

УДК 517.977: 519.21: 621.396: 621.37

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫМ РЕСУРСОМ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ИНФОРМАЦИОННОГО КОНФЛИКТА

А. К. Гришко, к.т.н., доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета; alexey-grishko@rambler.ru

Проводится исследование процессов функционирования радиоэлектронной системы, состоящей из множества различных радиоэлектронных средств, подвергающихся в процессе работы непреднамеренным и преднамеренным помехам. Предметом исследования являются модели обеспечения электромагнитной совместимости совокупности радиоэлектронных средств. Цель работы состоит в том, чтобы выбрать оптимальный план работы множества различных радиоэлектронных систем и средств с целью повышения эффективности их совместного функционирования путем перестройки параметров излучений.

Для этого предлагается применение вероятностного подхода к анализу динамики состояний модели функционирования радиоэлектронных средств, построенной на основе теории полумарковских процессов.

В результате такого подхода получены модели для расчета и анализа эффективности функционирования радиоэлектронных средств, отличающиеся системным учетом всех факторов, влияющих на их совместную работу, и достоверностью формализации описания процесса.

На основе предложенных моделей можно осуществлять оптимальное планирование частотного ресурса с целью уменьшения уровня помех для радиоэлектронных средств, а это значит сформировать эффективную радиоэлектронную систему, оснащенную в том числе разнотипными радиоэлектронными средствами. Предложенные модели позволяют не только анализировать эффективность функционирования системы радиоэлектронных средств, но и решать обратные задачи по совершенствованию их защищенности до необходимого уровня.

Ключевые слова: радиотехническая система, радиоэлектронные средства, помехи, электромагнитная совместимость.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-28

Введение

Сравнительный анализ современных методов и моделей функционирования сложных радиоэлектронных систем, состоящих из множества радиоэлектронных средств, к тому же, как правило, разнотипных, во многих случаях является несовершенными [1-3]. Связано это с тем, что методика построения моделей не учитывает ряд особенностей и факторов, влияющих на эффективность функционирования.

Радиоэлектронные системы специального назначения имеют высокую плотность компоновки РЭС и их отдельных узлов, функционируют в тяжелых условиях, их эксплуатация должна учитывать одновременное использование и применение разнотипных РЭС различного назначения [3, 4].

Для обеспечения электромагнитной совместимости проводят определенные организационно-технические мероприятия:

1. Отключают одну из однотипных радиосистем или передачу информации разнотипными средствами, работающими в одном диапазоне частот, разносят во времени.

2. Ранжируют приоритеты РЭС по важности работы для возможного дальнейшего отключения менее важных из них в целях выполнения конкретных задач.

3. Ужесточают нормы частотно-территориального разнесения, в том числе увеличивают расстояния между группами и подразделениями, оснащенными РЭС.

4. Стараются применять радиосистемы, в которых автоматически блокируется прием или излучение конфликтного РЭС на время работы приоритетных.

Вышеперечисленные методы устранения проблем ЭМС достаточно эффективны в радиосистемах гражданского назначения и допустимы в специальных радиосистемах в период мирного

времени. Во время чрезвычайных ситуаций и военного противоборства решение проблемы ЭМС обычным отключением РЭС, снижающим боевую эффективность действий подразделений и групп, недопустимо.

Цель работы состоит в том, чтобы выбрать оптимальный план работы множества различных радиоэлектронных систем и средств с целью повышения эффективности их совместного функционирования путем перестройки параметров излучений.

Постановка задачи

Методы и модели, которые используют в настоящее время, ориентируются в первую очередь на наличие большого статистического материала, низкую динамику смены состояний внешних воздействий, а также низкую динамику состояний самой радиоэлектронной системы. Поэтому разработка методик расчета оценки эффективности функционирования сложных радиоэлектронных систем в условиях деструктивных внешних воздействий и в реальном масштабе времени является важной и актуальной.

Полумарковские процессы являются естественным и важным обобщением цепей и процессов Маркова, а также теории восстановления, что, в свою очередь, позволяет естественным образом моделировать широкий класс реальных систем. Полумарковский случайный процесс – это случайный процесс с конечным счетным множеством состояний, у которого в отличие от марковского процесса вероятность перехода из одного состояния в другое зависит от времени, которое он уже провел в первом состоянии [2, 4]. Оптимизируемая система осуществляет переход в новое состояние в соответствии с матрицей вероятностей перехода:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix}.$$

Элемент матрицы p_{ij} несет информацию о вероятности перехода рассматриваемой системы в состояние S_i из состояния S_j . Таким образом, каждая строка матрицы соответствует предыдущим состояниям, а каждый столбец – новым состояниям системы. Сумма элементов в любой строке равна единице. Предполагается, что после перехода модели в очередное состояние процесс ведет себя в дальнейшем так, как будто она в этом состоянии находилась в начальный момент времени, и для дальнейшей эволюции модели не имеет значения, каким образом она в это состояние попала.

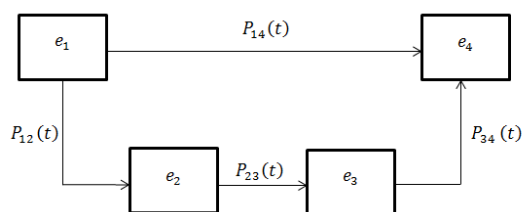
Эти свойства полумарковских процессов являются важными для обеспечения высокой динамичности разрабатываемой модели, а сравнительная простота и наглядность являются одними из определяющих для методологического выбора. Задача оптимизации поведения построенного ориентированного графа в случайной среде заключается в варьировании переменных параметров, при которых минимизируется определенная заранее заданная величина.

Синтез модели обеспечения ЭМС

Для расчета среднего времени успешной работы РЭС при воздействии радиопомех представим модель функционирования в виде полумарковской системы [5, 6]. Предположим, что РЭС с заданной эффективностью функционирует с момента t_0 до момента t_1 . Будем считать, что на этом временном интервале РЭС не подвергается воздействию преднамеренных помех.

В момент наступления времени t_2 приемные тракты РЭС начинают подвергаться воздействию непреднамеренных или преднамеренных помех и с этого момента начинаются мероприятия по защите РЭС путем перестройки его параметров.

Для построения графа выделяем два состояния РЭС в условиях воздействия помех – это успешное выполнение поставленной задачи и отстройка РЭС от помех. Динамику состояний полумарковского процесса, описывающую процесс функционирования радиоэлектронной системы в условиях воздействия помех с возможностью управления параметрами сигнала излучения РЭС с целью снижения влияния радиопомех, представим в виде ориентированного графа на рисунке.



Динамика состояний полумарковского процесса, описывающего функционирование радиоэлектронной системы в условиях воздействия помех

e_1 – РЭС не подвергается воздействию помех; появление помех возможно;

e_2 – переход РЭС в защищенное состояние с восстановлением работоспособности в условиях воздействия преднамеренных помех;

e_3 – РЭС функционирует в защищенном (восстановленном) режиме;

e_4 – РЭС завершает выполнение поставленного задания.

Полумарковский процесс будет находиться в состоянии e_1 , пока не наступит какое-нибудь из двух случайных событий: либо РЭС успешно выполнит поставленное задание до того, как появятся помехи и полумарковский процесс перейдет в состояние e_4 , либо произойдет обнаружение помехи на входе РЭС в процессе его функционирования до выполнения задания и полумарковский процесс перейдет в состояние e_2 . Полумарковский процесс также перейдет в состояние e_2 , если мощность помехи превысит пороговое значение мощности полезного сигнала в приемном тракте РЭС и при совпадении частот работы РЭС и помехи.

Полумарковский процесс будет находиться в состоянии e_2 , пока не будет достигнут требуемый уровень защищенности и работоспособность РЭС в условиях помех полностью не восстановится. После чего полумарковский процесс перейдет в состояние e_3 .

В состоянии e_3 полумарковский процесс будет находиться, пока не будет решена поставленная задача РЭС после восстановления ее работоспособности в условиях помех. После этого полумарковский процесс перейдет в состояние e_4 .

Система интегральных уравнений для расчета вероятностей выполнения задачи

Система интегральных уравнений для описания полумарковского процесса функционирования РЭС в условиях помех выглядит следующим образом [5, 6]:

$$\begin{aligned}\Psi_1(t) &= \int_0^t \Psi_2(t-u) dP_{12}(u) + P_{14}(t), \\ i &= 1 \div (n-1), \\ \Psi_2(t) &= \int_0^t \Psi_3(t-u) dP_{23}(u), \\ \Psi_3(t) &= P_{34}(t),\end{aligned}\quad (1)$$

где $\Psi_i(t)$ является функцией распределения времени успешного завершения процесса с условием его начала в состоянии e_i ($i=1,2,3$), P_{ij} – вероятности переходов полумарковского процесса из состояния e_i в состояние e_j , если полумарковский процесс в состоянии e_j находился в течение времени t .

Если численно или аналитически с помощью преобразования Лапласа решить систему интегральных уравнений относительно $\Psi_i(t)$, то можно получить функцию распределения времени успешной работы РЭС в условиях действия помех [7, 8], а значит вероятность выполнения поставленной задачи за период времени не более t .

Система алгебраических уравнений для расчета среднего времени управления параметрами РЭС в условиях воздействия помех

Для расчета среднего времени управления параметрами РЭС в условиях радиоэлектронного противодействия система алгебраических уравнений будет принимать следующий вид [1, 2, 9]:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \zeta_1 + p_{12}\tau_2, \\ \tau_2 &= \zeta_2 + p_{23}\tau_3, \\ \tau_3 &= \zeta_3,\end{aligned}\quad (2)$$

где τ_i – значение среднего времени успешного завершения процесса с условием его начала в состоянии e_i ($i=1,2,3$), p_{ij} – вероятности переходов из состояния e_i в состояние e_j , ζ_i – математическое ожидание времени нахождения полумарковского процесса в состоянии e_i .

Если численно или аналитически решить систему алгебраических уравнений относительно τ_i , то можно определить среднее время успешной работы РЭС в условиях воздействия помех.

Расчет вероятности совпадения частот и вероятности превышения мощности помехи над пороговым сигналом

При определении вероятности перехода $P_{12}(t)$ из состояния e_1 в состояние e_2 также необходимо учитывать дополнительно вероятность возможного совпадения частот РЭС и вероятность возможного превышения над пороговым сигналом мощности помех [1, 6].

Вероятность возможного совпадения частот РЭС, подчиненной нормальному закону с параметрами m и σ , можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned}\rho_f &= \rho^* \left(\left(\tilde{f}_c - \tilde{f}_n \right) < \xi \right) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^\xi e^{-\frac{(u-m)^2}{2\sigma^2}} du, \\ m &= \left(\tilde{f}_c - \tilde{f}_n \right), \sigma = \frac{km}{3},\end{aligned}\quad (3)$$

где ρ_f – вероятность совпадения частот РЭС, $\tilde{f}_c, \tilde{f}_n$ – значение случайной величины частоты сигнала и среднее значение частоты полезного сигнала, $\tilde{f}_n, \tilde{f}_n$ – значение случайной величины частоты помехи и среднее значение частоты помехи, (ξ) – минимальное допустимое рассогласование частот РЭС, при котором сказывается влияние помехи, k – максимальное возможное

рассогласование частот от m .

Вероятность превышения значения мощности помехи над пороговым значением мощности сигнала [1, 2, 6]

$$\rho_p = \rho^* \left(\tilde{P}_n \geq K_n \tilde{P}_c \right) = \int_0^\infty G_{K_n C}(u) dG_n(u), \quad (4)$$

где ρ_p – вероятность превышения случайного значения мощности помехи $\tilde{P}_n$, подчиненной нормальному закону распределения $G_{K_n C}$, над

случайным значением мощности сигнала $\tilde{P}_c$, и умноженной на коэффициент подавления K_n (пороговое значение мощности сигнала) на входе РЭС, P_c и P_n – соответственно математические ожидания мощности полезного сигнала и помехи.

Расчет вероятностей перехода полумарковского процесса функционирования РЭС в условиях воздействия помех

Вероятности переходов рассчитываются по формулам полумарковского процесса [1, 2, 10-12]:

$$\begin{aligned} P_{12}(t) &= \left[1 - (1 - \rho_f)(1 - \rho_p) \right] \int_0^t G_n(u) dG_p(t), \\ P_{14}(t) &= \int_0^t G_p(u) dG_n(t) + \\ &+ (1 - \rho_f)(1 - \rho_p) \int_0^t G_n(u) dG_p(t), \quad (5) \\ P_{23}(t) &= G_B(t), \\ P_{34}(t) &= G_p(t), \end{aligned}$$

где G_p – функция распределения времени работы РЭС, G_n – функция распределения времени до появления помехи, G_B – функция распределения времени восстановления работоспособности РЭС в условиях действия помех. Значения ρ_f и ρ_p берем из выражений (3) и (4). Подстановка выражений (5) в систему интегральных выражений (1) позволяет решить ее и определить функцию распределения времени выполнения поставленной перед РЭС задачи $\Psi_i(t)$.

При $t = \infty$ из уравнений (5) получаются значения вероятностей перехода (6), которые подставляются в систему алгебраических уравнений полумарковского процесса (2):

$$\begin{aligned} p_{12} &= P_{12}(t = \infty), \\ p_{14} &= 1 - p_{12}, \\ p_{23} &= P_{23}(t = \infty) = 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Определение значений математических ожиданий пребывания полумарковского процесса в состояниях e_1 и e_2

Математические ожидания времени пребывания полумарковского процесса в состояниях e_1 и e_2 рассчитываются по формулам [1, 2, 11-13]:

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= \int_0^\infty [1 - G_p][1 - G_n] d(t), \\ \zeta_2 &= \int_0^\infty [1 - G_B] d(t), \\ \zeta_3 &= \int_0^\infty [1 - G_p] d(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Их значения (7) также подставляются в систему алгебраических уравнений полумарковского процесса (2).

Определение среднего времени восстановления работоспособности РЭС и вероятности выполнения задания за время не более t

Система алгебраических уравнений имеет аналитическое решение, результирующее выражение которого относительно τ_1 , учитывая, что значение вероятности перехода полумарковского процесса из состояния e_2 в состояние e_3 равно единице (6), будет иметь следующий вид [1,2,6]:

$$\tau_1 = \zeta_1 + p_{12}(\zeta_2 + \zeta_3). \quad (8)$$

Для каждого конкретного образца РЭС существует определенный алгоритм, по которому осуществляется процесс восстановления его работоспособности в условиях воздействия помех и перестройка параметров его излучений [12, 13]. Случайное время, затрачиваемое на восстановление работоспособности РЭС, будет определяться электронными схемами, а также будет зависеть от входных случайных параметров помехи. При дальнейших расчетах функцию распределения случайного времени целесообразно аппроксимировать с помощью нормального закона. Функция распределения при условии успешного выполнения задания РЭС будет иметь следующее выражение [1, 12, 13]:

$$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(u-\tau_1)^2}{2\sigma^2}} d(u), \quad (9)$$

где значение τ_1 находится по формуле (8).

Таким образом, выражения полученного математического аппарата позволяют оценивать эффективность функционирования РЭС – вероятность успешного выполнения поставленного задания за время не более t .

Соответственно дополнительно появляется возможность исследовать зависимости этого по-

казателя эффективности от параметров процесса. Например, математического ожидания времени функционирования радиоэлектронного средства в процессе выполнения задания, математического ожидания времени до момента действия помех, математического ожидания времени восстановления работоспособности радиоэлектронного средства [6-8]. Также можно исследовать, как зависит показатель эффективности от того, что мощность помехи превысит порог значения над мощностью полезного сигнала, и вероятность того, что совпадут частоты радиоэлектронных средств.

Построение оптимального плана управления частотным ресурсом РЭС с учетом ограничений

Построение системы оптимального управления параметрами РЭС возможно на основе любой подходящей методики [9, 11-13]. Метод перебора применен для этих целей как самый простой и наглядный. Из множества возможных способов обеспечения эффективного функционирования каждого РЭС выбираются такие, которые будут обеспечивать [6, 9]:

$$\begin{aligned} \min \Delta &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{S_i} \Delta_{ij} \delta_{ij}, \\ \Delta_{ij} &= \ln(P_{ij\text{нпп}}(t) P_{ij\text{пп}}(t)), \\ P_{ij\text{нпп}}(t) &= P^* \left(\left(\frac{P_c}{P_{\text{нпп}}} \right) < K_{\text{нпп}} \right) = \\ &= \int_0^{K_{\text{нпп}}} g \left(\frac{P_c}{P_{\text{нпп}}} \right) d \frac{P_c}{P_{\text{нпп}}}, \\ P_{ij\text{пп}}(t) &= P^* \left(\left(\frac{P_c}{P_{\text{пп}}} \right) < K_{\text{пп}} \right) = \\ &= \int_0^{K_{\text{пп}}} g \left(\frac{P_c}{P_{\text{пп}}} \right) d \frac{P_c}{P_{\text{пп}}}, \end{aligned}$$

где Δ – интегральный логарифмический показатель уровня помех РЭС; $P_{\text{нпп}}(t)$ – значение вероятности возникновения непреднамеренных помех; $P_{\text{пп}}(t)$ – значение вероятности возникновения преднамеренных помех; $g \left(\frac{P_c}{P_n} \right)$ – значение плотности вероятности отношения мощности сигнала к помехе; $d \frac{P_c}{P_n}$ – дифференциал отношения мощности сигнала к помехе; K_n – коэффициент подавления; i – число РЭС; j – количество изменяемых параметров i -го РЭС; δ_{ij} – способ изменения j -го параметра i -го РЭС.

Необходим учет определенных ограничений [6, 9, 12]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{S_i} C_i^k \delta_{ij} &\leq \max C_i^k, k = \overline{1, \omega_i}, i = \overline{1, l}, \\ \sum_{i=1}^{S_i} C_i^k \delta_{ij} &\geq \min C_i^k, \\ \sum_{i=1}^{S_i} \delta_{ij} &= 1, i = \overline{1, l}, \end{aligned}$$

где C_i^k – k -й параметр для i -го РЭС при использовании j -го способа обеспечения его функционирования; S_i – количество способов изменения параметров в i -м РЭС; l – количество РЭС, интегрированных в общий комплекс; ω_i – количество параметров в i -м устройстве,

которые учитываются в ограничениях; $\sum_{i=1}^{S_i} \delta_{ij} = 1$ – показывает для i -го устройства обязательное применение одного из S_i – способов.

Таблица перебора формируется путем включения в нее номиналов рабочих частот для каждого РЭС и значений вероятностей появления помех на входных трактах РЭС для конкретного набора частот [6, 14, 15]. На основе заполненных данных таблицы перебора определяется оптимальный план функционирования каждого РЭС радиоэлектронной системы.

Варианты настройки параметров РЭС

Параметры РЭС	Варианты настройки РЭС 1				
	1	2	3	4	5
Δ	- 0,5	- 0,9	- 0,7	- 0,3	- 0,4
$f_{\text{раб}}$	27	28	29	30	31
Параметры РЭС	Варианты настройки РЭС 2				
	1	2	3	4	5
Δ	- 0,6	- 0,1	- 0,5	- 0,3	- 0,5
$f_{\text{раб}}$	27	28	29	30	31
Параметры РЭС	Варианты настройки РЭС 3				
	1	2	3	4	5
Δ	- 0,2	- 0,1	- 0,2	- 0,7	- 0,4
$f_{\text{раб}}$	27	28	29	30	31
Параметры РЭС	Варианты настройки РЭС 4				
	1	2	3	4	5
Δ	- 0,5	- 0,4	- 0,7	- 0,3	- 0,8
$f_{\text{раб}}$	27	28	29	30	31

В таблице рассмотрен пример выбора оптимального частотного плана работы четырех радиолокационных РЭС, имеющих возможность перестройки на пяти рабочих частотах. Таблица заполнена данными в соответствии с рассчитанными совпадениями частот по основным или побочным излучениями. На основании занесенных в таблицу данных получаем оптимальный

частотный план функционирования в виде:

- для РЭС 1 варианта настройки № 2;
- для РЭС 2 варианта настройки № 1;
- для РЭС 3 варианта настройки № 4;
- для РЭС 4 варианта настройки № 5.

Выбор оптимального частотного плана для сложных интегрированных радиоэлектронных комплексов или их групп и группировок будет определяться для гораздо большего количества РЭС. Автоматизация предложенной методики расчета исходных данных и сама процедура перебора данных таблицы не потребует больших затрат времени.

Выводы

Предложенные математические модели, построенные на основе теории полумарковских процессов, позволяют произвести расчет среднего времени эффективной работы РЭС в условиях помех, расчет вероятности успешного функционирования двух РЭС с учетом их взаимного влияния, а также позволяют оптимально управлять частотным ресурсом с целью уменьшения уровней помех для РЭС. Таким образом, методика построения оптимального плана функционирования совокупности радиоэлектронных средств будет формировать эффективную систему управления разнотипными РЭС.

Разработанный математический аппарат позволяет не только анализировать эффективность функционирования системы радиоэлектронных средств, но и решать обратные задачи по совершенствованию их защищенности до необходимого уровня.

Статья подготовлена в рамках проектной части государственного задания выполнения государственной работы «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных исследований и экспериментальных разработок)» №8.389.2014/К по теме «Информационные технологии анализа конструкций радиоэлектронных средств при воздействии внешних факторов».

Библиографический список

1. **Вентцель Е. С.** Теория вероятности. М.: Наука, 2005. 576 с.
2. **Черноруцкий И. Г.** Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
3. **Куприянов А. И., Шустов Л. Н.** Радиоэлектронная борьба. Основы теории. 2-е изд. М.: Вузовская книга, 2015. 800 с.
4. **Гришко А. К., Юрков Н. К., Артамонов Д. В., Канайкин В. А.** Системный анализ параметров и показателей качества многоуровневых конструкций радиоэлектронных средств // Прикаспийский журнал:

управление и высокие технологии. 2014. № 2 (26). С. 77-84.

5. **Гришко А. К., Юрков Н. К., Жашкова Т. В.** Динамическая оптимизация управления структурными элементами сложных систем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. № 4 (26). С. 134-141.

6. **Гришко А. К.** Динамический анализ и синтез оптимальной системы управления радиоэлектронными средствами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. № 4 (26). С. 141-147.

7. **Гришко А. К., Горячев Н. В., Юрков Н. К.** Анализ математических моделей расчета электроакустических полей и дальности действия радиолокационных систем методом последовательного анализа // Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 35. № 2-1. С. 16.

8. **Гришко А. К.** Цифровая обработка ансамблей сигналов в радиотехнических системах на основе обобщенной функции неопределенности // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 1. С. 220-221.

9. **Гришко А. К.** Алгоритм поддержки принятия решений в многокритериальных задачах оптимального выбора // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2016. № 1 (17). С. 242-248.

10. **Гришко А. К.** Оптимизация размещения элементов РЭС на основе многоуровневой геоинформационной модели // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2015. № 3 (47). С. 85-90.

11. **Гришко А. К.** Определение показателей надежности структурных элементов сложной системы с учетом отказов и изменения параметров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 2. С. 51-57.

12. **Гришко А. К.** Оптимальное управление параметрами системы радиоэлектронных средств на основе анализа динамики состояний в условиях конфликта // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2016. № 2 (38). С. 102-111.

13. **Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Brostilov S., Yurkov N.** Management of Structural Components Complex Electronic Systems on the Basis of Adaptive Model. 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science (TCSET). Lviv-Slavska, Ukraine, February 23-26, 2016. pp. 214-218. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452017.

14. **Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Yurkov N.** Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference. 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow, Russia, May 12-14, 2016. pp. 1-4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.

15. **Grishko A., Goryachev N., Yurkov N.** Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, no. 23 (2015), pp. 43842-43845.

UDC 517.977: 519.21: 621.396: 621.37

OPTIMAL CONTROL OF FREQUENCY RESOURCE IN RADIO ELECTRONIC SYSTEMS ON THE BASIS OF PROBABILITY ANALYSIS OF INFORMATION CONFLICT DYNAMICS

A. K. Grishko, PhD (technical sciences), associate professor, Penza State University, Penza, alexey-grishko@rambler.ru

*The research is focused on the study of processes in radio-electronic system that consists of multiple various radio devices, actively used in the conditions of intentional and unintentional interference. The object of the research is models for ensuring electromagnetic compatibility of the total of radio-electronic devices. **The research** is aimed at finding the optimal plan for the operation of multiple radio-electronic devices so as to increase the efficiency of joint performance by means of readjusting the emittance parameters.*

The probability approach is offered to be used for the analysis of state dynamics of the model of radio-electronic devices, built on the basis of the theory of semi-Markov processes.

As a result of the application of this approach the models were obtained allowing calculating and analyzing system performance efficiency. These models consider the complex of factors influencing joint operation and are characterized by reliable formalized process description.

The suggested models may help to perform optimal planning of frequency resource so as to reduce the interference level for radio-electronic devices, and in this way to build an efficient radio-electronic system equipped with various types of radio-electronic devices. The suggested models do not only allow to analyse the efficiency of system operation but to solve inverse problems aimed at improving their protection until it reaches the level desired.

Key words: radio system, radio-electronic devices, interference, electromagnetic compatibility.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-27

References

1. **Wentzel E. S.** *Teoriya Veroyatnosti* (Probability Theory), Moscow, Nauka, 2005, 576 p. (in Russian).
2. **Chernorutsky I. G.** *Metody prinyatiya resheniy* (Methods of Decision-Making), St. Petersburg, 2005, BHV-Peterburg, 416 p. (in Russian).
3. **Kupriyanov A. I., Shustov L. N.** *Radioelektron-naya borba. Osnovy teorii.* (Radio Warfare. Theory Basics), Moscow, Vuzovskaya kniga, 2015, 800 p. (in Russian).
4. **Grishko A. K., Yurkov N. K., Artamonov D. V., Kanaikin V. A.** Sistemniy analiz parametrov i pokazateley kachestva mnogourovnevnykh konstruktsiy. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii.* 2014, no. 2 (26), pp. 77-84 (in Russian).
5. **Grishko A. K., Yurkov N. K., Zhashkova T. V.** Dinamicheskaya optimizatsiya upravleniya strukturnymi elementami slozhnykh sistem. *XXI vek: itogi proshlogo i problemi nastoyashchego plus.* 2015, no. 4(26), pp. 134-141 (in Russian).
6. **Grishko A. K.** Dinamicheskii analiz i sintez optimalnoy sistemy upravleniya radioelektronnyimi sredstvami. *XXI vek: itogi proshlogo i problemi nastoyashchego plus.* 2015, no. 4(26), pp. 141-147 (in Russian).
7. **Grishko A. K., Goryachev N. V., Yurkov N. K.** Analiz matematicheskikh modeley rascheta elektroakusticheskikh poley i dalnosti deistviya radiolokatsionnykh sistem metodom posledovatel'nogo analiza. *Inzhenernyy vestnik Dona.* 2015, no. 35, no. 2-1, p.16 (in Russian).
8. **Grishko A. K.** Tsifroaya obrabotka ansambley signalov v radiotekhnicheskikh sistemakh na osnove obobshchennoy funktsii neopredelennosti. *Trudy mezhdunarodnogo simposiuma Nadezhnost i kachestvo.* 2009, vol. 1, pp. 220-221 (in Russian).
9. **Grishko A. K.** Algoritm podderzhki prinyatiya resheniy v mnogokriterialnykh zadachakh optimalnogo vybora. *Modeli, sistemi, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve.* 2016, no. 1(17), pp. 242-248 (in Russian).
10. **Grishko A. K.** Optimizatsiya razmeshcheniya elementov RES na osnove mnogourovnevnoy geoinformatsionnoy modeli. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnichestkiye nauki.* 2015, no. 3(47), pp. 85-90 (in Russian).
11. **Grishko A. K.** Opredeleniye pokazateley nadezhnosti strukturnykh elementov slozhnoy systemy s uchetom otkazov i izveneniya parametrov. *Izmereniye. Monitoring. Upravleniye. Kontrol.* 2016, no. 2, pp. 51-57 (in Russian).
12. **Grishko A. K.** Optimalnoye upravleniye parametrami sistemy radioelektronnykh sredstv na osnove analiza dinamiki sostoyaniy v usloviyakh konflikta. *Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhsky region. Tekhnicheskkiye nauki.* 2016, no. 2 (38), pp. 102-111 (in Russian).

13. **Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Brostilov S., Yurkov N.** Management of Structural Components Complex Electronic Systems on the Basis of Adaptive Model. *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science (TCSET)*. Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 26, 2016. pp. 214-218. DOI:10.1109/TCSET.2016.7452017.

14. **Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Yurkov N.** Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Inter-

ference. *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. Moscow, Russia, May 12-14, 2016. pp. 1-4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.

15. **Grishko A., Goryachev N., Yurkov N.** Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems. *International Journal of Applied Engineering Research*. Volume 10, no. 23 (2015), pp. 43842-43845.