



УДК [623.462:[623.623:623.76]]:623.62
ГРНТИ 78.22.01.51

МОДЕЛЬ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗОНАЛЬНОЙ ПВО ПРОТИВНИКА КРЫЛАТЫМИ РАКЕТАМИ В УСЛОВИЯХ РЭБ

А.А. ДОНЦОВ, доктор технических наук, доцент

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В.Ю. ИКОННИКОВ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Разработана модель преодоления эшелонированной зональной противовоздушной обороны (ПВО) противника крылатыми ракетами в условиях радиоэлектронной борьбы с помощью модифицированных сетей Петри-Маркова с произвольными законами плотности распределения времени переходов. Это позволило учесть все возможные связи текущих состояний взаимодействующих систем боевого порядка крылатых ракет с комплексом адаптации, средств радиоэлектронного поражения и зенитных ракетных комплексов эшелонированной зональной системы ПВО противника, обеспечить корректное вложение множеств произвольных многопараметрических временных и вероятностных законов обнаружения средств разведки противостоящих систем в условиях радиоэлектронного поражения. Представлена усовершенствованная структурная схема модели преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами, включающая в свой состав блоки, характеризующие состояния боеспособности в текущий момент времени заданного наряда крылатых ракет из состава общего боевого порядка при массированном адаптивном ударе крылатыми ракетами и противостоящих им зенитных ракетных комплексов большой и средней дальности действия зональной системы ПВО противника. Произведена модификация сети Петри-Маркова и представлена в виде схемы комплексной модели, описывающей процессы конфликтного взаимодействия крылатой ракеты с комплексом адаптации и ЗРК системы ПВО противника в условиях радиоэлектронного поражения. С целью оценки эффективности преодоления ПВО средствами поражения, наделенными адаптацией в условиях блокирования, создана программа для ЭВМ в системе MATLAB 8.1.0 (R2014a), позволяющая натурно показать основные состояния элементов противоборствующих систем и оценить эффективность способа преодоления средств ПВО противника крылатыми ракетами при применении комплекса адаптации крылатых ракет и средств радиоэлектронного поражения в режиме блокирующих ударов.

Ключевые слова: эшелонированная система ПВО противника, крылатая ракета, адаптивный маневр, радиоэлектронное поражение, аппарат сетей Петри-Маркова.

A MODEL OF OVERCOMING THE ENEMY'S ECHELONED ZONAL AIR DEFENSE WITH CRUISE MISSILES IN THE ELECTRONIC COUNTERACTION CONDITIONS

A.A. DONTSOV, Doctor of Technical sciences, Associate Professor

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

V.Y. IKONNIKOV

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

A model of overcoming the enemy's echeloned zonal air defense (air defense) by cruise missiles in the electronic warfare conditions using modified Petri-Markov networks with arbitrary laws of the transition time density distribution is developed. This made it possible to take into account all possible



connections between the current states of the interacting systems of the combat order of cruise missiles with the adaptation complex, means of electronic destruction and anti-aircraft missile systems of the echeloned zonal air defense system of the enemy, to ensure the correct investment of sets of arbitrary multiparametric time and probabilistic laws for detecting intelligence means of opposing systems in electronic destruction conditions. An improved structural scheme of the overcoming enemy's echeloned zonal air defense with cruise missiles model is presented, which includes blocks that characterize the combat capability states at the current time of a given order of cruise missiles from the general combat order with a massive adaptive strike by cruise missiles and opposing long- and medium-range anti-aircraft missile systems of the enemy's zonal air defense system. The modification of the Petri-Markov network is made and presented in the form of a scheme of a complex model describing the processes of conflict interaction of a cruise missile with an adaptation complex and an air defense system of the enemy in the electronic destruction conditions. In order to assess the effectiveness of overcoming air defense with means of destruction endowed with adaptation in blocking conditions, a computer program was created in the MATLAB 8.1.0 (R2014a) system, which allows to show the main states of the elements of the opposing systems in full-scale and to evaluate the effectiveness of the method of overcoming the enemy's air defense with cruise missiles when using the complex of adaptation of cruise missiles and means of electronic destruction in the blocking strikes mode.

Keywords: echeloned enemy air defense system, cruise missile, adaptive maneuver, electronic defeat, Petri-Markov network apparatus.

Введение. В современных условиях крылатые ракеты (КР) являются одним из основных средств поражения важных удаленных объектов противника и обеспечивают высокую вероятность их поражения за счет высокой точности попадания в цель (0,8–0,95 в полигонных условиях).

Исследование опыта применения КР показывает, что в условиях противодействия хорошо организованной эшелонированной системы противовоздушной обороны (ПВО) противника вероятность поражения объектов крылатыми ракетами снижается до 0,3–0,4. Следовательно, возникает необходимость поиска путей повышения эффективности преодоления ПВО крылатыми ракетами.

Реализация современных направлений снижения воздействия средств ПВО и повышение боевой устойчивости КР осуществляется за счет уменьшения ее радиолокационной заметности, снижения высоты полета, увеличения количества программ полетов, возможности их быстрой замены или корректировки во время полета ракеты. Новые версии крылатых ракет обладают высокой маневренностью, что позволяет реализовать ряд запрограммированных маневров уклонения от огня ПВО [1]. Однако, как показывают результаты боевого применения КР, эти направления в современных условиях недостаточно эффективны.

Исследования эффективности информационных конфликтов в условиях РЭБ осуществлялись многими учеными [2]. Теоретическую основу исследования эффективности информационно-боевых подсистем крылатых ракет и средств ПВО в условиях РЭБ составляют математические модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения [3]. Получаемые с помощью этих моделей вероятностно-временные зависимости могут использоваться как исходные данные для моделей не только информационного, но и боевого конфликта в условиях активных действий по РЭБ. Для моделирования процесса преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами наиболее приемлемым математическим аппаратом с целью анализа информационно-боевых показателей такого конфликта является аппарат сетей Петри-Маркова и его модификации [4], позволяющий адекватно описать многообразие параллельных и последовательных процессов функционирования элементов информационно-боевых систем, а также их взаимного влияния [5].



Актуальность. При моделировании процессов конфликта крылатых ракет и средств ПВО в условиях РЭБ с помощью сетей Петри-Маркова существуют ограничения, заключающиеся в ограниченности логических условий продолжения процессов элементарной конъюнкцией и необходимыми условиями симметричности переходов, а также законов плотности распределения времени переходов, строго учитывающих характеристики многообразных помеховых воздействий, которые не позволяют адекватно моделировать процессы конфликта в условиях РЭБ.

В связи с этим возникает необходимость модификации аппарата сетей Петри-Маркова для снятия ограничений при моделировании конфликта противоборствующих систем в условиях РЭБ [6].

Новизна модели заключается в процедурах описания адаптивных маневров крылатых ракет в условиях РЭБ условными модифицированными функциональными переходами сети Петри-Маркова.

Модель позволяет описать процессы функционирования противоборствующих систем в условиях огневого и радиоэлектронного противоборства. Показатели, характеризующие состояние боеспособности противоборствующих систем крылатых ракет и эшелонированной ПВО в условиях РЭБ в процессе и по окончании информационно-огневого конфликта, связаны с частными вероятностными, временными и вероятностно-временными показателями.

Разработанная модель учитывает все возможные взаимные влияния состояний элементов противоборствующих систем с учетом текущих условий и их взаимного пространственного положения, а также позволяет включить в общий процесс взаимодействия отдельные фазовые состояния ЗУР ЗРК с радиолокационными системами наведения, моделирование которых в типовых условиях функционирования крылатых ракет с комплексом адаптации может быть выполнено для разных ЗРК большой и средней дальности типа «Патриот» и «Ус. Хок».

Целью статьи является разработка модели адаптивного преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами в условиях РЭБ на основе модифицированного аппарата сетей Петри-Маркова.

Для построения модели преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами и уменьшения числа состояний и переходов введем определения, задающие свойства переходов.

Определение 1. Переход $Z_{J(Z^{A(B)})}^{A(B)}$ называется логическим несимметричным, если для его входной и выходной функций выполняется условие:

$$\left| I_{S^A \cup S^B}^{A(B)}(Z_{J(Z^{A(B)})}^{A(B)}) \right| \neq \left| O_{S^A \cup S^B}^{A(B)}(Z_{J(Z^{A(B)})}^{A(B)}) \right|, \quad (1)$$

где $|\dots|$ – мощность соответствующего множества, а его срабатывание определяется элементами $I_{j(Z^{A(B)})j(S^{A(B)})}^{A(B)}$ логической матрицы $L^{A(B)}$ при заданных условиях активного состояния комбинаций входов $I_S(Z_{j(Z)})$. Элементы логической матрицы $L^{A(B)}$, определяющие условия срабатывания несимметричного логического перехода, будем обозначать в квадратных скобках.

Примеры логических несимметричных переходов и результат свертывания n переходов Z^A в один приведены на рисунке 1.

Переход в состояние S_2^A выполняется при условии одновременного активного состояния позиции S_1^A и хотя бы одной из позиций S_1^B, \dots, S_m^B . Как видно из примера, применение логического несимметричного перехода позволяет существенно сократить число состояний сети Петри-Маркова.



Определение 2. Переход $Z_{J(Z^{A(B)})}^{A(B)}$ называется условным, если вероятностно-временные характеристики его срабатывания определяются не только активностью входной функции перехода, но и активными состояниями заданного набора позиций сети и (или) значениями временных параметров сети. Условный переход может быть стартовым или функциональным.

При срабатывании условного перехода состояния позиций, определяющих условия его срабатывания, не изменяются, поэтому их связь с условными переходами на схемах будем обозначать пунктирными стрелками.

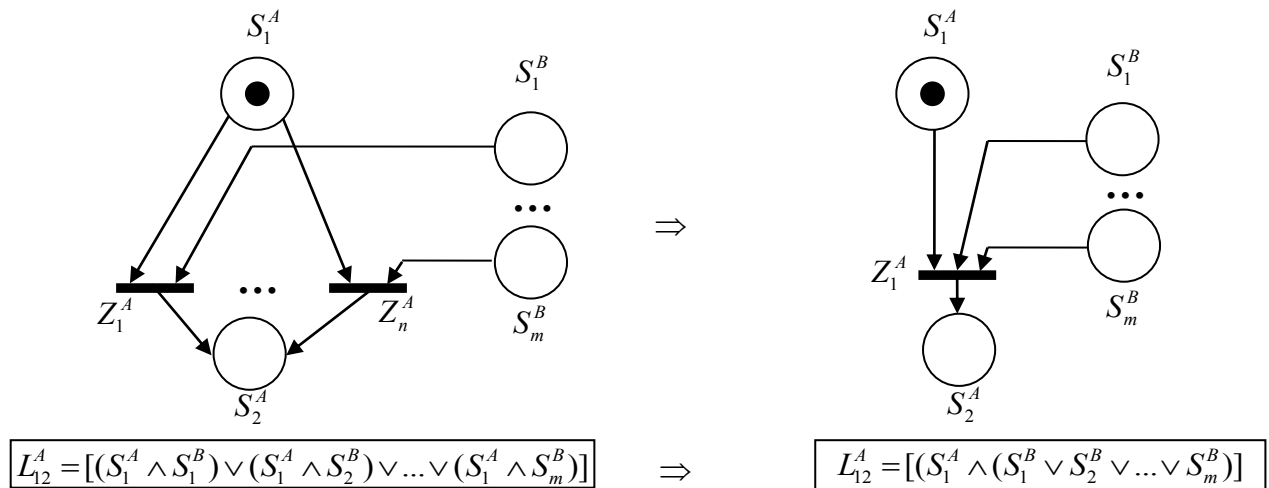


Рисунок 1 – Пример свертывания n переходов в один логический несимметричный

Условный стартовый переход $Z_{j(Z^{A(B)})}^{A(B)}$ предназначен для инициализации процессов функционирования противоборствующих систем сторон «А» и «В», посредством активации ранее неактивных состояний $O_{S^A \cup S^B}^{A(B)}(Z_{j(Z^{A(B)})}^{A(B)})$, с вероятностно-временными характеристиками $\langle p_{j(Z^{A(B)})J(S^{A(B)})}^{A(B)} \rangle$, $\langle f_{j(Z^{A(B)})J(S^{A(B)})}^{A(B)}(t) \rangle$ при выполнении логических условий $\langle l_{j(Z^{A(B)})J(S^{A(B)})}^{A(B)} \rangle$. Здесь и далее вероятностно-временные характеристики и логические условия условных переходов будем обозначать в треугольных скобках.

Примеры условных стартовых переходов, их вероятностно-временные характеристики и логические условия приведены на рисунке 2.

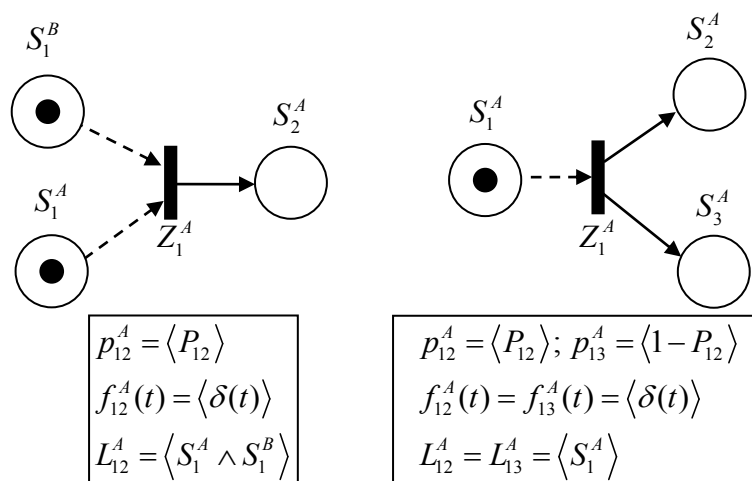


Рисунок 2 – Условные стартовые переходы



Дополнительно в качестве логических условий срабатывания условного перехода $Z_{j(Z^{A(B)})}^{A(B)}$ могут применяться условия нахождения значений текущих параметров сети Петри-Маркова в заданных интервалах (например, текущее расстояние стороны «А» от стороны «В» меньше дальности обнаружения средств разведки стороны «В»). Условный функциональный переход $Z_{j(Z^{A(B)})}^{A(B)}$ обеспечивает передачу активных входных состояний:

$I_{S^A \cup S^B}^{A(B)}(Z_{j(Z^{A(B)})}^{A(B)})$ в выходные $O_{S^A \cup S^B}^{A(B)}(Z_{j(Z^{A(B)})}^{A(B)})$ с вероятностно-временными характеристиками $\langle p_{j(Z^{A(B)})J(S^{A(B)})}^{A(B)} \rangle$, $\langle f_{j(Z^{A(B)})J(S^{A(B)})}^{A(B)}(t) \rangle$, определяемыми логическими условиями $\langle l_{j(Z^{A(B)})J(S^{A(B)})}^{A(B)} \rangle$.

На рисунке 3 показан условный функциональный переход Z_1^A , вероятностно-временные характеристики которого зависят от состояния S_1^B .

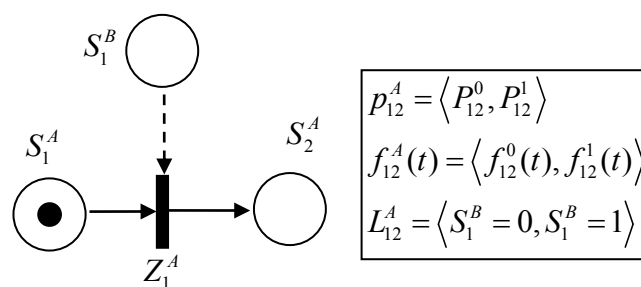


Рисунок 3 – Условный функциональный переход

Схема модели преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами в обобщенном структурном виде представлена на рисунке 4.

Модель включает в свой состав блоки, характеризующие состояния боеспособности в текущий момент времени заданного наряда крылатых ракет из состава общего боевого порядка при массированном адаптивном ударе крылатыми ракетами и противостоящих им зенитными ракетными комплексами (ЗРК) большой и средней дальности действия зональной системы ПВО противника. Состояние боеспособности противоборствующих систем изменяется с учетом динамических изменений их взаимного пространственного положения и воздействия следующих процессов:

процессов обнаружения, захвата, автосопровождения и поражения крылатых ракет зенитными ракетными комплексами эшелонированной зональной ПВО противника;

процессов обнаружения излучения РЛС ЗРК комплексом адаптации КР, выполнение адаптивного маневра крылатыми ракетами;

процессов функционирования средств РЭБ в режиме блокирующих ударов с целью радиоэлектронного поражения радиоэлектронных средств ПВО противника.

Радиоэлектронное поражение (РЭПр) – воздействие на радиоэлектронную аппаратуру путем облучения их специальными, мощными излучениями (импульсами), которое приводит к повреждению, разрушению и необратимому изменению характеристик электронных, полупроводниковых, ферритовых, оптических, акустических и других элементов этих систем.

В качестве исходных данных в модели использованы:

1. Основные характеристики модели:

F – число испытаний; T_M – время моделирования; $S_{ПВО}$ – ширина зоны ПВО; $L_{ПВО}$ – глубина зоны ПВО.

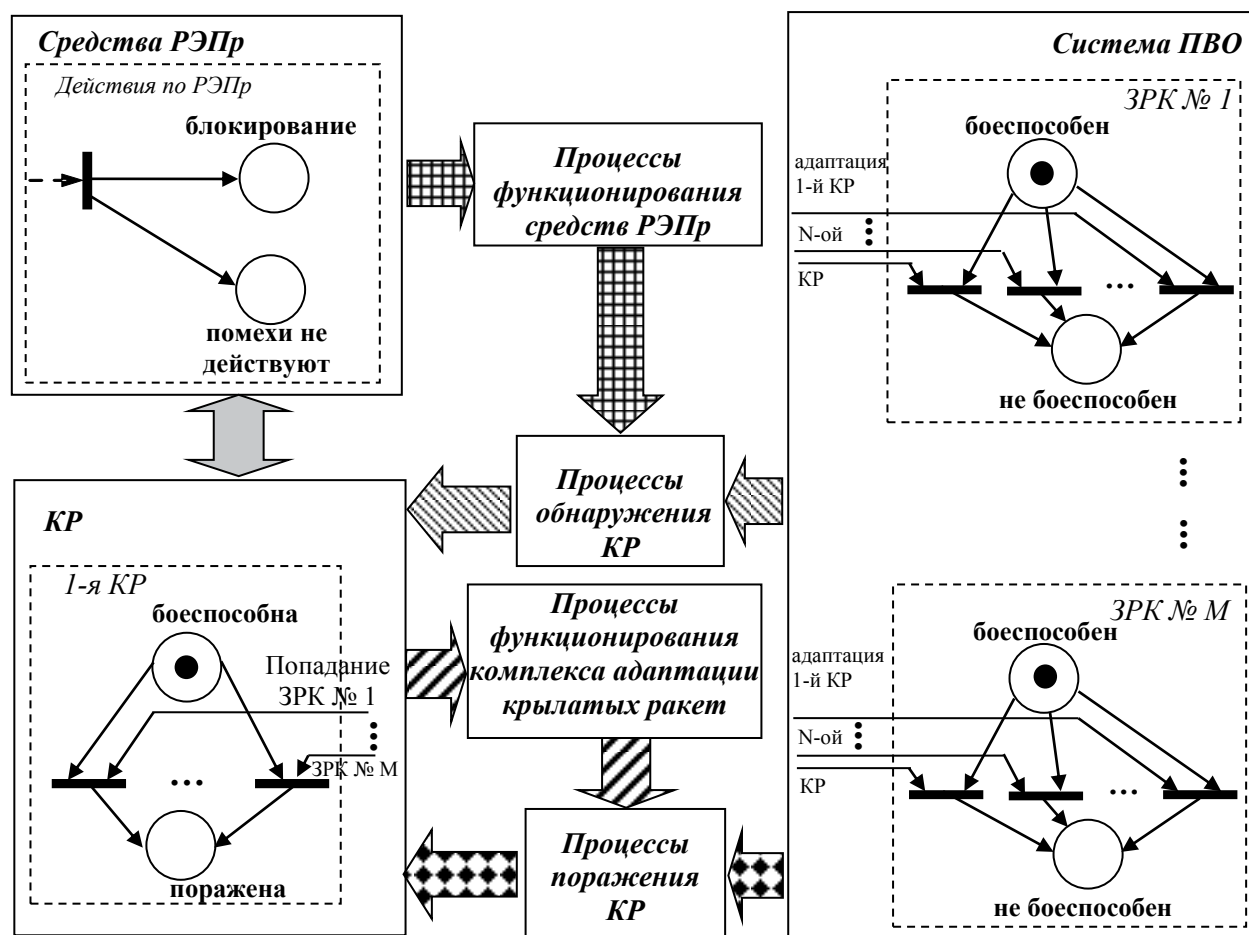


Рисунок 4 – Обобщенная структурная схема модели преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами

2. Характеристики боевого порядка крылатых ракет:

$N_{кр}$ – количество крылатых ракет в боевом порядке;

$X_{п}^{кр}, Y_{п}^{кр}, H_{п}^{кр}$ – координаты крылатых ракет;

$n = 1 \dots N$; $V_{кр} = 200 - 250 \text{ м/с}$ – средняя скорость полета крылатой ракеты;

$\sigma_{кр}$ – среднее квадратическое отклонение (СКО) скорости полета крылатой ракеты;

a, b – интервал и дистанция между крылатыми ракетами в боевом порядке.

3. Характеристики процессов функционирования крылатых ракет с комплексом адаптации:

$D_{обн}^{зрк}$ – средняя дальность начала процесса обнаружения ЗРК крылатой ракетой;

$P_{обн}^{зрк}$ – вероятность обнаружения излучения ЗРК;

$P_{нав}^{зур}$ – вероятность обнаружения цикла наведения ЗУР;

$t_{ад}$ – среднее время выполнения адаптивного маневра крылатой ракетой для достижения требуемого эффекта;

$P_{ад}$ – вероятность выполнения адаптивного маневра крылатой ракетой;

$P_{ад} = 0$ – вероятность адаптивного маневра крылатой ракеты без применения комплекса адаптации;

$P_{ад} = 0,8$ – вероятность выполнения адаптивного маневра крылатой ракетой с



применением комплекса адаптации, при котором происходит промах ЗУР или срыв «захвата» ЗРК.

4. Характеристики процессов функционирования средств РЭБ:

$K_{рэб} = 1$ – значение коэффициента, означающее не применение средств РЭБ;

$K_{рэб} = 2$ – значение коэффициента РЭБ при применении наземных станций РЭБ;

$K_{рэб} = 3$ – значение коэффициента РЭБ при совместном применении наземных станций РЭБ и самолета-постановщика помех;

$K_{рэб} = 4$ – значение коэффициента РЭБ при совместном применении наземных станций РЭБ и вертолетов-постановщиков помех;

$K_{рэб} = 5$ – значение коэффициента РЭБ при комплексном применении наземных станций РЭБ, самолета-постановщика помех и вертолетов-постановщиков помех в режиме блокирующих ударов с целью РЭПр средств ПВО противника;

$t_{рэПр}$ – среднее время эффективного действия средств РЭПр в режиме блокирующих ударов.

5. Характеристики ЗРК:

M – количество ЗРК; $m = 1...M$;

$X_m^{зрк}, Y_m^{зрк}$ – координаты ЗРК;

$\sigma_{зрк}$ – среднеквадратическое отклонение места расположения боевых позиций ЗРК в километрах;

$D_{обн}$ – средняя дальность обнаружения КР зенитным ракетным комплексом на заданной высоте;

$H_{пор\min}$ – минимальная высота поражения КР зенитным ракетным комплексом;

$P_{пор}$ – вероятность поражения крылатой ракеты ЗУР ЗРК;

$P_{обн}$ – вероятность обнаружения крылатых ракет ЗУР ЗРК;

$t_{обн}$ – время обнаружения цели ЗРК;

$t_{реакц}$ – время реакции ЗРК;

угол закрытия ЗРК $E_{закр} = 0$;

БК – боевой комплект ЗУР зенитной ракетной батареи, ЗРК «Патриот» – 32 ЗУР, ЗРК «Ус. Хок» – 27 ЗУР;

средняя скорость полета ЗУР $V_{зур} = 600$ м/с.

Основные ограничения и допущения, принятые в модели:

– построение эшелонированной зональной ПВО осуществлялось с учетом созданной оперативно-тактической обстановки и в соответствии с оперативно-тактическими нормативами построения боевых порядков батарей ЗРК на местности путем определения координат боевых позиций ЗРК ПВО. Состав зенитных ракетных дивизионов «Патриот» – 6-8 зенитных ракетных батарей, зрдн «Ус. Хок» – 3 зенитных ракетных батареи;

– движение крылатых ракет прямолинейное равномерное по выбранному маршруту полета с учетом расположения зон поражения ЗРК, с нормально распределенной случайной скоростью;

– комплексы адаптации крылатых ракет ведут поиск и обнаружение облучения РЛС ЗРК по маршруту полета в секторе поиска, по характеру изменения зондирующего сигнала РЛС определяется момент перехода РЛС из режима «обзор» в режим «захват», что является сигналом к применению соответствующего условиям обстановки адаптивного маневра для преодоления противодействия средства ПВО;



– ЗРК ведут последовательный сосредоточенный огонь по крылатым ракетам с контролем эффективности поражения, с учетом заданного цикла и тактики стрельбы (2 ЗУР на одну цель), боевым запасом ЗУР, установленным для типов ЗРК.

На рисунке 5 представлен фрагмент комплексной модели в виде модифицированной сети Петри-Маркова, описывающий процессы конфликтного взаимодействия крылатой ракеты с комплексом адаптации и ЗРК системы ПВО противника в условиях РЭПр.

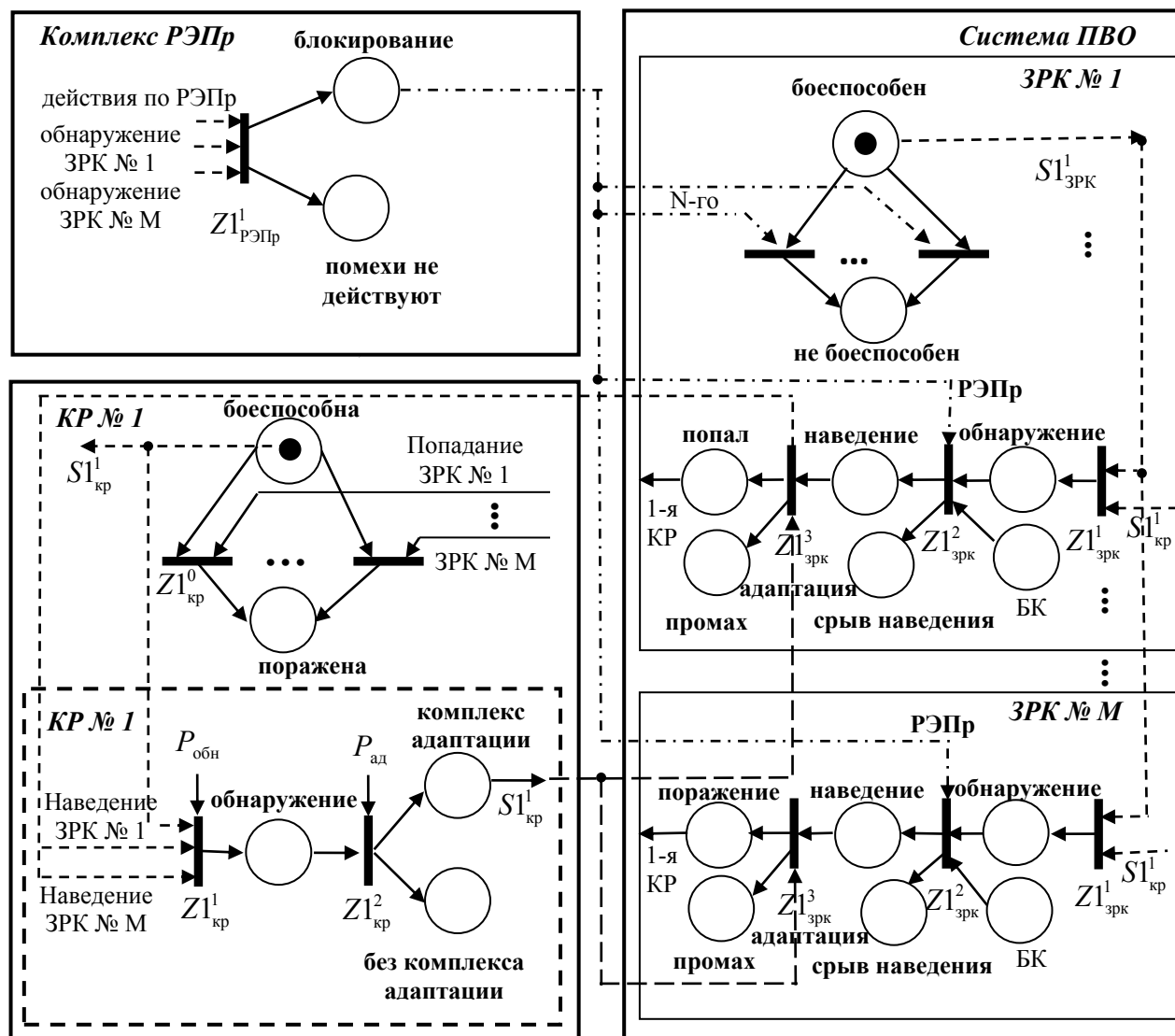


Рисунок 5 – Процессы конфликтного противодействия крылатой ракеты с ЗРК системы ПВО в условиях применения РЭБ

На рисунке 5 приняты следующие обозначения:

$S1^1_{кр}$ – состояние, характеризующее боеспособность крылатой ракеты № 1, соответствующее маркировке соответствующей позиции «боеспособна» сети Петри-Маркова ($S1^1_{кр}=1$ – крылатая ракета боеспособна; $S1^1_{кр}=0$ – крылатая ракета «поражена»);

$S1^m_{зрк}$ – состояние, характеризующее боеспособность ЗРК № m , $m = 1...M$;

БК – боекомплект ЗРК № 1, № M .

Боеспособность крылатой ракеты № 1 определяется двумя позициями («боеспособна» и «поражена») и несимметричным логическим переходом $Z1^0_{кр}$, срабатывающим при условии



маркировки хотя бы одной позиции «попал» в моделях функционирования системы ПВО. В свою очередь, наличие маркировки крылатая ракета № 1 «боеспособна» является условием для срабатывания условных стартовых переходов моделей функционирования крылатой ракеты № 1.

Для системы ПВО процессы защиты начинаются маркированием позиции «обнаружение» после срабатывания одного или нескольких условных стартовых переходов $Z1_{зрк}^1$, если крылатая ракета № 1 «боеспособна», текущая дальность от крылатой ракеты № 1 до ЗРК меньше средней дальности начала процесса обнаружения ЗРК $D1_{обн}^{зрк}$, то тогда позиция «наведение» $Z1_{зрк}^2$ одного или нескольких ЗРК является маркированной. Далее после срабатывания условного функционального перехода $Z1_{зрк}^2$, определенного временем обнаружения ЗРК, в течение времени $t1_a$ и вероятности адаптации $P_{ад} = 0,8$ происходит выполнение адаптивного маневра подсистемы КР (выбор рациональных параметров) и начинается процесс срыва наведения – маркируется позиция «адаптация». Состояние маркировки этой позиции в течение времени воздействия $t1_b$ определяет порядок срабатывания условного функционального перехода $Z1_{зрк}^3$ изменяя вероятность маркировки состояния ЗРК № 1 «промах» или «попал».

Для системы КР № 1 процессы защиты начинаются при обнаружении ЗРК № 1 и ЗРК № М после срабатывания одного или нескольких условных стартовых переходов $Z1_{кр}^1$. Если ЗРК № 1 обнаружен комплексом адаптации крылатой ракеты и m -тый ЗРК находится в секторе обнаружения крылатой ракеты при соответствии вероятности обнаружения $P_{обн}$ и срабатывании условного стартового перехода $Z1_{кр}^1$ и маркируется позиция «обнаружение». В этом случае моменты срабатывания следующего за этой позицией условного функционального перехода $Z1_{кр}^2$ для перевода маркера в позицию «адаптация» будут определяться полученными ранее (с учетом моделируемых условий обнаружения, района выполнения боевой задачи, помеховой обстановки и т.п.), с учетом наличия ЗРК в секторе обнаружения крылатой ракеты и вероятностью выполнения адаптации $P_{ад}$ и определяет вероятность маркировки состояния КР № 1 «комплекс адаптации» или «без комплекса адаптации».

Для подсистемы комплекса РЭПр процессы защиты начинаются при обнаружении ЗРК № 1 и ЗРК № М после срабатывания одного или нескольких условных стартовых переходов $Z1_{рэпр}^1$ после чего происходит маркирование позиции «блокирование». После срабатывания одного или нескольких условных стартовых переходов $Z1_{рэпр}^1$, если ЗРК № 1 и ЗРК № М «боеспособен», то тогда процесс РЭПр маркируется позицией «помеха не действует». Если после срабатывания условного функционального перехода процесс РЭПр в маркированной позиции «блокирование» одного или нескольких ЗРК после срабатывания условного функционального перехода $Z1_{зрк}^2$, определенного постановкой помех в режиме блокирования, то происходит влияние подсистемы РЭПр и определяется порядок срабатывания условного функционального перехода, изменяя вероятность маркировки состояния «срыв наведения» ЗРК № 1, ЗРК № М.

Разработанная модель реализована в системе MATLAB 8.1.0 (R2014a). Для проверки правильности и корректности работы в модели предусмотрена визуализация на координатной сетке основных состояний элементов противоборствующих систем на каждом шаге.

В качестве примера на рисунке 6 представлен фрагмент визуализации работы модели на этапе полета боевого порядка крылатых ракет в зоне действия зенитных ракетных комплексов средней дальности действия типа «Ус. Хок» в первом эшелоне зональной ПВО и ЗРК большой



дальности типа «Патриот» во втором эшелоне зональной ПВО для случая преодоления крылатыми ракетами зоны ПВО шириной 200 км и глубиной 150 км.

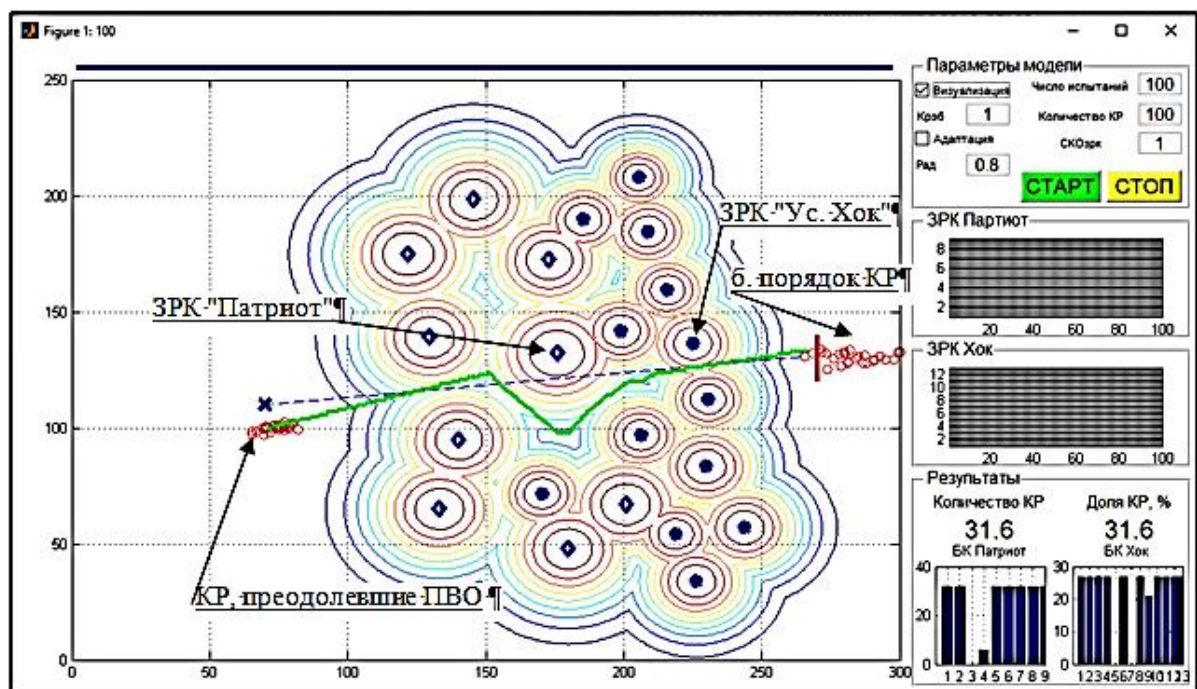


Рисунок 6 – Визуализация модели на этапе полета боевого порядка крылатых ракет без применения средств РЭБ и комплекса адаптации КР в зоне действия эшелонированной ПВО

Параметры модели:

количество КР в боевом порядке – 100;

средства РЭБ не применяются, коэффициент $K_{рэб} = 1$;

комплекс адаптации крылатых ракет не применяется, вероятность адаптивного маневра $P_{ад} = 0$;

число испытаний – 100.

Из фрагмента визуализации модели видно, что при преодолении эшелонированной зональной ПВО противника без применения средств РЭБ и без применения комплекса адаптации КР число крылатых ракет, преодолевших ПВО составляет 31 из 100 в боевом порядке.

На рисунке 7 представлен фрагмент визуализации работы модели на этапе полета боевого порядка крылатых ракет в зоне действия эшелонированной зональной ПВО. Параметры модели:

количество КР в боевом порядке – 100;

$K_{рэб} = 5$ – осуществляется комплексное применение средств РЭБ (наземных станций, самолета-постановщика помех и вертолетов-постановщиков помех) в режиме блокирующих ударов;

комплекс адаптации крылатых ракет не применяется, вероятность адаптивного маневра $P_{ад} = 0$;

число испытаний – 100.

Из фрагмента визуализации модели видно, что при преодолении эшелонированной зональной ПВО противника без применения комплекса адаптации КР в условиях комплексного применения средств РЭБ в режиме блокирующих ударов число крылатых ракет, преодолевших ПВО, составляет 64 из 100 в боевом порядке.



На рисунке 8 представлен фрагмент визуализации работы модели на этапе полета боевого порядка крылатых ракет в зоне действия эшелонированной зональной ПВО.

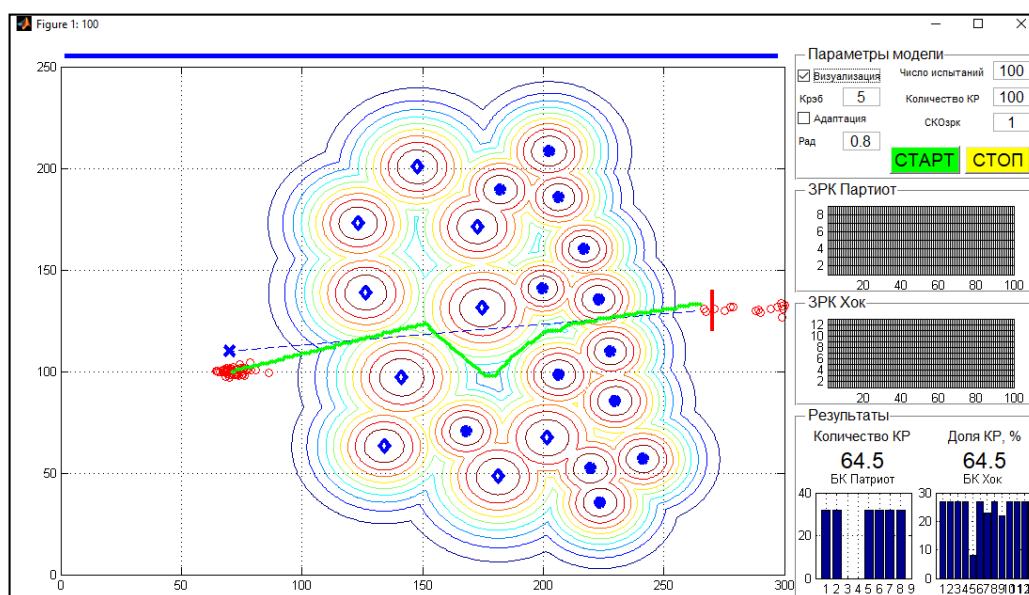


Рисунок 7 – Визуализация модели на этапе полета боевого порядка КР с применением средств РЭБ в режиме блокирующих ударов и без комплекса адаптации КР в зоне действия эшелонированной ПВО

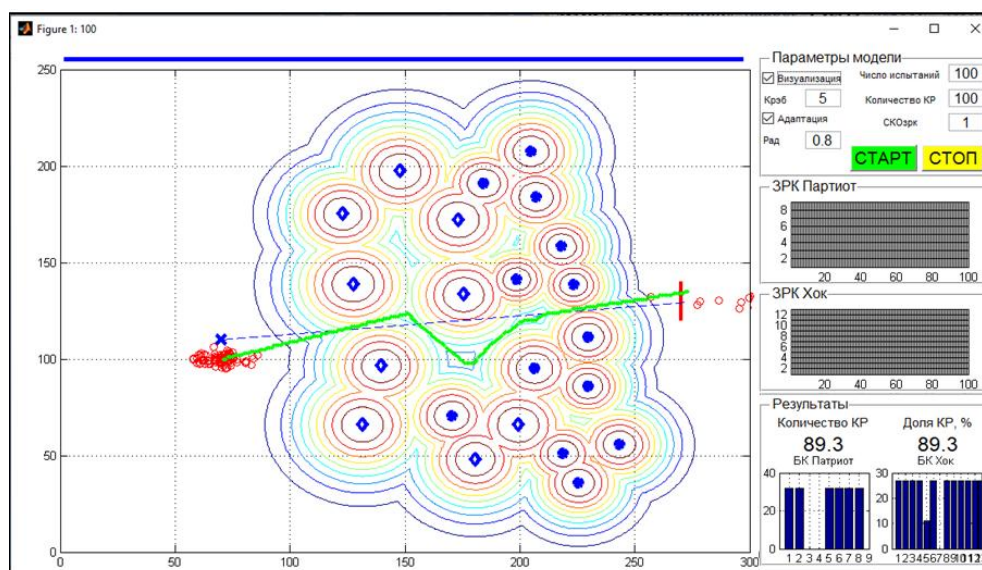


Рисунок 8 – Визуализация работы модели на этапе полета боевого порядка крылатых ракет с адаптацией и применением средств РЭБ в зоне действия эшелонированной ПВО

Параметры модели:

количество КР в боевом порядке – 100;

$K_{р\&б} = 5$ – осуществляется комплексное применение средств РЭБ (наземных станций, самолета-постановщика помех и вертолетов-постановщиков помех) в режиме блокирующих ударов;

применяется комплекс адаптации крылатых ракет, вероятность адаптивного маневра $P_{ад} = 5$;

число испытаний – 100.



Из фрагмента визуализации модели видно, что при преодолении эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами с применением комплекса адаптации и использованием средств радиоэлектронного поражения (РЭПр) в режиме блокирующих ударов число крылатых ракет, преодолевших ПВО, составляет 89 из 100 в боевом порядке.

Анализ результатов моделирования показывает, что:

при применении только средств радиоэлектронного поражения в режиме блокирующих ударов ($K_{РЭБ}=5$) количество КР, преодолевших эшелонированную зональную ПВО, составляет 64, что в 2 раза больше, чем без применения средств РЭБ;

при применении комплекса адаптации КР и средств РЭПр в режиме блокирующих ударов количество КР, преодолевших эшелонированную зональную ПВО, составляет 89, что в 3 раза больше, чем без применения комплекса адаптации КР и средств РЭБ.

Проведенный анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о том, что разработанная модель, реализованная в программном продукте для ЭВМ, позволяет натурно доказать повышение эффективности преодоления средств ПВО противника крылатыми ракетами при применении комплекса адаптации КР и средств РЭПр в режиме блокирующих ударов в 3 раза.

Выводы. Разработана модель преодоления эшелонированной зональной противовоздушной обороны противника крылатыми ракетами, отличающаяся процедурами описания функционирования средств обнаружения ЗРК в условиях применения средств РЭПр в режиме блокирующих ударов и комплекса адаптации КР на основе условных функциональных переходов модифицированного аппарата сетей Петри-Маркова, что позволило учесть все возможные связи текущих состояний взаимодействующих систем боевого порядка крылатых ракет с комплексом адаптации, средств РЭПр и зенитных ракетных комплексов эшелонированной зональной системы ПВО противника в моделируемом конфликте за счет снятия существующих ограничений на симметричность и представление логических условий элементарной конъюнкцией.

Применение модифицированного аппарата сетей Петри-Маркова позволило обеспечить корректное вложение множеств произвольных многопараметрических временных и вероятностных законов обнаружения средств разведки противостоящих систем в условиях РЭПр, полученных с помощью аналитических моделей информационного конфликта крылатых ракет и зенитных ракетных комплексов эшелонированной системы ПВО в условиях РЭПр, и вероятностных показателей эффективности взаимного противодействия с учетом фазовых состояний систем их наведения в моменты начала воздействия средствами радиоэлектронного поражения, полученных с помощью имитационных моделей процессов адаптивного воздействия преднамеренных помех на системы самонаведения ЗРК.

Выбранный подход к построению модели преодоления эшелонированной зональной ПВО противника крылатыми ракетами в условиях РЭБ позволяет выполнить единый цикл моделирования взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов огневого и радиоэлектронного поражения составных элементов рассматриваемых конфликтующих систем и связать информационные и информационно-боевые показатели эффективности средств разведки, огневого, радиоэлектронного поражения с показателями эффективности преодоления ПВО боевым порядком крылатых ракет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широкоград А.Б. Оружие отечественного флота. Минск: Харвест. М.: АСТ, 2001, 540 с.
2. Макаренко С.И. Информационные конфликты – анализ работ и методологии исследования / С.И. Макаренко, Р.Л. Михайлов // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 95–144.



3. Козирацкий Ю.Л. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения / Ю.Л. Козирацкий и др. М.: Радиотехника, 2013. 232 с.
4. Будников С.А. Обобщенная модель конфликта основных систем вооружения / С.А. Будников и др. // Вооруженные силы и экономика. 2011. № 1 (13). С. 13–23.
5. Донцов А.А. Моделирование конфликта противоборствующих систем в условиях РЭБ с помощью сетей Петри-Маркова с произвольными законами плотности распределения времени переходов / А.А. Донцов и др. // Радиотехника. 2014. № 9. С. 9–14.
6. Донцов А.А., Козирацкий Ю.Л. Особенности моделирования конфликтных процессов в сетях Петри-Маркова с произвольными законами плотности распределения времени переходов // Материалы Международной НТК / МИРЭА. Москва, 2014. С. 147–149.

REFERENCES

1. Shirokorad A.B. Ouzhie otechestvennogo flota. Minsk: Harvest. M.: AST, 2001, 540 p.
2. Makarenko S.I. Informacionnye konflikty – analiz rabot i metodologii issledovaniya / S.I. Makarenko, R.L. Mihajlov // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2016. № 3. pp. 95–144.
3. Kozirackij Yu.L. Modeli informacionnogo konflikta sredstv poiska i obnaruzheniya / Yu.L. Kozirackij i dr. M.: Radiotekhnika, 2013. 232 p.
4. Budnikov S.A. Obobschennaya model' konflikta osnovnyh sistem vooruzheniya / S.A. Budnikov i dr. // Vooruzhennye sily i `ekonomika. 2011. № 1 (13). pp. 13–23.
5. Doncov A.A. Modelirovanie konflikta protivoborstvuyuschih sistem v usloviyah R`EB s pomoshch'yu setej Petri-Markova s proizvol'nymi zakonami plotnosti raspredeleniya vremeni perehodov / A.A. Doncov i dr. // Radiotekhnika. 2014. № 9. pp. 9–14.
6. Doncov A.A., Kozirackij Yu.L. Osobennosti modelirovaniya konfliktnyh processov v setyah Petri-Markova s proizvol'nymi zakonami plotnosti raspredeleniya vremeni perehodov // Materialy Mezhdunarodnoj NTK / MIR`EA. Moskva, 2014. pp. 147–149.

© Донцов А.А., Иконников В.Н., 2021

Донцов Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиоэлектроники, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, addoncov1@mail.ru.

Иконников Валерий Юрьевич, профессор кафедры тактики (бомбардировочной и штурмовой авиации), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, v-ikon@mail.ru.

DOI: 10.24412/2500-4352-2021-19-230-242