН). В 1985 году ученый Вим ван Эйк опубликовал статью [1], где показал, что «подслушивание» цифровых устройств может быть осуществлено с помощью бытовых приборов, например, телевизионного приемника. Эта публикация послужила мощным толчком для более широких исследований по съему информации, излучаемой по каналам ПЭМИН и по противодействию этому. Так в [2] показано, что на изолированном компьютере, который использовал протокол Диффи-Хеллмана на эллиптических кривых [3], путем анализа ПЭМИН в течение 3,3 секунд удалось извлечь ключ дешифрования. В [4] описан эксперимент по перехвату текстов с монитора на расстоянии 10 м через три стены из гипсокартона (через два офисных помещения) с использованием супергеродинного приемника. Это говорит о том, что методы борьбы с ПЭМИН являются актуальными.

Одними из технических методов борьбы со считыванием информации по каналам ПЭМИН [5–7] являются активные методы защиты информации. К этим методам и относят использование генераторов шума (ГШ) для обеспечения маскирования ПЭМИН на объекте телекоммуникаций.

К числу технических устройств, например, средств вычислительной техники, обеспечивающих формирование ПЭМИН, относят: монитор, системный блок, накопители информации, сканер, принтер, «мышь» и др. Все эти устройства при передаче информационных сигналов в последовательном коде, способны обеспечить возникновение канала ПЭМИН, по которому распространяется информация в диапазоне частот от очень низких до 8 ГГц и выше [8–11]. Из-за широкого частотного диапазона формирования ПЭМИН, в каком-то частотном диапазоне спектральные составляющие ПЭМИН будут иметь низкую интенсивность, а в другом высокую. В этом случае часть спектральных составляющих ПЭМИН будет маскирована, уровень же других спектральных составляющих ПЭМИН будет превышать уровень шума, либо при достаточно высоком уровне шума будет наблюдаться снижение электромагнитной совместимости генератора шума относительно других радиотехнических устройств. Так, в [12] отмечается, что исторически ПЭМИН относится к специфическим задачам электромагнитной совместимости.

По мере совершенствования средств обработки, хранения и передачи информации по каналам связи, представляется **актуальным** создание высокоэффективных ГШ для маскирования ПЭМИН. Такие ГШ должны быть способны обеспечить, с одной стороны, сохранность информации, излучаемой по каналам ПЭМИН [13], а, с другой стороны, обеспечить электромагнитную совместимость технических средств активной защиты информации с другими радиотехническими устройствами и телекоммуникационными системами.

В настоящее время на рынке имеется большое количество сертифицированных ГШ для маскирования ПЭМИН. В тоже время подобные устройства по своей структуре являются одноканальными с максимальной частотой работы от 1 ГГц до 2,5 ГГц [14–16]. Этого явно недостаточно, поскольку тактовые частоты тех же компьютеров постоянно возрастают. Это приводит и к расширению частотного диапазона излучения ПЭМИН. Известен генератор шума МИК-ГШ-3000 [17],

имеющий пять каналов зашумления. Он обеспечивает формирование шумового сигнала на частотах от 0,09 МГц до 3000 МГц. В нем предусмотрена регулировка уровня излучения шума в каждом из частотных диапазонов. Однако, в нем отсутствует оценка защищенности по ПЭМИН. В результате этого интенсивность излучения ГШ может значительно превышать минимальную мощность шумового сигнала, требуемую для применения.

Имеются работы, в которых для адаптации спектра шумового сигнала к ПЭМИН предлагается использовать многоканальную схему построения ГШ. Так, в [17] рассматривается построение девятиканальных ГШ. В данном случае в каждом канале используется независимый ГШ, и предусмотрена регулировка интенсивности излучения с помощью программы. При этом обеспечивается привязка шума к уровню излучения ПЭМИН. Однако, данный подход к построению ГШ приводит к существенному удорожанию стоимости этих устройств при том, что этот ГШ не обеспечивает существенного снижения уровня электромагнитной засоренности эфира, т.к. устройство не позволяет проводить управление шириной спектра шума в заданных каналах формирования шумового сигнала. Кроме того, отсутствует привязка шумового сигнала к спектру ПЭМИН конкретного технического средства.

Имеются патенты, в которых предлагаются способы реализации ГШ с улучшенными характеристиками [18]. В патентах [19, 20] оговаривается улучшение шумовых характеристик ГШ и снижение их влияния на электромагнитную обстановку в зоне расположения ГШ. Функционирование этих ГШ основано на одновременном использовании ГШ и сигнала с тактовой частотой работы устройства обработки информации. Эти сигналы поступают на преобразователь частоты [19] или на нелинейный усилитель [20]. Однако, в описаниях к патентам не оговаривается энергетическая равномерность спектра шумового сигнала в диапазоне частот до 10 ГГц.

Применительно к генераторам шума серии ГШ указывается [10], что в них выполняется плавное или дискретное управление интенсивностью выходного сигнала. Например, генератор шумового сигнала ГШ-1000У имеет пять независимых ГШ. Выход одного канала соединен непосредственно с антенной. К выходам 4-х других каналов могут быть подключены дополнительные внешние устройства: антенны, направленные ответвители и т.д. Подобные функции имеются и в ряде других ГШ. В то же время они не обеспечивают эффективной электромагнитной совместимости с другими электронными устройствами.

Многие проблемы, свойственные ГШ (электромагнитная совместимость и высокая выходная мощность; расширенный диапазон рабочих частот, вплоть до 10 ГГц), можно решить строя ГШ по принципу многоканальных систем [21]. Такие системы позволили бы:

- ◆ отключать от зашумления диапазоны частот, в рамках которых не наблюдается работа технических средств обработки информации;
- ◆ обеспечить регулировку выходной мощности шумового сигнала в требуемом частотном диапазоне (канале зашумления);
- ◆ обеспечить регулировку ширины спектра шумового сигнала в требуемом частотном диапазоне (канале зашумления).

Проведенный анализ показывает, что разработка многоканального адаптивного ГШ с максимальной частотой работы до 5–10 ГГц является **актуальной**. В то же время практически отсутствуют теоретические исследования по построению подобных ГШ. Здесь можно отметить работу [22], где предлагается, используя организационные мероприятия, но не изменяя уровня электромагнитных шумов, путем изменения расположения технических средств снизить уровень возможного перехвата информации. Подобный подход видится малоэффективным, либо потребует повышения уровня шумов для маскирования ПЭМИН.

В [23] проведены теоретические исследования по построению модульных (разнесенных в пространстве) систем защиты информации от утечки по техническим каналам. Однако, подобный подход может вызвать существенное удорожание средств защиты от утечки информации по каналам ПЭМИН.

Для построения высокоэффективных ГШ для маскирования ПЭМИН, позволяющих предотвратить утечку информации по техническим каналам, необходимо использовать многоканальную структуру. Это позволит обеспечить качественное приближение амплитудно-частотной характеристики ГШ к уровням спектральных составляющих ПЭМИН в широком частотном диапазоне. Для построения подобных ГШ необходимо создать формирователь шумового сигнала, который обеспечит формирование шумового сигнала в заданном диапазоне частот и при этом обеспечит с одной стороны управление шириной спектра шумового сигнала, а с другой стороны – управление интенсивностью амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала.

Целью работы является исследование принципа работы и характеристик формирователя шумового сигнала модуляционного типа, в котором в качестве несущего колебания и модулирующего сигнала используются квазигармонические шумовые сигналы, и в котором обеспечивается управление шириной спектра шумового сигнала в заданном диапазоне частот.

Структура формирователя шумового сигнала. В [24] рассмотрен возможный подход к формированию шумового сигнала модуляционным методом. Этот подход отличается от того, который широко используется при формировании шумового сигнала модуляционными методами [25], где в качестве несущего колебания используется сигнал, изменяющийся по гармоническому закону, а в качестве модулирующего сигнала – шумовой сигнал. В рассматриваемом формирователе шумового сигнала в качестве несущего колебания и модулирующего сигнала используется квазигармонический шум, сформированный с использованием частотно-избирательных цепей (например, колебательных контуров) из «белого шума». Далее эти квазигармонические шумы, разнесенные по оси частот на несколько порядков, подаются на перемножитель сигналов. На выходе перемножителя сигналов формируется шумовой сигнал, спектральная плотность которого включает спектральные составляющие, полученные в процессе перемножения каждой спектральной составляющей несущего колебания с каждой спектральной составляющей модулирующего сигнала:

$$S_{ш}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n s_{i.н}(t) \cdot \sum_{k=1}^m s_{k.м}(t) \right] e^{-j\omega t} dt,$$

где $s_{i.н}(t)$ и $s_{k.м}(t)$ – i -я и k -я спектральные составляющие несущего колебания и модулирующего сигнала, соответственно.

Здесь $\sum_{i=1}^n s_{i.н}(t)$ и $\sum_{k=1}^m s_{k.м}(t)$ представляют собой некоторые шумовые процессы $\xi_{н}(t)$ и $\xi_{м}(t)$ квазигармонического шумового сигнала.

Подобный подход к формированию шумового сигнала позволяет: обеспечить управление шириной спектра шума на выходе формирователя шумового сигнала за счет управления центральными частотами шумовых процессов $\xi_{н}(t)$ и $\xi_{м}(t)$; подключать (отключать) шумовой сигнал в заданных (требуемых) полосах частот при построении многоканальных ГШ; повысить электромагнитную совместимость ГШ.

Однако, формирователь шумового сигнала, рассмотренный в [24], имеет существенный недостаток. Этот недостаток выражается в том, что спектральная плотность шумового сигнала на выходе формирователя шумового сигнала в окрестности центральной частоты несущего колебания $\xi_{н1}(t)$, может иметь провал по наличию спектральных составляющих требуемой интенсивности. Эта проблема будет существенно усугубляться при увеличении центральной частоты модулирующего сигнала $\xi_{м1}(t)$.

В [26] сделана попытка решить эту проблему. Для этого обеспечивается суммирование шумового сигнала с выхода перемножителя сигналов и шумового процесса несущего колебания. Это может частично решить проблему с неравномерностью спектральной плотности амплитуд шумового сигнала на выходе формирователя шумового сигнала.

Однако, учитывая то, что квазигармонический шум несущего колебания является узкополосным шумовым сигналом, проблема неравномерности спектральной плотности амплитуд шумового сигнала на выходе формирователя шумового сигнала устраняется неполностью, что не позволяет обеспечить качественное маскирование ПЭМИН средств обработки, хранения и передачи информации.

Для преодоления препятствий по качественному маскированию ПЭМИН предлагается ввести в формирователь шумового сигнала еще один канал с перемножителем квазигармонических сигналов несущего колебания $\xi_{н2}(t)$ и модулирующего сигнала $\xi_{м2}(t)$ (рис. 1).

Формирователь шумового сигнала включает три цепи избирательных по частоте, где при этом первая цепь обеспечивает формирование шумового сигнала несущего колебания. Вторая цепь обеспечивает формирование шумового модулирующего сигнала. Третья цепь обеспечивает формирование шумового сигнала несущего колебания, центральная частота которого сдвинута по оси частот относительно центральной частоты несущего колебания, формируемого первой цепью избирательной по частоте. Все три цепи избирательные по частоте имеют входы управления для подстройки (задания) центральных частот, относительно которых обеспечивается формирование квазигармонического шума соответствующей цепью. Кроме того, все три цепи имеют входы, на которые подается шумовой сигнал по характеристикам близкий к белому шуму.

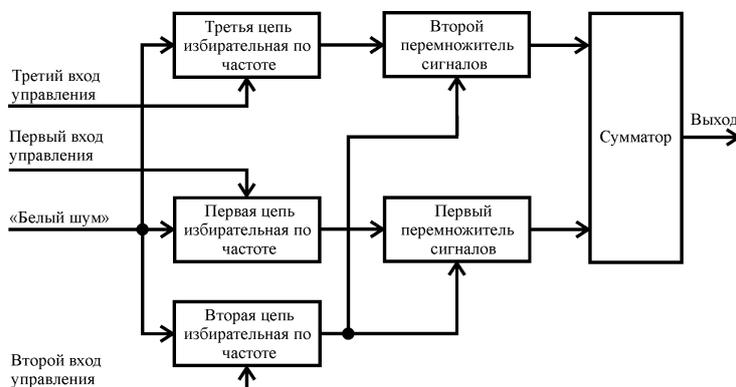


Рис. 1. Структурная схема формирователя шумового сигнала

В устройстве имеются первый и второй перемножители аналоговых сигналов, на первые входы которых подаются квазигармонические сигналы с выходов первой и третьей цепей избирательных по частоте, соответственно. На вторые входы перемножителей аналоговых сигналов подается квазигармонический сигнал с выхода второй цепи избирательной по частоте.

С выходов первого и второго перемножителей аналоговых сигналов шумовые сигналы поступают на сумматор, на выходе которого появляется шумовой сигнал, сформированный в заданной полосе частот.

Пусть центральные частоты квазигармонических сигналов, формируемых на выходах первой, второй и третьей цепей избирательных по частоте, соответственно, равны: f_{01} , f_{02} и f_{03} . Ширины спектров квазигармонических сигналов на выхо-

дах первой, второй и третьей цепей избирательных по частоте по уровню 0,707, в зависимости от добротности колебательных контуров, соответственно, равны: $2\Delta f_1 = f_{01}/Q_1$; $2\Delta f_2 = f_{02}/Q_2$ и $2\Delta f_3 = f_{03}/Q_3$, где Q_1 , Q_2 и Q_3 – добротности колебательных контуров первой, второй и третьей цепей избирательных по частоте, соответственно.

Рассмотрим зависимость ширины спектра шумового сигнала на выходе первого аналогового перемножителя сигналов. На выходе этого перемножителя сигналов будет формироваться шумовой сигнал, полученный в процессе амплитудной модуляции. По уровню 0,707 границы нижней $f_{AM,н}$ и верхней $f_{AM,в}$ боковых полос этого шумового сигнала будут иметь вид:

$$f_{AM,н} = f_{01} - \Delta f_1 - f_{02} - \Delta f_2; \quad f_{AM,в} = f_{01} + \Delta f_1 + f_{02} + \Delta f_2.$$

Тогда, ширину спектра шумового сигнала можно описать в виде:

$$\Delta f_{AM} = f_{AM,в} - f_{AM,н} = 2(f_{02} + \Delta f_1 + \Delta f_2). \quad (1)$$

Из выражения (1) можно видеть, что при постоянных значениях Δf_1 и Δf_2 , ширина спектра шумового сигнала зависит от величины центральной частоты f_{02} модулирующего сигнала. При увеличении (уменьшении) величины f_{02} ширина спектра шумового сигнала увеличивается (уменьшается). Кроме того, при изменении частоты f_{02} будет изменяться и ширина спектра Δf_2 при постоянной добротности колебательного контура второй цепи избирательной по частоте.

Таким образом, обеспечивая управление центральной частотой второй цепи избирательной по частоте, можно организовать управление шириной спектра шумового сигнала на выходе первого аналогового перемножителя сигналов. Это может быть полезным при использовании подобного формирователя шумового сигнала в многоканальных ГШ, поскольку обеспечивается локальное маскирование ПЭМИН в заданном и управляемом по протяженности диапазоне частот. Кроме того, можно обеспечить повышение электромагнитной совместимости устройства.

Для нижней боковой полосы спектральные составляющие шумового сигнала, полученные в процессе амплитудной модуляции, будут располагаться в окрестности частоты $f_{01} - f_{02}$, а для верхней боковой полосы – в окрестности частоты $f_{01} + f_{02}$. Однако, при выполнении условия $f_{02} > \Delta f_1 - \Delta f_2$ от частоты $f_{01} - \Delta f_1 + f_{02}$ до частоты $f_{01} + \Delta f_1 - f_{02}$, можно наблюдать резкий спад амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала, сформированного на выходе первого аналогового перемножителя сигналов.

Для преодоления этого недостатка в формирователе шумового сигнала использован второй аналоговый перемножитель сигналов. Резонансная частота f_{03} третьей цепи избирательной по частоте сдвинута относительно частоты f_{01} и выбрана в виде:

$$f_{03} = f_{01} + \frac{\Delta f_1 + f_{02}}{2}. \quad (2)$$

В этом случае нижняя боковая полоса спектра амплитудно-модулированного сигнала, формируемого на выходе второго аналогового перемножителя сигналов, будет закрывать диапазон частот от частоты $f_{01} - \Delta f_1 + f_{02}$ до частоты $f_{01} + \Delta f_1 - f_{02}$, где происходит спад амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала, формируемого в процессе амплитудной модуляции на выходе первого аналогового перемножителя сигналов. Верхняя боковая полоса спектра амплитудно-модулированного сигнала обеспечит перекрытие шумовым сигналом дополнительного частотного диапазона при суммировании шумовых сигналов с выходов первого и второго аналоговых перемножителей сигналов.

В результате этого, рассматриваемый формирователь шумового сигнала, позволяет обеспечить равномерный спектр шумового сигнала в частотном диапазоне, определяемом резонансными частотами f_{01} , f_{02} и f_{03} и добротностями Q_1 , Q_2 и Q_3 первого, второго и третьего колебательных контуров первой, второй и третьей цепей избирательных по частоте.

Модель формирователя шумового сигнала. На входы первой, второй и третьей цепей избирательных по частоте подается шумовой сигнал $\xi(t)$ по свойствам приближающийся к белому шуму. Цепи избирательные по частоте представляют собой параллельные колебательные контура, обладающие добротностями Q_1 , Q_2 и Q_3 и имеющие резонансные частоты f_{01} , f_{02} и f_{03} , соответственно. С учетом этого алгоритм нахождения шумового сигнала будет иметь вид.

1. Нахождение комплексных частотных характеристик коэффициентов передачи напряжения первого $K_1(j\omega)$, второго $K_2(j\omega)$ и третьего $K_3(j\omega)$ колебательных контуров.

2. Вычисление спектральной плотности исходного шумового шума $\xi(t)$:

$$S_{\text{ш}}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi(t)e^{-j\omega t} dt.$$

3. Вычисление откликов шумового сигнала на выходах колебательных контуров:

$$\xi_1(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_1(j\omega) \cdot S_{\text{ш}}(j\omega)e^{j\omega t} d\omega;$$

$$\xi_2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_2(j\omega) \cdot S_{\text{ш}}(j\omega)e^{j\omega t} d\omega;$$

$$\xi_3(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_3(j\omega) \cdot S_{\text{ш}}(j\omega)e^{j\omega t} d\omega.$$

4. Вычисление спектральной плотности шумового сигнала на выходах первого и второго аналоговых перемножителей:

$$S_{\text{шс1}}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi_1(t) \cdot \xi_2(t)e^{-j\omega t} dt;$$

$$S_{\text{шс2}}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi_3(t) \cdot \xi_2(t)e^{-j\omega t} dt.$$

5. Вычисление спектральной плотности шумового сигнала на выходе формирователя шумового сигнала: $S_{\text{шс}}(j\omega) = S_{\text{шс1}}(j\omega) + S_{\text{шс2}}(j\omega)$.

В соответствии с этим алгоритмом в программе математического моделирования Mathcad был произведен расчет спектральной плотности шумового сигнала на выходе первого аналогового перемножителя. Результаты расчета приведены на рис. 2.

Из рис. 2 можно видеть, что при уменьшении протяженности диапазона частот между центральными частотами несущего колебания и модулирующего сигнала, увеличивается протяженность диапазона частот, где происходит спад амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала на выходе первого, впрочем, и второго аналоговых перемножителей сигнала. Кроме того, при уменьшении протяженности диапазона частот между центральными частотами несущего колебания и модулирующего сигнала в провале спектра амплитуды спектральных составляющих уменьшаются существенно, стремясь к нулю.

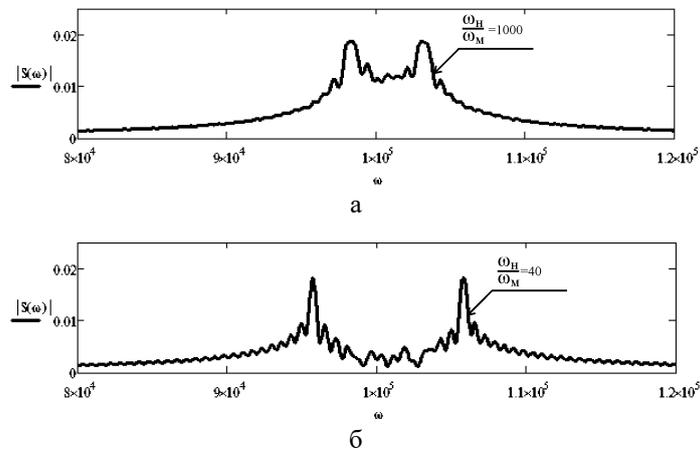


Рис. 2. Спектральная плотность шумового сигнала на выходе первого аналогового перемножителя сигналов при отличии центральных частот несущего колебания и модулирующего сигнала в 1000 раз (а) и в 40 раз (б)

На рис. 3 приведены графики отражающие зависимости ширины спектра шумового сигнала Δf_{AM} и ширины провала (спада) Δf_c амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала от центральной частоты модулирующего сигнала $f_{02} = f_m \cdot 10^2$ Гц.

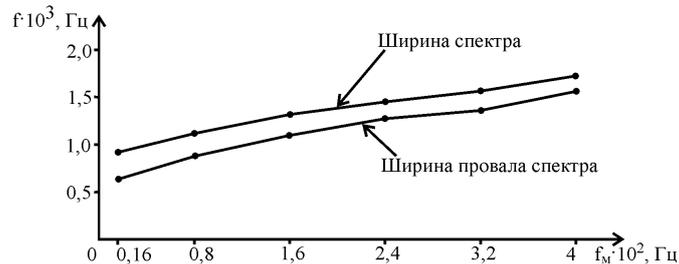


Рис. 3. Ширина спектра и ширина провала спектра шумового сигнала

Эти графики были получены в соответствии с алгоритмом, который приведен выше, и с использованием программы математического моделирования Mathcad, где выполнялся расчет спектральной плотности амплитуд шумового сигнала на выходе первого аналогового перемножителя.

Расчеты говорят о следующем. Значение центральной частоты несущего колебания близко к 10^5 рад/с ($f_{01} = 15924$ Гц) (рис. 2). Центральная частота модулирующего сигнала f_{02} изменяется от 16 Гц до 400 Гц. Добротности колебательных контуров первой и второй цепей избирательных по частоте равны $Q_1 = Q_2 = 20$. В этом случае ширина спектра шумового сигнала на выходе первого колебательного контура равна $2 \cdot \Delta f_1 = f_{01}/Q_1 = 796$ Гц. Ширины спектров модулирующего сигнала $2 \cdot \Delta f_2 = f_{02}/Q_2$ в зависимости от центральной частоты будут изменяться от 1,6 Гц ($f_{02} = 16$ Гц) до 40 Гц ($f_{02} = 400$ Гц). В данных случаях $\Delta f_1 = 388$ Гц, а Δf_2 изменяется от 0,8 Гц до 20 Гц.

Результаты моделирования для первого ($f_{02} = 16$ Гц) и второго случаев ($f_{02} = 400$ Гц) ширины спектров Δf_{AM} шумового сигнала (рис. 3) по уровню 0,707 соответственно равны: 907 Гц и 1624 Гц. Для данных случаев выражение (1) дает

результаты: 809 Гц и 1616 Гц, соответственно. Можно видеть, что неточность результатов, полученных в соответствии с теоретическими исследованиями и путем математического моделирования в соответствии с использованным алгоритмом, для рассматриваемых двух крайних случаев составляет 12% и 0,49%. При этом, чем выше центральная частота модулирующего сигнала, тем более высокая точность расчетов достигается.

На рис. 4 представлены результаты схемотехнического моделирования спектральной плотности шумового сигнала на выходе рассматриваемого формирователя шумового сигнала.

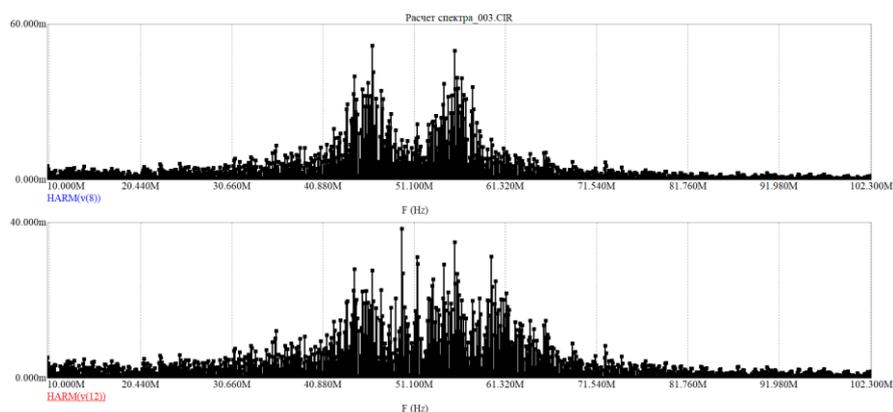


Рис. 4. Спектральная плотности шумового сигнала на выходе первого перемножителя сигналов (верхняя диаграмма) и на выходе формирователя шумового сигнала (нижняя диаграмма)

Моделирование выполнено в среде схемотехнического моделирования Micro-Cap. Центральная частота несущего колебания f_{01} , поступающего на первый аналоговый перемножитель сигналов, равна 50 МГц. Центральная частота несущего колебания f_{03} , поступающего на второй аналоговый перемножитель сигналов, согласно (2) равна 54,25 МГц. Центральная частота модулирующего сигнала f_{02} равна 6 МГц.

Результаты моделирования спектральной плотности шумового сигнала на выходе первого аналогового перемножителя сигналов и на выходе формирователя шумового сигнала говорят о следующем. Ширина спектра шумового сигнала по уровню 0,707 равна 16,2 МГц. В соответствии с (1) получено, что ширина спектра равна 17,5 МГц. Ширина частотного диапазона, где происходит спад амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала, равна 6,9 МГц, расчетные данные, согласно ранее проведенного анализа, дает цифру 7 МГц. Проведенный сравнительный анализ ширин спектра шумового сигнала говорит о том, что для оценки ширины спектра шумового сигнала и диапазона частот, где происходит провал амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала, вполне можно использовать выражения, полученные в работе. Следует отметить, что формирование шумового сигнала на выходе устройства за счет использования двух аналоговых перемножителей сигналов, позволяет получить почти в два раза более широкий по частоте спектр шумового сигнала, в сравнении с тем, когда в качестве несущего колебания используется гармонический сигнал.

Заключение. Исследования, представленные в работе, говорят о следующем:

♦ теоретические результаты, отражающие процесс управления шириной спектра шумового сигнала на выходе формирователя шума, хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными в процессе моделирования, при этом, чем выше центральная частота модулирующего сигнала, тем более высокая точность расчетов может быть достигнута;

♦ рассмотренный в работе формирователь шумового сигнала, где формирование шумового сигнала осуществляется с использованием амплитудной модуляции, может быть использован в многоканальных генераторах шумового сигнала в качестве источника шумового сигнала с перестраиваемой по частоте шириной спектра в зависимости от центральной частоты модулирующего сигнала, в роли которого используется квазигармонический шум;

♦ использование в формирователе шумового сигнала двух аналоговых перемножителей сигналов позволяет исключить провал амплитуд спектральных составляющих шумового сигнала в широком диапазоне частот, что способствует получению равномерного по амплитуде спектра шумового сигнала на выходе устройства при выполнении операции изменении ширины спектра шумового сигнала;

♦ показано, что использование квазигармонических шумовых сигналов в качестве несущего колебания и модулирующего сигнала, позволяет достичь существенного увеличения ширины спектра шумового сигнала на выходе устройства, в сравнении с тем, когда в качестве несущего колебания используется гармонический сигнал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вим ван Эйк*. Электромагнитное излучение видеодисплейных модулей: риск перехвата информации. – 1985. – URL: https://revolution.allbest.ru/radio/00568869_0.html (дата обращения 24.11.2020).
2. *Daniel Genkin, Lev Pachmanov, Itamar Pipman*. Stealing Keys from PCs using a Radio: Cheap Electromagnetic Attacks on Windowed Exponentiation February 27, 2015. – URL: www.cs.tau.ac.il/~tromer/papers/radioexp.pdf (дата обращения 24.11.2020).
3. АНБ скомпрометировало протокол Диффи-Хеллмана? – URL: <https://habr.com/ru/post/356870> (дата обращения: 24.11.2020).
4. *Хорев А.А.* Математическая модель обнаружения побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера оптимальным приемником // Вопросы защиты информации. – 2014. – № 1 (104). – С. 65-71.
5. *Голиков А.М.* Защита информации от утечки по техническим каналам: учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2015. – 256 с.
6. *Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мецераков Р.В. и др.* Технические средства и методы защиты информации: учебник для вузов / под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. – М.: Изд-во «Машиностроение», 2009. – 508 с.
7. *Меньшаков Ю.К.* Защита объектов и информации от технических средств разведки: учеб. пособие. – М.: РГГУ, 2002. – 399 с.
8. *Маслов О.Н., Соломатин М.А., Василевский А.Д.* Тестовые сигналы для анализа ПЭМИН персональных ЭВМ // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Т. 5, № 2. – С. 79-82.
9. *Маслов О.Н., Соломатин М.А., Егоренков В.Д.* Тестовые сигналы для анализа ПЭМИН периферийных устройств персональных ЭВМ // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Т. 5, № 2. – С. 82-84.
10. *Иванов В.П.* Информационная безопасность, проблема ПЭМИН, генераторы радишума // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2009. – № 13. – С. 126-134.
11. *Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В.* Защита от утечки информации по техническим каналам: учеб. пособие. – М.: Горячая линия, 2005. – 416 с.
12. *Газизов Т.Р.* Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие. – Томск: «ТМЛ-Пресс», 2007. – 256 с.

13. Барсуков В.С. Безопасность: технологии, средства, услуги. – М.: КУДИЦ ОБРАЗ, 2001. – 496 с.
14. Патент RU №2170493 Российская Федерация, МПК H04K 3/00. Устройство радиомаскировки / Безруков В.А., Иванов В.П., Калашников В.С., Лебедев М.Н.; заявл. 15.05.2000; опубл. 10.07.2001, БИ № 19.
15. Система для защиты от утечки информации по каналам ПЭМИН "Гром-ЗИ-4Б". – URL: <https://pro-spec.ru/catalog/generatory-shuma/sistema-dlya-zashchity-ot-utechki-informatsii-po-kanalam-pemin-grom-zi-4b> (дата обращения: 24.11.2020).
16. SEL SP-21 "Баррикада" генератор пространственного зашумления. – URL: <http://www.spectr-sks.ru/product/8535> (дата обращения: 24.11.2020).
17. Акимов В.И., Барсуков А.Н., Данилов Н.С., Суворов П.А. Предложения по созданию адаптивных генераторов шума системы зашумления информативных сигналов средств электронной вычислительной техники // Специальная техника. – 2012. – № 3. – 6 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17781926&> (дата обращения 24.11.2020).
18. Патент RU №2114513 Российская Федерация, МПК H04K 3/00. Способ защиты информационного обмена в локальной системе радиосвязи / Павлов Ю.С.; заявл. 25.07.1995; опубл. 27.06.1998, БИ № 18.
19. Патент RU № 2421917 Российская Федерация, МПК H04K1/04, H03B29/00. Способ защиты системы обработки информации от побочных электромагнитных излучений, устройство для реализации способа и генератор шумового сигнала для реализации устройства / Демин В.М., Лепеха Ю.П., Поляков Л.А.; заявл. 15.04.10; опубл. 20.06.11, БИ № 17.
20. Патент RU № 2669065 Российская Федерация, МПК H03B 29/00. Устройство для защиты автоматизированных систем от утечки информации по каналам побочных электромагнитных излучений / Щербаков В.А., Хорев А.А.; заявл 13.12.17; опубл. 08.10.18, БИ № 28.
21. Землянухин П.А. Многоканальный адаптивный генератор шума для маскирования ПЭМИН // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 9. – С. 82-93.
22. Бехтин М.А. Система обнаружения побочных информационных электромагнитных излучений технических средств: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 23 с.
23. Вертилевский Н.В. Разработка концепции модульного построения трансформируемой системы защиты информации от утечки по техническим каналам: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Владимир, 2008. – 24 с.
24. Zemlyanuchin P., Suhoveev A. Adaptive noise generator for masking side electromagnetic radiation and interference. Second International Conference on Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies (FTCNT-2019). Jaypee University of Information Technology, Wanknaghat, India and C-DAC, Mohali, India. 22-23 November 2019. – URL: <https://www.springer.com/us/book/9789811544507>.
25. Курьянов А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.
26. Патент на полезную модель RU № 193698 Российская Федерация, МПК H03B 29/00, H04K 3/00. Формирователь шумового сигнала / Землянухин П.А., Очиров Ц.В.; заявл 30.04.2019; опубл. 11.11.2019, БИ № 32.

REFERENCES

1. *Vim van Eyk*. Elektromagnitnoe izluchenie videodispleynykh moduley: risk perekhvata informatsii [Electromagnetic radiation of video display modules: risk of information interception], 1985. Available at: https://revolution.allbest.ru/radio/00568869_0.html (accessed 24 November 2020).
2. *Daniel Genkin, Lev Pachmanov, Itamar Pipman*. Stealing Keys from PCs using a Radio: Cheap Electromagnetic Attacks on Windowed Exponentiation February 27, 2015. Available at: www.cs.tau.ac.il/~tromer/papers/radioexp.pdf (accessed 24 November 2020).
3. ANB skomprometirovalo protokol Diffi-Khellmana? [The NSA compromised the Diffie-Hellman Protocol?]. Available at: <https://habr.com/ru/post/356870> (accessed 24 November 2020).
4. *Khorev A.A.* Matematicheskaya model' obnaruzheniya pobochnykh elektromagnitnykh izlucheniyy videosistemy komp'yutera optimal'nym priemnikom [Mathematical model of detection of side electromagnetic radiation of a computer video system by an optimal receiver], *Voprosy zashchity informatsii* [Information security issues], 2014, No. 1 (104), pp. 65-71.
5. *Golikov A.M.* Zashchita informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalams: ucheb. posobie [The Protection of information from leakage via technical channels: the manual]. Tomsk: TUSUR, 2015, 256 p.

6. Zaytsev A.P., Shelupanov A.A., Meshcheryakov R.V. i dr. *Tekhnicheskie sredstva i metody zashchity informatsii: uchebnik dlya vuzov* [Technical means and methods of information protection: textbook for universities], ed. by A.P. Zaytseva and A.A. Shelupanova. Moscow: Izd-vo «Mashinostroenie», 2009, 508 p.
7. Men'shakov Yu.K. *Zashchita ob"ektov i informatsii ot tekhnicheskikh sredstv razvedki: ucheb. posobie* [Protection of objects and information from technical means of intelligence: textbook]. Moscow: RGGU, 2002, 399 p.
8. Maslov O.N., Solomatin M.A., Vasilevskiy A.D. Testovye signaly dlya analiza PEMIN personal'nykh EVM [Test signals for analyzing SERaI of personal computers], *Infokommunikatsionnye tekhnologii* [Infocommunication technologies], 2007, Vol. 5, No. 2, pp. 79-82.
9. Maslov O.N., Solomatin M.A., Egorenkov V.D. Testovye signaly dlya analiza PEMIN periferiynykh ustroystv personal'nykh EVM [Test signals for the analysis of SERaI of peripherals of personal computers], *Infokommunikatsionnye tekhnologii* [Infocommunication technologies], 2007, Vol. 5, No. 2, pp. 82-84.
10. Ivanov V.P. Informatsionnaya bezopasnost', problema PEMIN, generatory radioshumy [Information security, the problem of SERaI, radionoise generators], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information counteraction to threats of terrorism], 2009, No. 13, pp. 126-134.
11. Buzov G.A., Kalinin S.V., Kondrat'ev A.V. *Zashchita ot utechki informatsii po tekhnicheskim kanalam: ucheb. posobie* [Protection from information leakage through technical channels: textbook]. Moscow: Goryachaya liniya, 2005, 416 p.
12. Gazizov T.R. *Elektromagnitnaya sovместimost' i bezopasnost' radioelektronnoy apparatury: ucheb. posobie* [Electromagnetic compatibility and safety of radio electronic equipment: textbook]. Tomsk: «TML-Press», 2007, 256 p.
13. Barsukov V.S. *Bezopasnost': tekhnologii, sredstva, uslugi* [Security: technologies, tools, services]. Moscow: KUDITS OBRAZ, 2001, 496 p.
14. Bezrukov V.A., Ivanov V.P., Kalashnikov B.C., Lebedev M.N. *Ustroystvo radiomaskirovki* [Device of radio deception]. Patent RU No. 2170493 Russian Federation, IPC H04K 3/00; declared 15.05.2000; publ. 10.07.2001, BI No. 19.
15. Sistema dlya zashchity ot utechki informatsii po kanalam PEMIN "Grom-ZI-4B" [System for protection against information leakage through SERaI channels "Grom-ZI-4B"]. Available at: <https://pro-spec.ru/catalog/generatory-shuma/sistema-dlya-zashchity-ot-utechki-informatsii-po-kanalam-pemin-grom-zi-4b> (accessed 24 November 2020).
16. SEL SP-21 "Barrikada" generator prostranstvennogo zashumleniya [SEL SP-21 "Barricada" spatial noise generator]. Available at: <http://www.spectr-sks.ru/product/8535> (accessed 24 November 2020).
17. Akimov V.I., Barsukov A.N., Danilov N.S., Suvorov P.A. *Predlozheniya po sozdaniyu adaptivnykh generatorov shuma sistemy zashumleniya informativnykh signalov sredstv elektronnoy vychislitel'noy tekhniki* [Proposals for the creation of adaptive noise generators for the noise reduction system of informative signals of electronic computer equipment], *Spetsial'naya tekhnika* [Special equipment], 2012, No. 3, 6 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17781926&> (accessed 24 November 2020).
18. Pavlov Yu.S. *Sposob zashchity informatsionnogo obmena v lokal'noy sisteme radiosvyazi* [Method of protection of information exchange in the local radio system]. Patent RU No. 2114513 Russian Federation, IPC H04K 3/00; declared 25.07.1995; publ. 27.06.1998, BI No. 18.
19. Demin V.M., Lepekha Yu.P., Poyarkov L.A. *Sposob zashchity sistemy obrabotki informatsii ot pobochnykh elektromagnitnykh izlucheniy, ustroystvo dlya realizatsii sposoba i generator shumovogo signala dlya realizatsii ustroystva* [The protection method of an information processing system from side electromagnetic radiation, the device for implementing the method and the generator of the noise signal for the implementation of devices], Patent RU No. 2421917 Russian Federation, IPC H04K1/04, H03B29/00; declared 15.04.10; publ. 20.06.11, BI No. 17.
20. Shcherbakov V.A., Khorev A.A. *Ustroystvo dlya zashchity avtomatizirovannykh sistem ot utechki informatsii po kanalam pobochnykh elektromagnitnykh izlucheniy* [Device for protection of automated systems from information leakage through channels of side electromagnetic radiation]. Patent RU No. 2669065 Russian Federation, IPC 29/00 H03B; declared 13.12.17; publ. 08.10.18, BI No. 28.

21. *Zemlyanukhin P.A.* Mnogokanal'nyy adaptivnyy generator shuma dlya maskirovaniya PEMIN [Multichannel noise generator to mask SERaI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 9, pp. 82-93.
22. *Bekhtin M.A.* Sistema obnaruzheniya pobochnykh informatsionnykh elektromagnitnykh izlucheniye tekhnicheskikh sredstv: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [System for detecting side information electromagnetic radiation of technical means: autoabstract cand. of eng. sc. diss.]. Moscow, 2009, 23 p.
23. *Vertilevskiy N.V.* Razrabotka kontseptsii modul'nogo postroeniya transformiruemyy sistemy zashchity informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Development of the concept of modular construction of a transformable information protection system against leakage through technical channels: autoabstract cand. of eng. sc. diss.]. Vladimir, 2008, 24 p.
24. *Zemlyanuchin P., Suhoveev A.* Adaptive noise generator for masking side electromagnetic radiation and interference. Second International Conference on Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies (FTCNT-2019). Jaypee University of Information Technology, Wanknaghat, India and C-DAC, Mohali, India. 22-23 November 2019. Available at: <https://www.springer.com/us/book/9789811544507>.
25. *Kupriyanov A.I.* Radioelektronnaya bor'ba [Radio-electronic struggle]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2013, 360 p.
26. *Zemlyanukhin P.A., Ochirov Ts.V.* Formirovatel' shumovogo signala [A noise signal conditioner]. Patent for utility model RU No. 193698 Russian Federation, IPC 29/00 H03B, H04K 3/00; declared 30.04.2019; publ. 11.11.2019, BI No. 32.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Г. Капустян.

Землянухин Петр Андреевич – Южный федеральный университет, e-mail: razemlyanuchin@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 89185061318; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

Кондратьев Александр Владиславович – e-mail: alkondratev@sfedu.ru; тел.: 89888979234; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; студент.

Свидельский Сергей Сергеевич – e-mail: svidelskiy@sfedu.ru; тел.: 89281410341; кафедра высшей математики; аспирант.

Zemlyanukhin Petr Andreevich – Southern Federal University; e-mail: pazemlyanuchin@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79185061318. the department of information security of telecommunication systems; associate professor, cand. of eng. sc.

Kondratiev Alexandr Vladislavovich – e-mail: alkondratev@sfedu.ru; phone: +79888979234; the department of information security of telecommunication systems; student.

Svidelsky Sergey Sergeevich – e-mail: svidelskiy@sfedu.ru; phone: +79281410341; the department of higher mathematics; postgraduate student.

УДК 004.4'42

DOI 10.18522/2311-3103-2020-5-123-130

М.Ю. Поленов, А.О. Курмалеев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ТРАНСЛЯЦИИ МОДЕЛЕЙ*

Рассмотрена проблема повторного использования ранее разработанных программных моделей сложных систем и их компонентов, возникающая перед исследователями при необходимости перехода к новым средствам моделирования. В качестве решения поставленной задачи была разработана программная среда – Мультитранслятор, которая позво-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00936.