

УДК 621.394

Кульбачний Дмитро Вадимович,

директор ТОВ “Колд Скай Технолоджис”, м. Київ, Україна,

Євграфов Дмитро Вікторович,

провідний науковий співробітник ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна,

ORCID ID 0000-0001-9651-1558

Білогуров Володимир Андрійович,

старший науковий співробітник ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна,

ORCID ID 0000-0003-1896-0782

МОЖЛИВОСТІ ЗАШУМЛЕННЯ РАДІОКАНАЛУ ПІДРИВУ ВИБУХОВОГО ПРИСТРОЮ В УМОВАХ СУТТЄВОЇ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЩОДО ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ЙОГО УПРАВЛІННЯ

Розглянуто радіоканал управління вибуховим пристроєм, сигнали якого мають суттєву апріорну невизначеність щодо багатьох параметрів. Оцінені можливості сигналів управління підривом: від простих вузькосмугових і демонстративних до складномодульованих і таких, що дозволяють керувати підривом приховано. Припущено, що унеможливленням підриву в умовах великої невизначеності щодо параметрів сигналу управління залишається придушення його шумовою завадою або шумоподібним сигналом. Обґрунтовано вирази, за якими можна розрахувати імовірність хибного підриву за час підготовки до подання сигналу на підриг та імовірність пропуску сигналу на підриг за час його подачі виконавцем злочинного задуму. Залежно від задуму злочину, обґрунтовані показники якості радіоканалу управління підривом і пов'язані з ними типи сигналів управління. Обґрунтовані потужності шумового генератора для вдалого придушення радіоканалу управління вибуховим пристроєм.

Ключові слова: шумова завада, шумоподібний сигнал, розподілення абсолютного диференційованого максимуму у середньоквадратичному процесі, прицільна за напрямком завада, спектральна густина потужності шумової завади, потужність шумового генератора.

Рассмотрен радиоканал управления взрывным устройством, сигналы которого имеют существенную априорную неопределенность относительно многих параметров. Оценены возможности сигналов управления подрывом: от простых узкополосных и демонстративных до сложномодулируемых и таких, которые позволяют управлять подрывом скрытно. Допущено, что невозможностью подрыва в условиях значительной неопределенности параметров сигнала управления остается подавление его шумовой помехой или шумоподобным сигналом. Обоснованы выражения, по которым можно рассчитать вероятность ложного подрыва за

© Kulbachnyi Dmytro, Ievgrafov Dmytro, Bilohurov Volodymyr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).2](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).2)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

время подготовки к подаче сигнала на подрыв и вероятность пропуска сигнала на подрыв за время его подачи исполнителем преступного замысла. В зависимости от замысла преступления обоснованы показатели качества радиоканала управления подрывом и связанные с ними сигналы управления. Обоснованы мощности шумового генератора для успешного подавления радиоканала управления взрывным устройством.

Ключевые слова: шумовая помеха, шумоподобный сигнал, распределение абсолютного дифференцируемого максимума в среднеквадратическом процессе, прицельная по направлению помеха, спектральная плотность мощности шумовой помехи, мощность шумового генератора.

Постановка задачі

Розглянемо радіокерований підливний пристрій, який складається із передавача, що знаходиться в виконавця злочинного задуму, радіоканалу діапазону частот від $f_n = 25$ МГц до $f_b = 6$ ГГц та радіоприймача, що приймає сигнал виконавця і подає його на підливний пристрій (див. рис. 1).

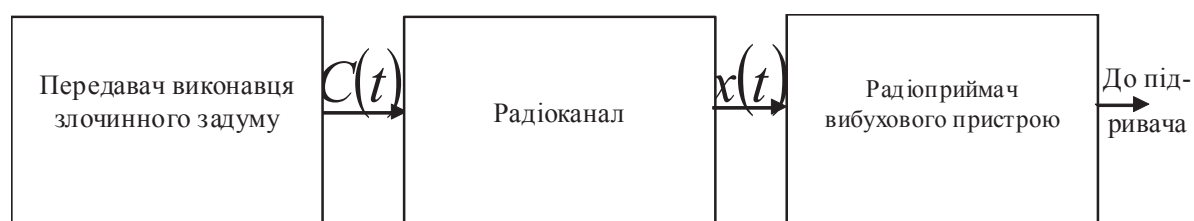


Рис. 1. Радіокерований підливний пристрій

Нехай місцезнаходження виконавця злочинного задуму невідоме, а радіоприймач розташований у безпосередній близькості до підливного пристрою. Крім того, нехай місцезнаходження підливного пристрою можна передбачити або ми цілеспрямовано захищаємо об'єкт від підливу, якщо не впевнені в тому, що на нього не встановили підливний пристрій. У такому разі єдиним способом унеможливлення підливу залишається придушення сигналу управління прицільною за напрямом завадою у бік об'єкта захисту – передбаченого місця розташування радіоприймача вибухового пристрою.

Сигнал $C(t)$, який випромінюється передавачем на несній частоті f_0 , можна класифікувати за прихованістю: від сигналів з амплітудною модуляцією й великою потужністю випромінювання P_n антенами з малим коефіцієнтом підсилення антени G_n , які є менш прихованими, до більш прихованих сигналів із частотною і фазовою модуляцією і далі – до найбільш прихованих складномодульованих сигналів, бази яких дорівнюють:

$$B = \tau \Delta f, \quad (1)$$

τ – тривалість сигналу підливу, Δf – ефективна ширина спектра сигналу підливу, у якості котрих використовують фазоманіпульовані M -послідовностями або кодами Баркера сигнали, чи частотно модульовані сигнали.

© Kulbачnyi Dmytro, Ievgrafov Dmytro, Bilohurov Volodymyr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).2](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).2)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Оскільки Δf може бути будь-якою та обмежується лише можливостями оброблення сигналів сучасними цифровими технологіями, що визначають Δf_{\max} – максимальну ефективну ширину спектра сигналу підризу, радіосигнал $C(t)$ має суттєву апріорну невизначеність щодо його параметрів. Фактично нам відомі лише границі несних частот сигналу від $f_n + \Delta f_{\max} / 2$ до $f_g - \Delta f_{\max} / 2$. Залишається невідомою як часова структура сигналу (разом з його моментом надходження на приймальний пристрій t_0 та тривалістю τ), так і відповідний йому спектр.

У цьому випадку канал радіопідризу краще зашумлювати принаймні в діапазоні частот від f_n до f_g . Використання шумової завади або шумоподібного сигналу для придушення каналу радіопідризу обумовлено:

- незнанням структури сигналу управління підризом, а отже, і найбільш інформативних його частот, на яких би мало бути зосереджено деструктивну енергію, що зменшило б співвідношення сигнал/шум на виході лінійної частини радіоприймача вибухового пристрою;

- небажанням спровокувати підриз випадковим його збігом із сигналом управління підризом.

Розглядатимемо випадок, коли відстань від передавача шумової завади до радіоприймача вибухового пристрою завжди менша або співставна з відстанню від передавача виконавця до радіоприймача вибухового пристрою. У цьому випадку роботу радіоканалу підризу гарантовано блокується, якщо [1]

$$P_3 G_3 \geq \frac{P_n G_n \Delta f_3}{\Delta f}, \quad (2)$$

P_3 , G_3 , Δf_3 – потужність, коефіцієнт підсилення антени та ширина смуги частот генератора зашумлення.

Не перейматимемося тут суто інженерними задачами спрямування шумової енергії у бік об'єкта захисту в великій смузі довжин хвиль від $\lambda_n = 5$ см до $\lambda_g = 12$ м. Вважатимемо цю задачу розв'язаною за допомогою підвищення потужності P_3 неспрямованих антен (штирова антена, $G_3 \approx 2$) для λ_g та можливість зниження потужності більш спрямованих антен для λ_n , для яких концентрація енергії випромінювання в куті розкриву, наприклад, у 60 градусів (у азимутальній і

кутомісній площинах) дозволяє у $G_3 = \frac{4}{2 - \sqrt{3}} \approx 14,93$ зменшити потужність випромінювання шумового сигналу.

Крім того, не розглядатимемо тут процеси входження генераторів шуму в робочі режими, які зазвичай потребують 3–4 секунди, або питання підтримання їх у “теплому” режимі на рівні 5–25 % від максимальної потужності для більш швидкого входження у робочий режим упродовж часового інтервалу до 0,25 с. Усе це необхідно буде розглянути згодом, коли остаточно визначимося з тактикою застосування зашумлювача радіоканалу підризу.

Мета роботи: обґрунтувати добуток $P_s G_s$ для гарантованого блокування радіоканалу підриву вибухового пристрою, що керується складномодульованими сигналами прихованого управління.

Розв'язання задачі

Оскільки підрип пристрою відбувається за допомогою радіоканалу з кінцевою ефективною шириною спектра Δf , усі його випадкові процеси – диференційовані у середньоквадратичному [2], а якщо характеристики приймального тракту радіоприймача вибухового пристрою не змінюються у часі, його можна подати в вигляді рис. 2. Радіоприймач з будь-якою структурою складається з тракту перетворення вхідних сигналів і порогового пристрою. Підрип відбувається, коли процес $\xi(t)$ перевищує деякий поріг виявлення h .



Рис. 2. Радіоприймач вибухового пристрою

Радіоканал управління вибуховим пристроєм має бути надійним з точки зору хибного підрипу вибухівки, тобто забезпечувати її неспрацювання в разі ненадходження від виконавця злочинного задуму сигналу підрипу і забезпечувати гарантоване спрацювання – у разі отримання цього сигналу. Нехай $\alpha(h, t_{\text{підр}})$ – імовірність хибного підрипу вибухівки за час підготовки об'єкта до підрипу $t_{\text{підр}}$, а $\beta(h, t)$ – імовірність пропуску команди на її підрип в разі надходження протягом деякого часу t сигналу від виконавця злочинного задуму.

Імовірність хибного підрипу вибухівки можна подати у вигляді [3]:

$$\alpha(h, t_{\text{підр}}) = 1 - [1 - \alpha(h, 0)] \cdot \exp\left(-\frac{\gamma(h) t_{\text{підр}}}{[1 - \alpha(h, 0)]}\right), \quad (3)$$

де $\alpha(h, 0)$ та $\gamma(h)$ – деякі функції порогу, що залежать від характеристик тракту перетворення вхідних сигналів. На рис. 3 подані розрахунки за виразом (3) для $\alpha(h, 0) = 7 \cdot 10^{-3}$ та $\alpha(h, 0) = 9 \cdot 10^{-5}$ і фіксованого значення $\gamma(h) = 10^{-5}$. Функції $\alpha(h, 0)$ завжди монотонно згасають зі зростанням h .

Вибір порогу h для радіоканалу підрипного пристрою і відповідного йому $\alpha(h, 0)$ залежить від задуму терористичного акту. Якщо злочинці прагнуть посіяти страх і паніку у населення, вочевидь, будуть обрані місця загального і масового скупчення людей зі швидкою реалізацією (підготовкою) злочинного задуму, коли час від моменту закладення вибухівки до моменту її підрипу – $t_{\text{підр}}$ складатиме

© Kulbачnyi Dmytro, Ievgrafov Dmytro, Bilohurov Volodymyr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).2](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).2)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

декілька хвилин. У цьому випадку злочинці не перейматимуться через необхідність забезпечити малі $\alpha(h,0)$: головне, щоб вибух не відбувся під час закладання і активізації пристрою, виходу виконавців із небезпечної зони дії факторів вибуху та зайвої уваги правоохоронних органів до місця вибуху.

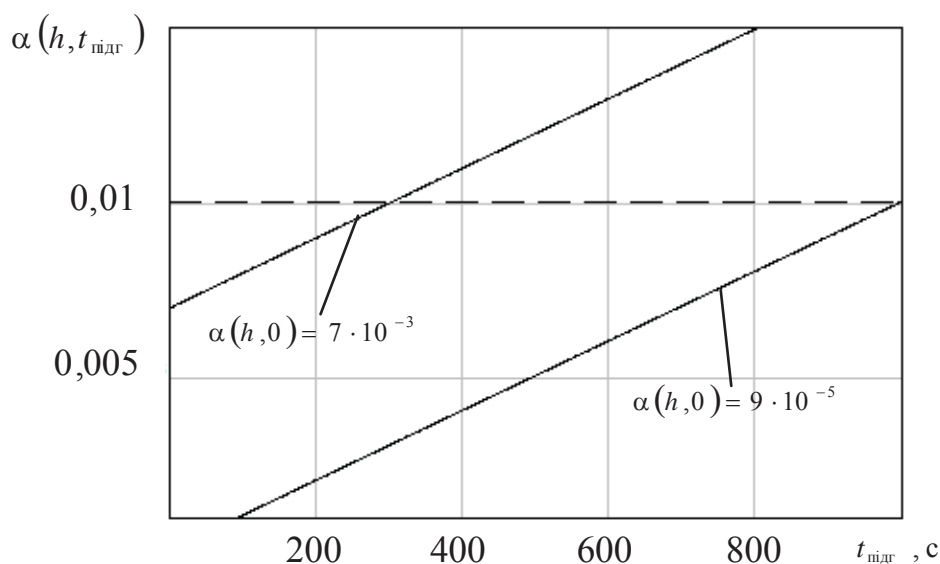


Рис. 3. Імовірність хибного підриву вибухівки

Вочевидь, запобігти терористичному акту в місцях загального і масового скупчення людей шляхом зашумлення радіоканалу підриву можна лише в разі візуального спостереження за виконавцем злочинного задуму і встановлення факту закладення ним вибухового пристрою. При цьому мети досягають лише в випадку, коли сигнал керування не настільки простий, щоб пороговий пристрій спрацював від шумового сигналу, а для протидії вибуху антени генератора шуму спрямовуються на місце закладення, і після оперативних заходів із визначення членів злочинного угруповання та їх затримки вибухівку знешкоджують.

Інша річ, коли метою злочинного угруповання є знищення конкретного об'єкта: високопосадовця, бізнесмена або людини, убивство якої призведе до бажаного негативного резонансу в суспільстві. У цьому випадку підготовка терористичного акту потребує більших зусиль, а імовірність $\alpha(h,0)$ має наближатися до нуля, оскільки час $t_{\text{пдр}}$ може вимірюватися годинами і навіть десятками годин.

Як бачимо, для досягнення бажано низького рівня хибного підриву вибухового пристрою, наприклад, у $\alpha(h, t_{\text{пдр}}) = 10^{-2}$ (пунктирна лінія на рис. 3), у першому випадку для $t_{\text{пдр}} = 300$ с. $\alpha(h,0) = 7 \cdot 10^{-3}$, а для $t_{\text{пдр}} = 1000$ с. $\alpha(h,0) = 9 \cdot 10^{-5}$. Отже, для однакових за якістю трактів перетворення вхідних сигналів радіоприймача вибухового пристрою поріг спрацювання у разі вибіркового знищення об'єкта має бути вищим.

Оскільки $1-\beta(h,t)$ – імовірність спрацювання вибухового пристрою за час дії сигналу підриву t на радіоприймач вибухового пристрою надійде $N = \frac{t}{\tau}$ сигналів на підрив, а радіоканал з імовірністю підриву за час τ $1-\beta(h,\tau)$ забезпечує підрив за час t з імовірністю

$$1-\beta(h,t) = \left[1-\beta(h,\tau)\right]^{\frac{t}{\tau}}, \quad (4)$$

якщо вважатиме спроби підриву незалежними подіями.

Залежність, розраховану відповідно до (4) для $\tau = 0,1; 0,2; 0,3$ с. і $1-\beta(h,\tau) = 0,5$, подано на рис. 4.

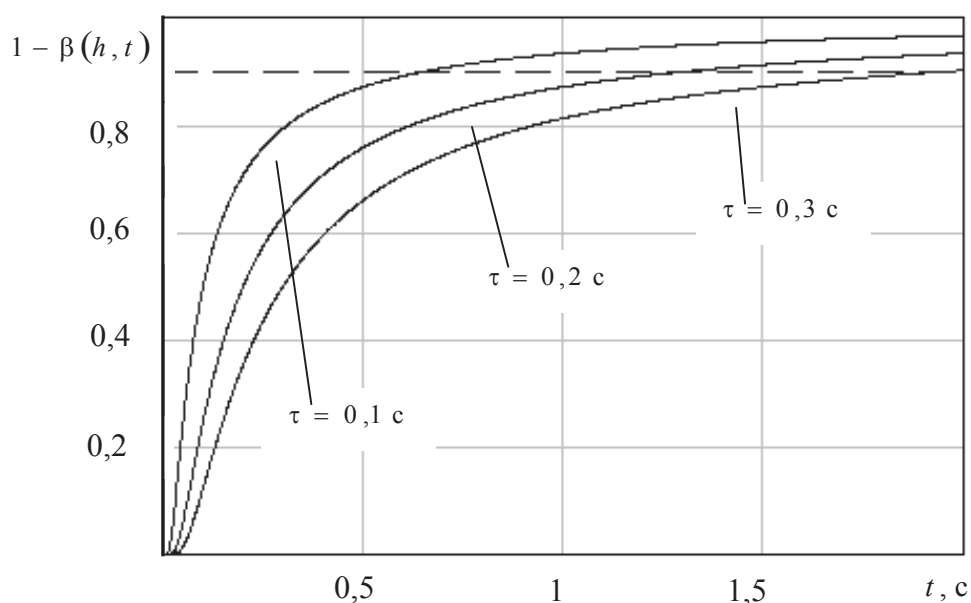


Рис. 4. Імовірність спрацювання вибухового пристрою

Пунктирною лінією на рис. 4 подано ймовірність спрацювання вибухового пристрою, що дорівнює 0,9. Як бачимо, для більш прихованих сигналів управління, для яких з метою досягнення фіксованої імовірності підриву $1-\beta(h,\tau)$ необхідні більш тривалі τ , зловмисникові знадобиться більший час t на утримання кнопки підриву.

Для розрахунків відповідно до виразу (2)

$$\Delta f_3 = f_s - f_n = 5975 \text{ МГц}, \quad (5)$$

а коефіцієнти підсилення антен передавача лежать в межах від $G_n \approx 2$ для простих і неспрямованих антен до $G_n = 10 \div 30$ – для прихованого дистанційного управління підривом, залежно від несної частоти f_0 . При цьому потужності передавачів, які застосовують зловмисники, лежать у межах від $P_n = 200$ мВт до $P_n = 1$ Вт.

Можливості сучасних CDR- технологій дозволяють обробляти сигнали для $\Delta f_{\max} = 2,85$ ГГц [4], що менше від розрахованого відповідно до (5). Проте генерування сигналів $C(t)$ в смузі Δf_{\max} – не виправдане. Навіть застосування сигналів з у радіоканалах, хоча й дає можливість повністю приховати сам факт передавання виконавцем сигналу підриву, коштує не виправдано дорого. У цьому випадку для найгірших з точки зору придушення параметрів, коли: $P_n = 1$ Вт, $G_n = 30$, з урахуванням (5), розрахунок відповідно до (2) дозволяє отримати значення шуканого добутку при використанні складномодульованих сигналів з максимально можливою базою:

$$P_3 G_3 \geq \frac{1 \cdot 30 \cdot 5,975 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^8} = 896,25 \text{ Вт.} \quad (6)$$

Отже, для спрямованості антен шумового генератора $G_3 = 14,93$ потужність випромінювання має бути не меншою за $P_3 = 60$ Вт, а оскільки при цьому споживна потужність у сотні-тисячі разів більша, залишається неефективним використання ширококутової шумової завади.

Подальші дослідження необхідно здійснювати за напрямом обґрунтування розрахункових виразів для функцій $\gamma(h)$, які разом з $\alpha(h,0)$ залежать від характеристик тракту перетворення вхідних сигналів. Крім того, дуже цікавим є дослідження згаданих функцій залежно від конкретних інженерних розв'язків радіоприймачів вибухового пристрою.

Проаналізоване вище дає можливість дійти низки висновків.

1. Придушення радіоканалу підриву вибухового пристрою шумовою завадою є недоцільним у зв'язку з великими споживними потужностями генераторів шуму. Бажано детальніше дослідити сигнали керування підривом з використанням відомих загальнодоступних пристроїв широкого вжитку та обґрунтувати шумоподібні сигнали, які ефективно їх придушуватимуть.

2. Дослідження параметрів трактів перетворення вхідних сигналів радіоприймачів вибухових пристроїв залежить від конкретних інженерних рішень з використанням сучасних цифрових технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Конахович Г.Ф., Климук В.П., Паук С.М.* и др. Защита информации в телекоммуникационных системах. К.: "МК-Пресс", 2005. 288 с., ил.
2. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
3. *Евграфов Д.В.* Асимптотически оптимальный последетекторный обнаружитель слабых сигналов неизвестной длительности. Радиоэлектроника. 2004. № 12. С. 36–39 (Изв. высш. учеб. заведений).
4. UM023 FMC230. FMC230: User Manual; Technical Report; 4DSP: Austin, TX, USA, 2015.

© Kulbачnyi Dmytro, Ievgrafov Dmytro, Bilohurov Volodymyr, 2020

REFERENCES

1. *Ievhrafov, D.V.* (2014) *Fizychni osnovy zakhystu informatsiyi v radioelektronniy aparaturi*. "Physical Bases of Information Protection in Electronic Equipment": textbook. K.: NTUU "KPI". 176 p. [in Ukrainian].
2. *Levin, B.R.* (1989) *Teoreticheskiye osnovy statisticheskoy radiotekhniki*. "Theoretical Foundations of Statistical Radio Engineering". M.: Radio and Communications. 656 p. [in Russian].
3. *Ievgrafov, D.V.* (2004) *Asimptoticheski optimal'nyy posledetektorny obnaruzhitel' slabykh signalov neizvestnoy dlitel'nosti*. "Asymptotically Optimal Post-Detector of Weak Signals of Unknown Duration". *Radioelectronics* 12, 36–39 [in Russian].
4. UM023 FMC230. FMC230: User Manual; Technical Report; 4DSP: Austin, TX, USA, 2015 [in English].

UDC 621.394

Kulbachnyi Dmytro,

Director of "Cold Sky Technologies", LLC, Kyiv, Ukraine,

Ievgrafov Dmytro,Leading Researcher of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0001-9651-1558,**Bilohurov Volodymyr,**Senior Staff Scientist of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0003-1896-0782**THE POSSIBILITY OF NOISE OF RADIO CHANNEL OF BLASTING
AN EXPLOSIVE DEVICE UNDER CONDITIONS OF A PRIORY
UNCERTAINTY REGARDING THE PARAMETERS
OF ITS CONTROL SIGNAL**

A radio channel for controlling an explosive device in the VHF wavelength range is considered. It is assumed that the location of the perpetrator of the criminal intent is unknown, and the control unit of the explosive device can use any signals to control the explosion: from simple narrowband and demonstrative to complexly modulated and allowing controlling the explosion in hidden way. It is so that preventing it from undermining under conditions of great uncertainty about the parameters of the control signal, especially when using complex modulated signals, suppresses its noise interference or noise signal. The value of the noise interference power gain for the noise interference antenna, for which the suppression of the blast radio channel will be guaranteed, is grounded. It is shown that in order to calculate a product, it is necessary to know the distribution of the absolute maximum of a random process in radio channels for the calculation of the probability of a false explosion during the preparation for signaling the explosion. An expression was found for the probability of missing a burst signal during its submission by the perpetrator, with the assumption that neighboring burst signals are independent. Depending on the intent of the crime, the requirements for the radio control of the explosion control and the associated types of control signals are substantiated. It has been proven that, in the case of demonstrative behavior by criminals, the reliability requirements for operating an explosive device will be much

© Kulbachnyi Dmytro, Ievgrafov Dmytro, Bilohurov Volodymyr, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).2](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).2)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

less stringent than in the case of concealed use of blasting radio channels. The power of the noise generator for successful suppression of the radio channel of the control of the explosive device is calculated and it is concluded that the noise interference is not appropriate in the uniform frequency spectrum. It is proved that the successful solution of the task is impossible without the knowledge of specific signals of explosion control.

Keywords: noise interference, noise-like signal, distribution of the absolute maximum of the differentiable in the mean square process, directional interference, spectral density of the noise power, noise generator power.

Отримано 07.11.2019

Рецензент к.т.н. Марченко О.С.