

УДК 623.624.2

ББК 32.95

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЗАЩИТЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
ТАКТИЧЕСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОТ
ЛАЗЕРНЫХ СРЕДСТВ ПРОТИВНИКА**

Александр Николаевич Глушков

доктор технических наук, старший научный сотрудник

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил

«Военно-воздушная академия имени

профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Министерства обороны Российской Федерации

Воронеж, Россия

Ang243@yandex.ru

Александр Васильевич Марченко

адъюнкт

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил

«Военно-воздушная академия имени

профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Министерства обороны Российской Федерации

Воронеж, Россия

mav89202125904@yandex.ru

В статье разработана модель процесса конфликтного взаимодействия оптико-электронных средств и лазерных комплексов функционального поражения. Модель основана на представлении конфликта в виде полумарковского случайного процесса с дискретным множеством состояний и математической формализации зависимостей вероятностей нахождения системы «оптико-электронное средство – лазерный комплекс функционального поражения» в основных состояниях их функционирования от вероятностных и

временных характеристик сторон конфликта. Полученные аналитические выражения позволяют определять влияние параметров конфликтующих сторон на вероятность выигрыша в конфликте.

Ключевые слова: оптико-электронное средство, лазерное средство разведки, конфликтное взаимодействие, вероятность состояния, пропуск цели, лазерный комплекс функционального поражения.

THE DEFENSE MODEL OF THE OPTRONIC EQUIPMENT OF TACTICAL UNMANNED AIR VEHICLES AGAINST ENEMY LASER TECHNOLOGIES

Aleksandr Nikolaevich Glushkov

Military educational scientific center of Air Force

"Air Force Academy named after

Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin"

Voronezh, Russia

angl231@yandex.ru

Aleksander Vasilyevich Marchenko

Military educational scientific center of Air Force

"Air Force Academy named after

Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin"

Voronezh, Russia

mav89202125904@yandex.ru

The article presents a developed model of a conflict interaction between optronic equipment and functional-kill laser complexes. The model is based on the representation of the conflict as a semi-Markovian stochastic process with a discrete set of states and mathematical formalization of dependence of probabilities of being the “optronic equipment –functional-kill laser complex” system in their ground states on probability and time characteristics of the conflict parties. The obtained analytical expressions allow the influence of conflicting parties parameters on the conflict winning probability to be defined.

Key words: optronic equipment, laser reconnaissance aid, conflict interaction, state probability, target drop-out, functional-kill laser complex.

В современных условиях функционирование оптико-электронных средств (ОЭС) протекает, как правило, в условиях конфликта [Глушков, 2018] со средствами противодействия. Он заключается в том, что ОЭС стремятся получить как можно больше информации об объектах противостоящей стороны, которая препятствует ей в этом [Глушков, 2018]. Для борьбы с ОЭС в развитых странах (США, Израиль, Китай, Великобритания, и др.) планируется использовать комплексы лазерного оружия (КЛО), осуществляющие поражение целей энергией мощного лазерного излучения (МЛИ) [Абрамов, 2017, с. 56–70]. КЛО представляют собой сложные образцы вооружения, осуществляющие разведку целей, наведение на них МЛИ и его генерацию. При поражении ОЭС становятся не боеспособными, что определяет необходимость разработки научно-методического аппарата обоснования требований к способам и средствам их защиты, учитывающего основные особенности функционирования конфликтующих сторон. Перспективным подходом к решению этой задачи является применение системных методов исследования, позволяющих рассматривать динамику конфликта и его основные характеристики во взаимосвязи с действиями сторон на всех стадиях их функционирования.

Цель работы состоит в разработке модели процесса конфликтного взаимодействия разведывательных ОЭС и ЛКФП противника на основе формализации зависимостей вероятностей нахождения системы ОЭС–ЛКФП в основных состояниях их функционирования от вероятностных и временных характеристик сторон конфликта.

Для достижения цели работы разработан граф состояний, описывающий конфликтное взаимодействие ОЭС–ЛКФП. Принято, что ОЭС состоит из подсистемы разведки, подсистемы защиты от разведки и подсистемы управления. ЛКФП располагает ЛСР и МЛУ. Первая осуществляет разведку объектов поражения, а вторая наведение на них МЛИ и его генерацию. Данный граф

представлен на рисунке 1. Предполагается, что одновременно не может произойти более одного изменения состояний сторон [Глушков, 2018].

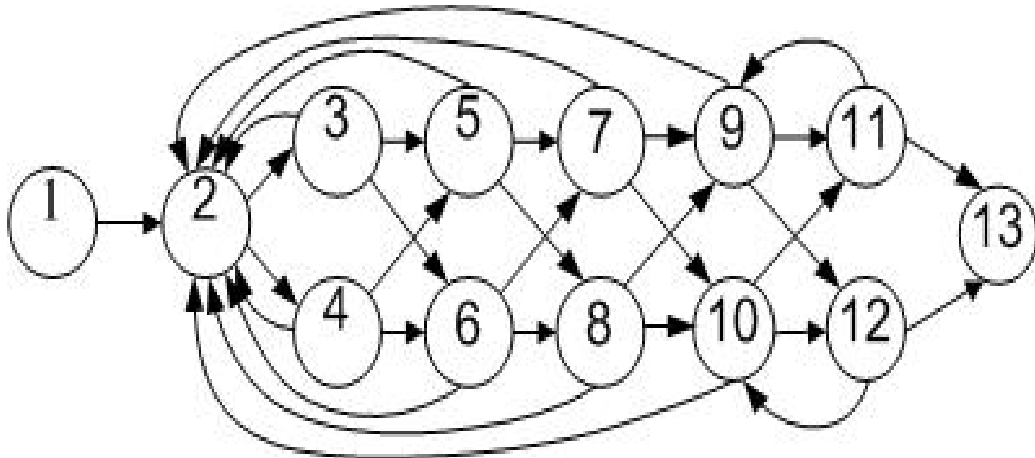


Рисунок 1 – Граф состояний сторон конфликта ОЭС–ЛКФП

В приведенном графе введены следующие состояния:

1 – ЛСР ожидает внешнее целеуказание (ЦУ); ОЭС ведет разведку заданной области;

2 – ЛСР обрабатывает целеуказание – ориентируется на ОЭС; ОЭС ведет разведку заданной области и мониторинг излучений ЛКФП;

3 – ЛСР осуществляет поиск ОЭС; ОЭС ведет разведку заданной области и мониторинг излучений ЛКФП (излучение ЛСР не обнаружено);

4 – ЛСР осуществляет поиск ОЭС; ОЭС обнаруживает рассеянное атмосферой излучение ЛСР и осуществляет защиту от оптического контакта со средством разведки;

5 – ЛСР осуществляет обнаружение ОЭС – прием m отраженных от объекта разведки импульсов из n излученных; ОЭС ведет разведку заданной области и мониторинг излучений ЛСР (прямое излучение ЛСР не обнаружено);

6 – ЛСР осуществляет обнаружение ОЭС – прием m отраженных от объекта разведки импульсов из n излученных; ОЭС обнаруживает прямое излучение ЛСР и осуществляет защиту от обнаружения средством разведки;

7 – ЛСР осуществляет распознавание ОЭС; ОЭС ведет разведку заданной области и мониторинг излучений ЛСР (не обнаруживая прямое излучение ЛСР);

8 – ЛСР осуществляет распознавание ОЭС; ОЭС обнаруживает прямое излучение ЛСР и осуществляет защиту от распознавания средством разведки;

9 – ЛКФП осуществляет наведение мощного лазерного излучения на ОЭС, которое ведет разведку заданной области и мониторинг излучений ЛКФП;

10 – ЛКФП осуществляет наведение МЛИ на ОЭС; ОЭС ведет разведку, обнаруживает прямое излучение ЛСР и осуществляет защиту от наведения поражающего импульса ЛКФП;

11 – ЛКФП излучает поражающий импульс; ОЭС МЛИ ЛКФП не обнаруживает;

12 – ЛКФП осуществляет излучение поражающего импульса; ОЭС обнаруживает излучение поражающего импульса ЛКФП и осуществляет защиту от него;

13 – выигрыш в конфликте ЛКФП.

ОЭС в состоянии 1 (рисунок 1) проводит съем информации, при этом подсистема защиты от разведки лазерным комплексом находится в состоянии ожидания команды на включение режимов защиты. ЛКФП в состоянии 1 находится в режиме ожидания внешнего целеуказания (ЦУ) (например, от радиолокационной станции), после поступления которого, ЛКФП наводится на ОЭС с ошибкой, определяемой точностью целеуказания, – состояние 2. Затем ЛКФП переходит в режим поиска ОЭС, в котором в поле ошибок внешнего целеуказания осуществляет просмотр пространства до получения отраженного от объекта сигнала – состояние 3 или 4 (в зависимости от функционирования ОЭС). При нахождении ОЭС в зоне возможного воздействия противника одновременно с реализацией основной целевой функции производится мониторинг противника [Глушков, 2018]. Это позволяет обнаружить функционирование ЛКФП по рассеянному атмосферой или прямому

излучению. При не обнаружении ОЭС рассеянного атмосферой излучения ЛКФП система ОЭС – ЛКФП переходит в состояние 3. При обнаружении рассеянного излучения, подсистема управления ОЭС выдает команду в подсистему защиты на включение режима защиты от оптического контакта с ЛКФП, например, путем установления соответствующего закона сканирования [Глушков, 2018] – система ОЭС переходит в состояние 4. В случае не обнаружения средством разведки отраженного от ОЭС сигнала, система переходит в состояние 2. Если ЛКФП принимает отраженный сигнал, то система переходит в состояние 5 [Глушков, 2018] или 6 (в зависимости от функционирования ОЭС), в которых проводится обнаружение ОЭС. Решение о наличии ОЭС принимается в соответствии с логикой: обнаружение не менее m отраженных от объекта импульсов из n излученных. При не обнаружении ОЭС прямого излучения от ЛКФП система ОЭС – ЛКФП переходит в состояние 5. При обнаружении прямого излучения лазерного локатора, в ОЭС включается режим защиты от обнаружения, например, путем смещения матрицы фотоприемников из плоскости наблюдения (расфокусировка принимаемого излучения) [Глушков, 2018] – система ОЭС – ЛКФП переходит в состояние 6. В случае не обнаружения средством разведки ОЭС, система переходит в состояние 2. При обнаружении ОЭС в ЛКФП осуществляется его распознавание – система переходит в состояние 7 или 8 (в зависимости от функционирования ОЭС). Если ОЭС не обнаруживает прямое излучение от ЛКФП, то система ОЭС – ЛКФП переходит в состояние 7, в обратном случае – в состояние 8. В этом состоянии в системе ОЭС может быть использована защита от распознавания, заключающаяся в имитации распознаваемого объекта с помощью ложной цели, например, уголкового оптического отражателя [Глушков, 2018]. В случае не распознавания средством разведки ОЭС, система переходит в состояние 2. В случае распознавания ОЭС ЛКФП выдает информацию о нем в подсистему управления КЛЮ, где происходит наведение поражающего импульса на цель, система переходит в состояние 9 или 10 (в зависимости от функционирования ОЭС). Если ОЭС не обнаруживает прямое

излучение ЛКФП, то система ОЭС – ЛКФП переходит в состояние 9, в обратном случае – в состояние 10 и производит защиту от наведения поражающего импульса ЛКФП. В случае неточного наведения поражающего импульса на ОЭС, система переходит в состояние 2. В случае перехода системы в состояние 11 или 12 (в зависимости от функционирования ОЭС), считается, что ЛКФП захватил цель. Если ОЭС не обнаруживает прямое излучение от ЛКФП, то система ОЭС – ЛКФП переходит в состояние 11, в обратном случае – в состояние 12 и производит защиту от МЛИ ЛКФП. В случае не поражения МЛИ ОЭС, система переходит в состояние 9 и производит повторное наведение поражающего импульса на ОЭС. Этот цикл будет повторяться до тех пор, пока система не перейдет в состояние 13 (выигрыш в конфликте ЛКФП) при условии, что БПЛА будет находиться в зоне действия ЛКФП. ЛКФП, при наличии повторного целеуказания, повторяет цикл разведки ОЭС. Переходы из состояний 4, 6, 8, 10, 12 являются конфликтно обусловленными, так как зависят от успешного выполнения соответствующих режимов функционирования противостоящей стороной.

Оценка значений вероятностей выигрыша в информационном конфликте может быть выполнена с использованием аппарата теории полумарковских случайных процессов [Тихонов, 1977; Будников, 2013].

Для математического описания процесса защиты ОЭС от ЛКФП введены плотности вероятностей времени пребывания системы ОЭС–ЛКФП в состоянии i при переходе в состояние j – $\omega_{ij}(\tau)$. В них $\tilde{P}_i(\tau)$ вероятность того, что в интервале времени $(t, t+\tau)$ система ОЭС–ЛКФП попадет в состояние i . Характеристики переходов из состояний системы ОЭС–ЛКФП (рисунок 1) сведены в таблицу 1. Принято, что вероятностные характеристики конфликта определяются потенциальными вероятностями переходов из одного состояния в другое, а временные характеристики конфликта определяются средними значениями времени ожидания переходов [Глушков, 2018].

Таблица 1 – Характеристики переходов из состояний системы ОЭС–ЛКФП

Вероятностные характеристики конфликта	Временные характеристики конфликта
Вероятность выдачи целеуказания $P_{ЦВ}$	Среднее время выдачи команды на разведку ОЭС t_k
Вероятность обнаружения ОЭС рассеянного излучения ЛСР $P_{РН}$	Среднее время обнаружения ОЭС рассеянного атмосферой излучения ЛСР $t_{РН}$ Среднее время наведения ЛСР на ОЭС t_n
Вероятность обнаружения ЛСР первого отраженного от ОЭС сигнала $P_{о1}$. Вероятность обнаружения ОЭС прямого излучения (ПИ) ЛСР $P_{ПИ}$	Среднее время обнаружения ЛСР первого отраженного от ОЭС сигнала $t_{о1}$. Среднее время обнаружения ОЭС ПИ ЛСР $t_{ПИ}$
Вероятность защиты ОЭС от оптического контакта с ЛСР $P_{ЗОК}$	Среднее время включения средств защиты ОЭС от оптического контакта с ЛСР $t_{ЗОК}$
Вероятность защиты ОЭС от обнаружения ЛСР $P_{ЗО}$	Среднее время включения средств защиты ОЭС от обнаружения ЛСР $t_{ЗО}$
Вероятность распознавания ОЭС P_p	Среднее время распознавания ОЭС t_p
Вероятность защиты ОЭС от распознавания ЛСР $P_{ЗР}$	Среднее время выполнения режима защиты ОЭС от распознавания ЛСР $t_{ЗР}$
Вероятность наведения ЛКФП на ОЭС P_n	Среднее время наведения ЛКФП на ОЭС t_n
Вероятность защиты ОЭС от наведения ЛКФП $P_{ЗН}$	Среднее время выполнения режима защиты ОЭС от наведения ЛКФП $t_{ЗН}$
Вероятность поражения ОЭС $P_{пор}$	Среднее время поражения ОЭС $t_{пор}$
Вероятность защиты ОЭС от поражения ЛКФП $P_{ЗП}$	Среднее время включения средств защиты ОЭС от поражения ЛКФП $t_{ЗП}$

Исходя из динамики конфликта и его вероятностных характеристик из таблицы 1, переходные вероятности из состояния i в j P_{ij} определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
 P_{12} &= P_{ЦВ}, P_{23} = 1 - P_{РН}, P_{24} = P_{РН}, P_{32} = 1 - P_{о1}, P_{35} = P_{о1}(1 - P_{ПИ}), P_{36} = P_{ПИ}P_{о1}, \\
 P_{42} &= 1 - P_{о1}(1 - P_{ЗОК}), P_{45} = P_{о1}(1 - P_{ЗОК})(1 - P_{ПИ}), P_{46} = P_{о1}P_{ПИ}(1 - P_{ЗОК}), \\
 P_{52} &= 1 - P_{о3}, P_{57} = P_{о3}(1 - P_{ПИ}), P_{58} = P_{о3}P_{ПИ}, \\
 P_{62} &= 1 - P_{о3}(1 - P_{ЗО}), P_{67} = P_{о3}(1 - P_{ЗО})(1 - P_{ПИ}), P_{68} = P_{о3}P_{ПИ}(1 - P_{ЗО}), \\
 P_{72} &= 1 - P_p, P_{79} = P_p(1 - P_{ПИ}), P_{710} = P_pP_{ПИ}, \\
 P_{82} &= 1 - P_p(1 - P_{ЗР}), P_{89} = P_p(1 - P_{ПИ})(1 - P_{ЗР}), P_{810} = P_pP_{ПИ}(1 - P_{ЗР}), \\
 P_{92} &= 1 - P_n, P_{911} = P_n(1 - P_{ПИ}), P_{912} = P_nP_{ПИ}, \\
 P_{102} &= 1 - P_n(1 - P_{ЗН}), P_{1011} = P_n(1 - P_{ПИ})(1 - P_{ЗН}), P_{1012} = P_nP_{ПИ}(1 - P_{ЗН}), \\
 P_{119} &= 1 - P_{пор}, P_{1113} = P_{пор}, P_{1210} = 1 - P_{пор}(1 - P_{ЗП}), P_{1213} = 1 - P_{пор}(1 - P_{ЗП}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Тогда вероятности перехода в системе ОЭС–ЛСР для одного цикла взаимодействия в соответствии с [Будников, 2013] и (1) опишем следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}
\tilde{P}_1(t) &= 1 - \tilde{P}_2(t) - \tilde{P}_3(t) - \tilde{P}_4(t) - \tilde{P}_5(t) - \tilde{P}_6(t) - \tilde{P}_7(t) - \tilde{P}_8(t) - \tilde{P}_9(t) - \\
&- \tilde{P}_{10}(t) - \tilde{P}_{11}(t) - \tilde{P}_{12}(t) - \tilde{P}_{13}(t) \\
\tilde{P}_2(t) &= \tilde{P}_2 \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_1(\tau) P_{12} \omega_{12}(t') + \tilde{P}_3(\tau) P_{32} \omega_{32}(t') (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{35}(\tau)) \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{36}(\tau)) + \tilde{P}_4(\tau) P_{42} \omega_{42}(t') (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{45}(\tau)) (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{46}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_5(\tau) P_{52} \omega_{52}(t') (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{57}(\tau)) (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{58}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_6(\tau) P_{62} \omega_{62}(t') (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{67}(\tau)) (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{68}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_7(\tau) P_{72} \omega_{72}(t') (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{79}(\tau)) (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{710}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_8(\tau) P_{82} \omega_{82}(t') (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{89}(\tau)) (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{810}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_9(\tau) P_{92} \omega_{92}(t') (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{911}(\tau)) (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{912}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_{10}(\tau) P_{102} \omega_{102}(t') (1 - \tilde{P}_{1011}(\tau) Y_{1011}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{1012}(\tau) Y_{1012}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_2(\tau) Y_{23}(\tau)) (1 - \tilde{P}_2(\tau) Y_{24}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_3(t) &= P_3 \delta(t) + P_{23} \int_0^t \tilde{P}_2(\tau) \omega_{23}(t') (1 - \tilde{P}_2(\tau) Y_{24}(\tau)) (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{32}(\tau)) \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{35}(\tau)) (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{36}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_4(t) &= P_4 \delta(t) + P_{24} \int_0^t \tilde{P}_2(\tau) \omega_{24}(t') (1 - \tilde{P}_2(\tau) Y_{23}(\tau)) (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{42}(\tau)) \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{45}(\tau)) (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{46}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_5(t) &= P_5 \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_3(\tau) P_{35} \omega_{35}(t') (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{32}(\tau)) (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{36}(\tau)) + \\
&\tilde{P}_4(\tau) P_{45} \omega_{45}(t') (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{42}(\tau)) (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{46}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{52}(\tau)) (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{57}(\tau)) (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{58}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_6(t) &= P_6 \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_3(\tau) P_{36} \omega_{36}(t') (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{32}(\tau)) (1 - \tilde{P}_3(\tau) Y_{35}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_4(\tau) P_{46} \omega_{46}(t') (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{42}(\tau)) (1 - \tilde{P}_4(\tau) Y_{45}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{62}(\tau)) (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{67}(\tau)) (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{68}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_7(t) &= P_7 \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_5(\tau) P_{57} \omega_{57}(t') (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{52}(\tau)) (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{58}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_6(\tau) P_{67} \omega_{67}(t') (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{68}(\tau)) (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{62}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{72}(\tau)) (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{79}(\tau)) (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{710}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_8(t) &= P_8 \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_6(\tau) P_{68} \omega_{68}(t') (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{62}(\tau)) (1 - \tilde{P}_6(\tau) Y_{67}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_5(\tau) P_{58} \omega_{58}(t') (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{57}(\tau)) (1 - \tilde{P}_5(\tau) Y_{52}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{89}(\tau)) (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{810}(\tau)) (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{82}(\tau)) d\tau \tag{2} \\
\tilde{P}_9(t) &= P_9 \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_7(\tau) P_{79} \omega_{79}(t') (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{72}(\tau)) (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{710}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_8(\tau) P_{89} \omega_{89}(t') (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{82}(\tau)) (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{810}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_{11}(\tau) P_{119} \omega_{119}(t') (1 - \tilde{P}_{11}(\tau) Y_{1113}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{92}(\tau)) (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{911}(\tau)) (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{912}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_{10}(t) &= P_{10} \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_7(\tau) P_{710} \omega_{710}(t') (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{72}(\tau)) (1 - \tilde{P}_7(\tau) Y_{79}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_8(\tau) P_{810} \omega_{810}(t') (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{82}(\tau)) (1 - \tilde{P}_8(\tau) Y_{89}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_{12}(\tau) P_{1210} \omega_{1210}(t') (1 - \tilde{P}_{12}(\tau) Y_{1213}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{102}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{1011}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{1012}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_{11}(t) &= P_{11} \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_9(\tau) P_{911} \omega_{911}(t') (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{92}(\tau)) (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{912}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_{10}(\tau) P_{1011} \omega_{1011}(t') (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{102}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{1012}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_{11}(\tau) Y_{119}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{11}(\tau) Y_{1113}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_{12}(t) &= P_{12} \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_9(\tau) P_{912} \omega_{912}(t') (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{92}(\tau)) (1 - \tilde{P}_9(\tau) Y_{911}(\tau)) + \\
&+ \tilde{P}_{10}(\tau) P_{1012} \omega_{1012}(t') (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{102}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{10}(\tau) Y_{1011}(\tau))] \times \\
&\times (1 - \tilde{P}_{12}(\tau) Y_{1210}(\tau)) (1 - \tilde{P}_{12}(\tau) Y_{1213}(\tau)) d\tau \\
\tilde{P}_{13}(t) &= P_{13} \delta(t) + \int_0^t [\tilde{P}_{11}(\tau) P_{1113} \omega_{1113}(t') + \tilde{P}_{12}(\tau) P_{1213} \omega_{1213}(t')] d\tau
\end{aligned}$$

где: $\omega_{ij}(t) = \omega_{ij}(t - \tau)$; $Y_{ij}(\tau) = P_{ij} \Omega_{ij}(\tau)$; P_j – начальные значения вероятностей нахождения систем в j -ом состоянии ($j=1 \dots 13$); $\delta(t)$ – дельта функция; $\Omega_{ij}(\tau) = \int_0^\tau \omega_{ij}(u) du$ – функция распределения времени пребывания системы в состоянии i до перехода в состояние j .

Система уравнений (2) является обобщенным аналитическим описанием динамической модели конфликтного взаимодействия ОЭС–ЛКФП, позволяющим определять вероятности выигрыша в конфликте той или иной стороной.

Время выполнения задач сторонами конфликта достаточно хорошо аппроксимируется показательным законом распределения [Глушков, 2011]: $\omega_{ij}(\tau) = \lambda_i \exp(-\lambda_i \tau)$, где: $\lambda_i = 1 / t_{cpi}$, t_{cpi} – среднее время нахождения ОЭС или ЛКФП в i – ом состоянии. Найдем аналитические выражения для оценки вероятности выигрыша ОЭС в конфликте с ЛКФП в заданные моменты времени в зависимости от вероятностных характеристик сторон для показательного закона распределения. Исходя из временных характеристик состояний из таблицы 1, запишем выражения для соответствующих безусловных плотностей вероятностей:

$$\begin{aligned} \omega_{12}(\tau) &= \frac{1}{t_k} \exp\left(-\frac{\tau}{t_k}\right), \omega_{23}(\tau) = \frac{1}{t_n} \exp\left(-\frac{\tau}{t_n}\right), \omega_{24}(\tau) = \frac{1}{t_{PH}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{PH}}\right), \omega_{42}(\tau) = \frac{1}{t_{3OK}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{3OK}}\right), \\ \omega_{32}(\tau) &= \omega_{35}(\tau) = \omega_{45}(\tau) = \omega_{46}(\tau) = \frac{1}{t_{o1}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{o1}}\right), \omega_{62}(\tau) = \frac{1}{t_{3O}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{3O}}\right), \omega_{102}(\tau) = \frac{1}{t_{3H}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{3H}}\right), \\ &, \\ \omega_{36}(\tau) &= \omega_{38}(\tau) = \omega_{710}(\tau) = \omega_{912}(\tau) = \frac{1}{t_{PH}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{PH}}\right), \omega_{82}(\tau) = \frac{1}{t_{3P}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{3P}}\right), \\ \omega_{1210}(\tau) &= \frac{1}{t_{3П}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{3П}}\right), \omega_{52}(\tau) = \omega_{57}(\tau) = \omega_{67}(\tau) = \omega_{68}(\tau) = \frac{1}{t_{o3}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{o3}}\right), \\ \omega_{72}(\tau) &= \omega_{79}(\tau) = \omega_{89}(\tau) = \omega_{810}(\tau) = \frac{1}{t_p} \exp\left(-\frac{\tau}{t_p}\right), \\ \omega_{92}(\tau) &= \omega_{911}(\tau) = \omega_{1011}(\tau) = \omega_{1012}(\tau) = \frac{1}{t_H} \exp\left(-\frac{\tau}{t_H}\right), \omega_{119}(\tau) = \omega_{1113}(\tau) = \omega_{1213}(\tau) = \frac{1}{t_{ПОР}} \exp\left(-\frac{\tau}{t_{ПОР}}\right). \end{aligned}$$

Тогда (2) при начальных условиях $P_k = 0$, $k = 2...13$ запишется в виде:

$$\begin{aligned}
& \tilde{P}_1(t) = 1 - \tilde{P}_2(t) - \tilde{P}_3(t) - \tilde{P}_4(t) - \tilde{P}_5(t) - \tilde{P}_6(t) - \tilde{P}_7(t) - \tilde{P}_8(t) - \tilde{P}_9(t) - \tilde{P}_{10}(t) - \tilde{P}_{11}(t) - \tilde{P}_{12}(t) - \tilde{P}_{13}(t) \\
& \tilde{P}_2(t) = \int_0^t [\tilde{P}_1(\tau)(P_{12} / t_k) e^{-(t-\tau)/t_k} + \tilde{P}_3(\tau)(P_{32} / t_{o1}) e^{-(t-\tau)/t_{o1}} \times \\
& \times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{35} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{36} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_4(\tau)(P_{42} / t_{3OK}) e^{-(t-\tau)/t_{3OK}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{45} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{46} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_5(\tau)(P_{52} / t_{o3}) e^{-(t-\tau)/t_{o3}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{57} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{58} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_6(\tau)(P_{62} / t_{3O}) e^{-(t-\tau)/t_{3O}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{67} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{68} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_7(\tau)(P_{72} / t_p) e^{-(t-\tau)/t_p} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{79} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{710} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_8(\tau)(P_{82} / t_{3p}) e^{-(t-\tau)/t_{3p}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{89} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{810} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) + \\
& + \tilde{P}_9(\tau)(P_{92} / t_H) e^{-(t-\tau)/t_H} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{911} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{912} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_{10}(\tau)(P_{102} / t_H) e^{-(t-\tau)/t_H} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{1011} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{1012} / t_H) e^{-u/t_H} du \right)] \times \\
& \times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{23} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(\tau)(P_{24} / t_{PH}) e^{-u/t_{PH}} du \right) d\tau \\
& \tilde{P}_3(t) = \int_0^t \tilde{P}_2(\tau)(P_{23} / t_H) e^{-(t-\tau)/t_H} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_2(P_{24} / t_{PH}) e^{-u/t_{PH}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{32} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \times \\
& \times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{35} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{36} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) dt \\
& \tilde{P}_4(t) = \int_0^t \tilde{P}_2(\tau)(P_{24} / t_{PH}) e^{-(t-\tau)/t_{PH}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_2(t)(P_{23} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{45} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \times \\
& \times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{46} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{42} / t_{3OK}) e^{-u/t_{3OK}} du \right) d\tau \\
& \tilde{P}_5(t) = \int_0^t \tilde{P}_3(\tau)(P_{35} / t_{o1}) e^{-(t-\tau)/t_{o1}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{32} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{36} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
& + \tilde{P}_4(\tau)(P_{45} / t_{o1}) e^{-(t-\tau)/t_{o1}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{42} / t_{3OK}) e^{-u/t_{3OK}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{46} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \times \\
& \times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{52} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{57} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{58} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) d\tau.
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{P}_6(t) &= \int_0^t \tilde{P}_3(\tau)(P_{36} / t_{III}) e^{-(t-\tau)/t_{III}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{32} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_3(t)(P_{35} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_4(\tau)(P_{46} / t_{o1}) e^{-(t-\tau)/t_{o1}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{42} / t_{3OK}) e^{-u/t_{3OK}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_4(t)(P_{45} / t_{o1}) e^{-u/t_{o1}} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{62} / t_{3O}) e^{-u/t_{3O}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{57} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{58} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) d\tau \\
\tilde{P}_7(t) &= \int_0^t \tilde{P}_5(\tau)(P_{57} / t_{o3}) e^{-(t-\tau)/t_{o3}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{52} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{58} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_6(\tau)(P_{67} / t_{o3}) e^{-(t-\tau)/t_{o3}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{62} / t_{3O}) e^{-u/t_{3O}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{68} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{72} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{79} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{710} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) d\tau \\
\tilde{P}_8(t) &= \int_0^t \tilde{P}_5(\tau)(P_{58} / t_{III}) e^{-(t-\tau)/t_{III}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{52} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_5(t)(P_{57} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_6(\tau)(P_{68} / t_{o3}) e^{-(t-\tau)/t_{o3}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{62} / t_{3O}) e^{-u/t_{3O}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_6(t)(P_{67} / t_{o3}) e^{-u/t_{o3}} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{82} / t_{3P}) e^{-u/t_{3P}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{89} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{810} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) d \\
\tilde{P}_9(t) &= \int_0^t \tilde{P}_7(\tau)(P_{79} / t_p) e^{-(t-\tau)/t_p} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{72} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{710} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_8(\tau)(P_{89} / t_p) e^{-(t-\tau)/t_p} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{82} / t_{3P}) e^{-u/t_{3P}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{810} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_{11}(\tau)(P_{119} / t_{NOP}) e^{-(t-\tau)/t_{NOP}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{11}(t)(P_{1113} / t_{NOP}) e^{-u/t_{NOP}} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{92} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{911} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{912} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) d\tau \\
\tilde{P}_{10}(t) &= \int_0^t \tilde{P}_7(\tau)(P_{710} / t_{III}) e^{-(t-\tau)/t_{III}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{72} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_7(t)(P_{79} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_8(\tau)(P_{810} / t_{o3}) e^{-(t-\tau)/t_p} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{82} / t_{3P}) e^{-u/t_{3P}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_8(t)(P_{89} / t_p) e^{-u/t_p} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_{12}(\tau)(P_{1210} / t_{3II}) e^{-(t-\tau)/t_{3II}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{12}(t)(P_{1213} / t_{NOP}) e^{-u/t_{NOP}} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{102} / t_{3H}) e^{-u/t_{3H}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{1011} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{1012} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) d\tau \\
\tilde{P}_{11}(t) &= \int_0^t \tilde{P}_9(\tau)(P_{911} / t_H) e^{-(t-\tau)/t_H} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{92} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{912} / t_{III}) e^{-u/t_{III}} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_{10}(\tau)(P_{1011} / t_H) e^{-(t-\tau)/t_H} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{102} / t_{3H}) e^{-u/t_{3H}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{1012} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{11}(t)(P_{119} / t_{NOP}) e^{-u/t_{NOP}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{11}(t)(P_{1113} / t_{NOP}) e^{-u/t_{NOP}} du \right) d\tau \\
\tilde{P}_{12}(t) &= \int_0^t \tilde{P}_9(\tau)(P_{912} / t_{III}) e^{-(t-\tau)/t_{III}} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{92} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_9(t)(P_{911} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) + \\
&+ \tilde{P}_{10}(\tau)(P_{1012} / t_H) e^{-(t-\tau)/t_H} \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{102} / t_{3H}) e^{-u/t_{3H}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{10}(t)(P_{1011} / t_H) e^{-u/t_H} du \right) \times \\
&\times \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{12}(t)(P_{1210} / t_{3II}) e^{-u/t_{3II}} du \right) \left(1 - \int_0^\tau \tilde{P}_{12}(t)(P_{1213} / t_{NOP}) e^{-u/t_{NOP}} du \right) d\tau \\
\tilde{P}_{13}(t) &= \int_0^t (\tilde{P}_{11}(\tau)(P_{1113} / t_{NOP}) e^{-(t-\tau)/t_{NOP}} + \tilde{P}_{12}(\tau)(P_{1213} / t_{NOP}) e^{-(t-\tau)/t_{NOP}}) d\tau.
\end{aligned}$$

Полученные системы уравнений (2 и 3) с системных позиций описывают конфликтное взаимодействие ОЭС–ЛКФП и позволяют определять влияние их параметров на эффективность конфликтующих сторон.

С использованием разработанной модели проведены исследования эффективности защиты ОЭС от ЛКФП. Вероятность обнаружения P_{o1} и время обнаружения t_{o1} ЛСР отраженного от ОЭС сигнала определялись на основе модели ОЭС, как объекта разведки [Дробышевский, 2019] и были равны $P_{o1} = 0.5$, $t_{o1} = 10^{-6}$. Вероятность P_{o3} определялась, исходя из логики – обнаружение не менее 3 отраженных от ОЭС сигналов из 5 излученных импульсов по формуле: $P_{o3} = 10P_{o1}^3(1-P_{o1})^2 + 5P_{o1}^4(1-P_{o1}) + P_{o1}^5 = 0.5$.

Вероятности $P_{ЦУ}$, $P_{ПИ}$ приняты равными 1, вероятность $P_{РП} = 0.1$, а $P_p = P_{o3}$. Временные характеристики конфликта задавались следующими соотношениями: $t_n = 0.003T$; $t_k = 0.001t_n$; $t_{o3} = 4t_{o1}$; $t_p = t_{o3}$; $t_{РП} = t_n + 0.1t_{o1}$; $t_H = t_{3H} = t_n / 100$; $t_{ПИ} = t_n + t_{o1}$; $t_{3OK} = t_{3P} = t_n$; $t_{3O} = 0.1t_n$; $t_{ПОР} = t_{3П} = 0,002$, T – время выполнения задания ОЭС. Полученные результаты исследования представлены на рисунках 2, 3.

На рисунке 2 представлены зависимости переходов системы ОЭС–ЛКФП P_C в i -ые ($i=1...13$) состояния к моменту времени $t(t=1=T)$.

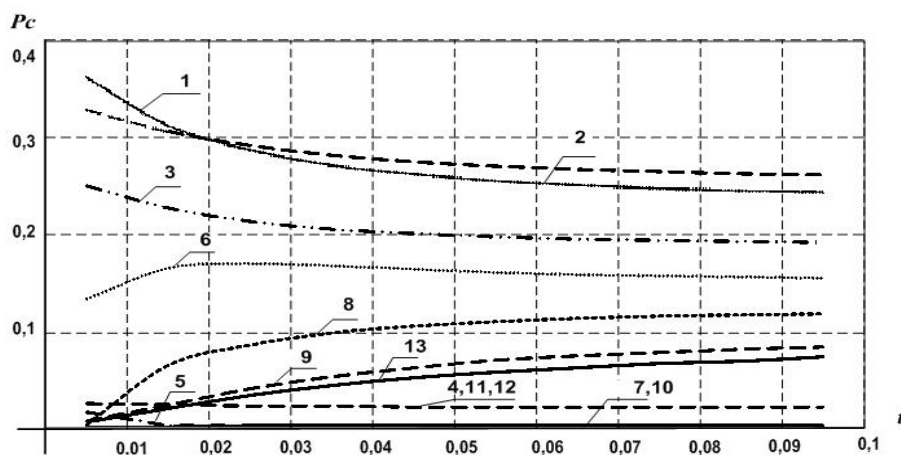


Рисунок 2 – Зависимости вероятности P_C от времени нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛКФП; 1...13 – номер состояния системы ОЭС – ЛКФП

Из рисунка видно, что динамика изменения значений вероятностей нахождения системы ОЭС–ЛКФП приводит к достижению предельных значений вероятностей, причем вероятность выигрыша ЛКФП повышается с увеличением нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛСР (зависимость 9), а суммарное значение вероятностей P_C в конкретный момент времени $t \sum_{i=1}^9 P_{Ci}(t) = 1$.

На рисунке 3 представлены зависимости вероятности пропуска цели ЛКФП P_{np} в конфликте с ОЭС от времени работы ЛКФП t (t – время, нормированное ко времени нахождения ОЭС в зоне действия ЛКФП) при различных вероятностях защиты на этапах конфликтного взаимодействия. Данные зависимости отражают очевидный факт, заключающийся в том, что вероятность выигрыша в конфликте с увеличением времени нахождения в зоне действия ЛКФП снижается. Также из приведенных зависимостей видно, что повышение P_{np} больше при увеличении вероятностей защиты ОЭС на этапах защиты от разведки $P_{зр}$ и поражения $P_{зн}$ (зависимость 3 по сравнению с 4). Это объясняется уменьшением ресурса времени, которое отводится для ОЭС для защиты от ЛКФП.

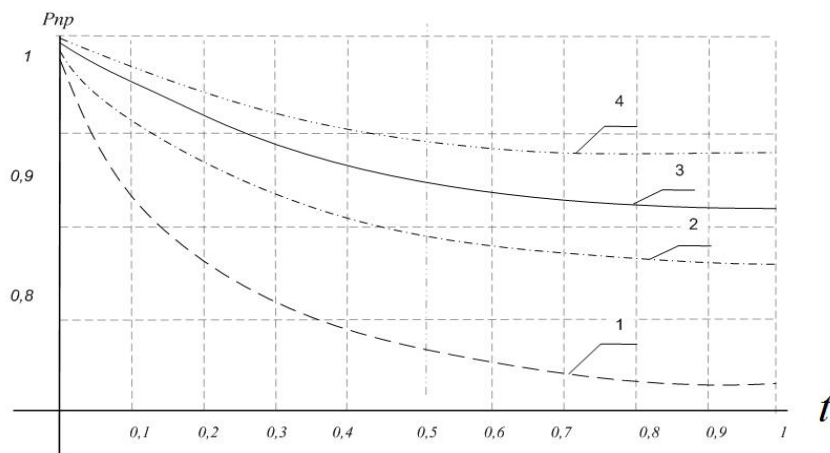


Рисунок 3 – Зависимости вероятности пропуска ЛКФП от времени работы ЛКФП при различных вероятностях защиты ОЭС на этапах конфликтного взаимодействия:
 1- $P_{зр}=P_{зн}=0.1$; 2 – $P_{зр}=0.1$ $P_{зн}=0.3$; 3- $P_{зр}=0.3$ $P_{зн}=0.1$; 4 – $P_{зр}=P_{зн}=0.3$

Полученные результаты находятся в хорошем согласии с современной теорией конфликта [Будников, 2013].

Таким образом, на основе описания конфликта ОЭС–ЛКФП в виде полумарковского случайного процесса с дискретным множеством состояний [Глушков, 2018] разработана модель процесса конфликтного взаимодействия ОЭС и ЛКФП. В модели математически формализованы зависимости вероятностей нахождения системы ОЭС–ЛКФП в основных состояниях их функционирования от вероятностных и временных характеристик сторон конфликта. Разработанные аналитические выражения можно использовать для исследования зависимостей вероятности пропуска цели ЛКФП (вероятности скрытия ОЭС) от параметров конфликтующих сторон.

Библиографический список

1. *Абрамов П. И.* Перспективы применения квантово-каскадных лазеров в системах оптико-электронного противодействия / П. И. Абрамов, Е. В. Кузнецов, Л. А. Скворцов // *Оптический журнал.* 2017. № 5. С. 56–70.
2. *Будников С. А.* Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения: монография / С. А. Будников, А. И. Гревцев, А. В. Иванцов и др. / Под ред. Ю. Л. Козирацкого. М.: Радиотехника, 2013. 232 с.
3. *Глушков А. Н.* Алгоритм обнаружения оптико-электронных средств в случайно-неоднородной среде / А. Н. Глушков, Р. Н. Кравцов, А. Л. Митрофанов // *Теория и техника радиосвязи.* 2011. № 1. С. 29–36.
4. *Глушков А. Н.* Динамическая модель процесса защиты оптико-электронного средства от лазерного комплекса функционального поражения / А. Н. Глушков, Н. В. Дробышевский, П. Е. Кулешов, А. В. Марченко // *Системы управления, связи и безопасности.* 2018. №3. С. 136–149.
5. *Дробышевский Н. В.* Модель оптико-электронного средства как объекта разведки / Н. В. Дробышевский, А. Н. Глушков, П. Е. Кулешов // *Системы управления, связи и безопасности: журн.* 2019. № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sccs.intelgr.com/archive/2019-01/05-Glushkov.pdf> (дата обращения: 16.08.2019).
6. *Тихонов В. И.* Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. М.: Советское радио, 1977. 488 с.

References

1. *Abramov P. I. (2017) Prospects for the application of quantum-cascade lasers in the optronic counteraction systems / P. I. Abramov, E. V. Kuznecov, L. A. Skvorcov // Optical journal. 2017. № 5. P. 56–70. (in Russian)*
2. *Budnikov S. A. (2013) Models of informational conflict of search and detection means: monograph / S. A. Budnikov, A. I. Grevcev, A. V. Ivancov et al. / Ed. by Ju. L. Kozirackij. M.: Radiotekhnika, 2013. 232 p. (in Russian)*
3. *Drobyshevskij N. V. (2019) The model of an optronic aid as a reconnaissance object / N. V. Drobyshevskij, A. N. Glushkov, P. E. Kuleshov // Systems of control, communication and safety: journ. 2019. № 1. [Electronic source]: <http://sccs.intelgr.com/archive/2019-01/05-Glushkov.pdf> (accessed date: 16.08.2019). (in Russian)*
4. *Glushkov A. N. (2011) Algorithm of detecting optronic aids in the random medium / A. N. Glushkov, R. N. Kravcov, A. L. Mitrofanov // Theory and practice of radio communication. 2011. № 1. P. 29–36. (in Russian)*
5. *Glushkov A. N. (2018) Dynamic model of defencing an optronic aid against a functional-kill laser complex / A. N. Glushkov, N. V. Drobyshevskij, P. E. Kuleshov, A. V. Marchenko // Systems of control, communication and safety. 2018. №3. P. 136–149. (in Russian)*
6. *Tihonov V. I. (1977) Markovian processes / V. I. Tihonov, M. A. Mironov. M.: Sovetskoe radio, 1977. 488 p. (in Russian)*