

УДК 623.624.2

## Динамическая модель процесса защиты оптико-электронного средства от лазерного комплекса функционального поражения

Глушков А. Н., Дробышевский Н. В.,  
Кулешов П. Е., Марченко А. В.

**Постановка задачи:** обеспечение выигрыша в конфликте определяет необходимость упреждающего выявления действий противостоящей стороны и их нейтрализации с помощью специальных способов. Перспективным подходом к их разработке является применение системных методов исследования, позволяющих рассматривать динамику конфликта и его основные характеристики во взаимосвязи с действиями сторон на всех стадиях их функционирования. **Целью работы** является разработка динамической модели конфликта "оптико-электронное средство - лазерный комплекс функционального поражения", отражающей основные этапы функционирования сторон с учетом их конфликтной обусловленности и позволяющей определять требования к параметрам. **Новизна работы** заключается в системном рассмотрении модели конфликта «оптико-электронное средство - лазерный комплекс функционального поражения» на различных этапах функционирования сторон, что позволило определить аналитические выражения для оценки вероятности успешной защиты оптико-электронного средства в заданные моменты времени в зависимости от значений технических параметров сторон. **Результат:** на основе представления конфликта "оптико-электронное средство - лазерный комплекс функционального поражения" в виде полумарковского случайного процесса с дискретным множеством состояний, составлена и проанализирована система интегральных уравнений, позволяющая определить вероятность выигрыша (проигрыша) каждой из конфликтующих сторон на различных этапах их функционирования в заданные моменты времени с учетом общего временного ресурса систем. **Практическая значимость:** представленное решение реализовано в программном продукте, позволяющем рассчитывать вероятностные характеристики средств разведки в зависимости от параметров конфликтующих систем и, как следствие, обосновать параметры средств защиты оптико-электронных систем.

**Ключевые слова:** конфликт, оптико-электронное средство, лазерный комплекс функционального поражения, средство разведки, способы защиты, вероятность выигрыша.

### Введение

В современных условиях функционирование оптико-электронных средств (ОЭС) протекает, как правило, в условиях конфликта с другими средствами. Он заключается в том, что ОЭС стремятся получить как можно больше информации об объектах противостоящей стороны, которая препятствует ей в этом. Одним из путей достижения выигрыша в конфликте является своевременное решения задач по радиоэлектронной борьбе, основное содержание которых сводится к упреждающе-

---

#### Библиографическая ссылка на статью:

Глушков А. Н., Дробышевский Н. В., Кулешов П. Е., Марченко А. В. Динамическая модель процесса защиты оптико-электронного средства от лазерного комплекса функционального поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 136–149.  
URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/07-Glushkov.pdf>

#### Reference for citation:

Glushkov A. N., Drobyshevskij N. V., Kuleshov P. E., Marchenko A. V. Dynamic Model of Protection Process of an Optical-Electronic Means from a Laser Complex of Functional Damage. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 3, pp. 136–149. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/07-Glushkov.pdf> (in Russian).

му выявлению действий противостоящей стороны и их блокированию с помощью специальных способов и средств [1]. Их разработка и эффективное применение определяют необходимость создания методического аппарата оценки эффективности защиты ОЭС от лазерных комплексов функционального поражения (ЛКФП).

### Динамическая модель процесса защиты оптико-электронного средства от лазерного комплекса функционального поражения

Рассмотрим конфликт двух сторон [2]: сторона  $O$  представляет собой ОЭС, целевая функция которого состоит в получении информации об объектах стороны  $B$ , при этом ОЭС включает в свой состав подсистему разведки, подсистему защиты от лазерного излучения и подсистему управления. Сторона  $B$  располагает для защиты от съема информации ЛКФП [3]. Такие комплексы представляют собой сложные образцы вооружения, состоящие из подсистемы разведки (ПР), подсистемы наведения, подсистемы создания поражающих помех (помеховый канал (ПК)) и подсистемы управления. Разведка объектов поражения обычно осуществляется по данным внешнего целеуказания (ВЦУ) с помощью лазерных локаторов, работающих на основе эффекта бликовой локации [4]. Энергетический запас ЛКФП позволяет произвести  $l$  выстрелов по ОЭС в процессе цикла функционирования  $T_K$ . При этом, время пребывания ОЭС в зоне поражения ЛКФП не превышает времени  $T_O$ . Граф, отражающий динамику конфликта ЛКФП-ОЭС, представлен на рис. 1.

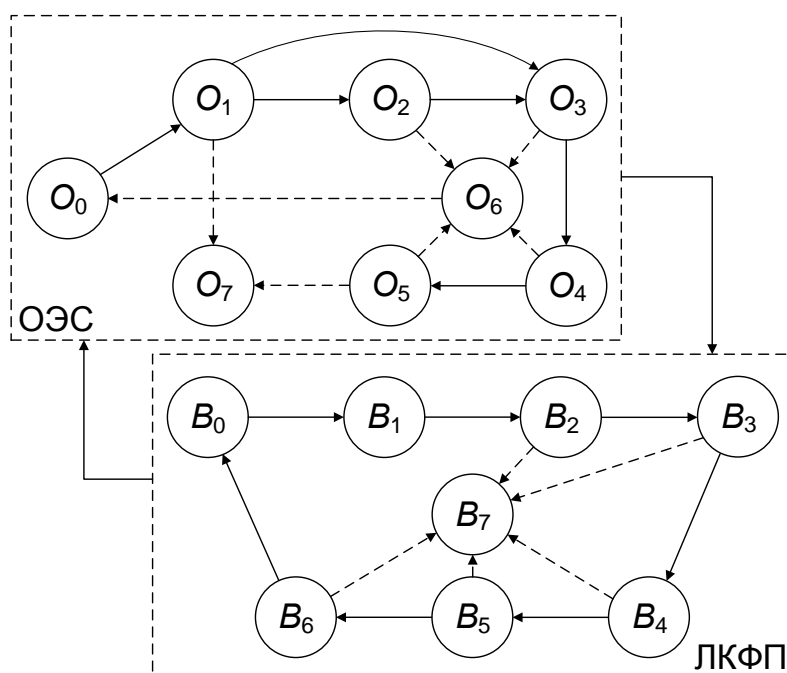


Рис. 1. Граф состояний конфликта ЛКФП-ОЭС

В разработанном графе введены следующие состояния:

- $O_0$  – основной режим работы ОЭС – съём информации;
- $O_1$  – мониторинг противника – прием зондирующего излучения ЛКФП;

- $O_2$  – режим защиты от оптического контакта с подсистемой разведки лазерного комплекса;
- $O_3$  – режим защиты от обнаружения подсистемой разведки лазерного комплекса;
- $O_4$  – режим защиты от распознавания лазерным комплексом;
- $O_5$  – режим защиты от мощного лазерного излучения ПК ЛКФП;
- $O_6$  – выигрыш ОЭС в конфликте;
- $O_7$  – проигрыш ОЭС в конфликте;
- $B_0$  – ожидание ЛКФП внешнего целеуказания;
- $B_1$  – обработка ЛКФП целеуказания – ориентация на ОЭС;
- $B_2$  – поиск ПР ЛКФП оптико-электронного средства – прием отраженного сигнала;
- $B_3$  – обнаружение ПР ЛКФП оптико-электронного средства;
- $B_4$  – распознавание ПР ЛКФП оптико-электронного средства;
- $B_5$  – наведение на ОЭС ПК лазерного комплекса;
- $B_6$  – генерация мощного лазерного излучения ПК и контроль результатов воздействия;
- $B_7$  – непоражение ОЭС в конфликте – пропуск цели.

На рис. 1 вершины графа расположены в соответствии с последовательностью функционирования сторон, дуги графа ориентированы по направлению протекания процесса. Предполагается, что одновременно не может произойти более одного изменения состояний сторон.

ОЭС в исходном состоянии  $O_0$  производит съемку информации, при этом подсистема защиты от поражающего излучения находится в состоянии ожидания команды на включение. ЛКФП в исходном состоянии  $B_0$  находится в режиме ожидания ВЦУ (например, от радиолокационной станции), после поступления которого исполнительными механизмами наведения ЛКФП начинается его обработка – состояние  $B_1$ , по окончании которой ПР и ПК ориентируются в направлении на ОЭС с ошибкой, определяемой точностью целеуказания. Затем ЛКФП переходит в состояние  $B_2$ , в котором в поле ошибок ВЦУ ПР осуществляет просмотр пространства до получения отраженного сигнала. После его получения ЛКФП переходит в режим обнаружения ОЭС – состояние  $B_3$ . Обнаружение осуществляется в соответствии с логикой не менее  $m$  обнаруженных импульсов из  $n$  излученных.

При нахождении ОЭС в зоне возможного воздействия противника одновременно с реализацией основной целевой функции производится мониторинг противника – состояние  $O_1$ . Это позволяет после перехода ЛКФП в состояние  $B_2$ , обнаружить его функционирование по рассеянному атмосферой или прямому излучению. При обнаружении рассеянного излучения, подсистема управления ОЭС выдает команду в подсистему защиты на включение режима защиты от оптического контакта с ПР ЛКФП, например, путем установления соответствующего закона сканирования – состояние  $O_2$ . Если оптический контакт между ЛКФП и ОЭС состоялся, в последнем включается режим защиты от обнаружения противником, например, путем смещения матрицы фотоприемников из

плоскости наблюдения (расфокусировка принимаемого излучения) – состояние  $O_3$ . При обнаружении прямого излучения лазерного локатора, в ОЭС включается режим защиты от обнаружения без включения режима защиты от оптического контакта.

После обнаружения ОЭС в ЛКФП осуществляется его распознавание – состояние  $B_4$ . Для защиты от которого в ОЭС может быть использована защита от распознавания – состояние  $O_4$ , заключающаяся в имитации распознаваемого объекта с помощью ложной цели, например, уголкового оптического отражателя (УОО). После распознавания ОЭС в ЛКФП осуществляется наведение ПК на ОЭС – состояние  $B_5$ . По окончании которого (при вхождении ошибок наведения в заданный допуск) формируется команда на включение мощного лазерного излучения ПК – состояние  $B_6$ . После чего производится излучение поражающего импульса и контроль результатов воздействия. Для защиты ОЭС от поражающего излучения может быть использован отворот поля зрения от направления на ЛКФП - состояние  $O_5$ . Одновременно с этим может быть произведена имитация ОЭС и факта его поражения, например, с помощью УОО и пиропатрона, срабатывающего под действием мощного излучения и имеющего спектр излучаемого сигнала близкий к спектру горения материала фотоприемника ОЭС.

При принятии решения о поражении ОЭС, ЛКФП переходит в состояние  $B_0$ , а ОЭС при поражении переходит в состояние  $O_7$ . В случаях необнаружения и нераспознавания ОЭС лазерным комплексом, а также при непоражении ОЭС, ЛКФП переходит в состояние  $B_7$  – пропуск цели. При этом считается, что ОЭС выиграло в конфликте – состояние  $O_6$ , и оно возвращается в исходное состояние  $O_0$ .

В ходе конфликта каждое действие сторон приносит некоторый частный выигрыш (проигрыш) из которых складывается результирующий выигрыш (проигрыш) по завершению конфликта. Поступая аналогично [5], в качестве количественной меры оценки состояний конфликта примем плотность распределения вероятностей состояния частных результирующих выигрышей к моменту времени  $t$ . Для полумарковских процессов данная оценка определяется выражением [5]:

$$B_j(t) = \sum_{i=1}^n P_{ij} \int_0^t B_i(\tau) \omega_{ij}(t-\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $B_i(\tau)$ ,  $i=1 \dots n$  плотность вероятностей переходов в предыдущие состояния к моменту времени  $\tau$ ;  $P_{ij}$ ,  $\omega_{ij}$  – соответственно переходная вероятность и плотность вероятности времени перехода из состояния  $i$  в  $j$ .

Исходя из выражения (1) функция распределения вероятности наступления события  $\Pi_j$  к моменту времени  $t+\tau$  запишется в виде:

$$P_n(\Pi_j, t+\tau) = P_n(\Pi_i, t) P_{ij} \int_0^\tau \omega_{ij}(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где  $P_n(\Pi_i, t)$  – функция распределения вероятности наступления события  $\Pi_i$  к моменту времени  $t$ .

Плотности вероятности времен переходов между состояниями системы ЛКФП-ОЭС опишем с помощью показательного закона распределения:

$$\omega_{ij}(\tau) = \lambda_i e^{-\lambda_i \tau}$$

где  $\lambda_i = 1/t_{cpij}$ ;  $t_{cpij}$  – среднее время ожидания перехода из состояния  $i$  в  $j$ .

Тогда выражение (2) переписывается в виде (3):

$$P_n(\Pi_j, t + \tau) = P_n(\Pi_i, t) P_{ij} \int_0^\tau \lambda_i e^{-\lambda_i \tau} d\tau, \quad (3)$$

и после интегрирования по  $\tau$  принимает вид:

$$P_n(\Pi_j, t + \tau) = P_n(\Pi_i, t) P_{ij} (1 - e^{-\lambda_i \tau}), \quad (4)$$

Характеристики состояний системы ЛКФП-ОЭС (рис. 1) сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики состояний конфликта ЛКФП-ОЭС

Состояния	Вероятностные характеристики конфликта	Временные характеристики конфликта
$B_0$	Вероятность начального состояния $P_0^B = 1$	Среднее время выдачи команды на обнаружение ОЭС $t_{ком}^B \rightarrow 0$
$B_1$	Вероятность отработки целеуказания $P_{отр}^B = 1$	Среднее время отработки целеуказания $t_{отр}^B$
$B_2$	Вероятность обнаружения первого отраженного сигнала $P_{обн1}^B$	Среднее время обнаружения отраженного от ОЭС сигнала $t_{обн1}^B$
$B_3$	Вероятность обнаружения не менее 3-х отраженных от ОЭС сигналов из пяти излученных импульсов $P_{обн3}^B$ . Вероятность наличия ОЭС в зоне поиска ЛКФП $P_{из}^{OB}$	Среднее время обнаружения не менее трех отраженных от ОЭС сигналов из пяти излученных импульсов $t_{обн3}^B$
$B_4$	Вероятность распознавания ОЭС $P_{расп}^B$	Среднее время распознавания ОЭС $t_{расп}^B$
$B_5$	Вероятность наведения лазера с заданной погрешностью $P_{нав}^B$	Среднее время отработки целеуказания $t_{отр}^B$
$B_6$	Вероятность поражения ОЭС лазерным излучением $P_{пор}^B$	Среднее время лазерного излучения $t_{изл}^B$ . Среднее время проведения контроля результата поражающего воздействия $t_k^B$
$O_0$	Вероятность начального состояния $P_0^O = 1$	Среднее время выдачи команды на обнаружение ЛКФП $t_{ком}^O \rightarrow 0$
$O_1$	Вероятность обнаружения ОЭС рассеянного атмосферой излучения ЛКФП $P_{обнПИ}^O$ . Вероятность обнаружения ОЭС прямого излучения ЛКФП $P_{обнПИ}^O$	Среднее время обнаружения рассеянного атмосферой излучения ЛКФП $t_{обнПИ}^O$ Среднее время обнаружения прямого излучения ЛКФП $t_{обнПИ}^O$
$O_2$	Вероятность защиты ОЭС от оптического контакта $P_{рЗОК}^O = 1 - P_{обн1}^B$	Среднее время выполнения режима защиты от оптического контакта $t_{рЗОК}^O$

$O_3$	Вероятность наличия ОЭС в зоне поиска ЛКФП $P_{нз}^{OB}$ . Вероятность защиты ОЭС от обнаружения $P_{p3O}^O = 1 - P_{нз}^{OB} P_{обн3}^B$	Среднее время выполнения режима защиты от обнаружения лазерным комплексом $t_{p3O}^O$
$O_4$	Вероятность защиты ОЭС от распознавания $P_{p3P}^O = 1 - P_{расп}^B$	Среднее время выполнения режима защиты от распознавания лазерным комплексом $t_{p3P}^O$
$O_5$	Вероятность защиты ОЭС от поражающего излучения $P_{p3И}^O = 1 - P_{пор}^B$	Среднее время выполнения режима защиты от мощного лазерного излучения $t_{p3И}^O$

Вероятностные характеристики конфликта определяются вероятностями переходов из одного состояния в другое, а временные характеристики конфликта определяются средними значениями времен ожидания переходов. Тогда, исходя из выражения (4) и характеристик состояний, а также учитывая отчет среднего времени от начала цикла информационного конфликта и его нормировку относительно времени  $T_O$ , получим системы уравнений, описывающие вероятности состояний систем ЛКФП (5) и ОЭС (6, 7):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_n(B_1, t) = P_0^B (1 - e^{-t/t_{ком}^B}); \\ P_n(B_2, t) = P_n(B_1, t)(1 - e^{-t/t_{опр}^B}); \\ P_n(B_3, t) = P_n(B_2, t)P_{обн1}^B (1 - e^{-t/t_{обн1}^B}); \\ P_n(B_4, t) = P_n(B_3, t)P_{нз}^{OB} P_{обн3}^B (1 - e^{-t/t_{обн3}^B}); \\ P_n(B_5, t) = P_n(B_4, t)P_{расп}^B (1 - e^{-t/t_{расп}^B}); \\ P_n(B_6, t) = P_n(B_5, t)P_{нав}^B (1 - e^{-t/t_{опр}^B}); \\ P_n(B'_0, t) = P_n(B_6, t)P_{пор}^B (1 - e^{-t/(t_k^B + t_{изл}^B)}); \\ P_n(B_7, t) = P_n(B_2, t) - P_n(B'_0, t); \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_n(O_1, t) = P_0^O (1 - e^{-t/t_{ком}^O}); \\ P_n(O_2, t) = P_n(O_1, t)P_{обнПИ}^O (1 - e^{-t/t_{обнПИ}^O}); \\ P_n(O_3, t) = P_n(O_1, t)P_{обнПИИ}^O (1 - e^{-t/t_{обнПИИ}^O}) + \\ + P_n(O_2, t)P_{обн1}^B (1 - e^{-t/t_{p3OK}^O}); \\ P_n(O_4, t) = P_n(O_3, t)P_{нз}^{OB} P_{обн3}^B (1 - e^{-t/t_{p3O}^O}); \\ P_n(O_5, t) = P_n(O_4, t)P_{расп}^B (1 - e^{-t/t_{p3P}^O}); \\ P_n(O_6, t) = P_{yB}(O_2, t) + P_{yB}(O_3, t) + P_{yB}(O_4, t) + P_{yB}(O_5, t); \\ P_n(O_7, t) = P_n(O_1, t)(1 - P_{обнПИИ}^O - P_{обнПИ}^O + P_{обнПИИ}^O P_{обнПИ}^O) \times \\ \times (1 - e^{-t/t_{обнПИИ}^O}) + P_n(O_5, t)P_{пор}^B (1 - e^{-t/t_{p3И}^O}); \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\begin{cases} P_{\text{YB}}(O_2, t) = P_n(O_2, t)P_{p3OK}(1 - e^{-t/t_{p3OK}}); \\ P_{\text{YB}}(O_3, t) = P_n(O_3, t)P_{p3O}(1 - e^{-t/t_{p3O}}); \\ P_{\text{YB}}(O_4, t) = P_n(O_4, t)P_{p3P}(1 - e^{-t/t_{p3P}}); \\ P_{\text{YB}}(O_5, t) = P_n(O_5, t)P_{p3И}(1 - e^{-t/t_{p3И}}); \end{cases} \quad (7)$$

где  $P_n(-, t)$  – вероятности наступления состояний к моменту времени  $t$ ;  $P_n(B'_0, t)$  – вероятность возвращения в исходное состояние после прохождения цикла информационного конфликта;  $P_{\text{YB}}(-, t)$  – вероятности защиты ОЭС от ЛКФП на различных этапах функционирования сторон конфликта.

С использованием разработанной модели были проведены исследования эффективности защиты ОЭС от ЛКФП в зависимости от значений их параметров.

Полученные результаты представлены на рис. 2, 3 и 4. Результаты получены при следующих характеристиках состояний (таблица 1):  $P_{\text{обнPI}}^O = 0,3$ ;  $P_{\text{нав}}^B = 0,99$ ;  $P_{\text{обнПИ}}^O = 1$ ;  $t_{p3OK}^O = t_{p3O}^O = 0,01$ ;  $t_{p3P}^O = t_{p3И}^O = 0,1$ ;  $t_{\text{изл}}^B = 10^{-6}$ . Значения варьируемых параметров отображены в подрисуночных подписях.

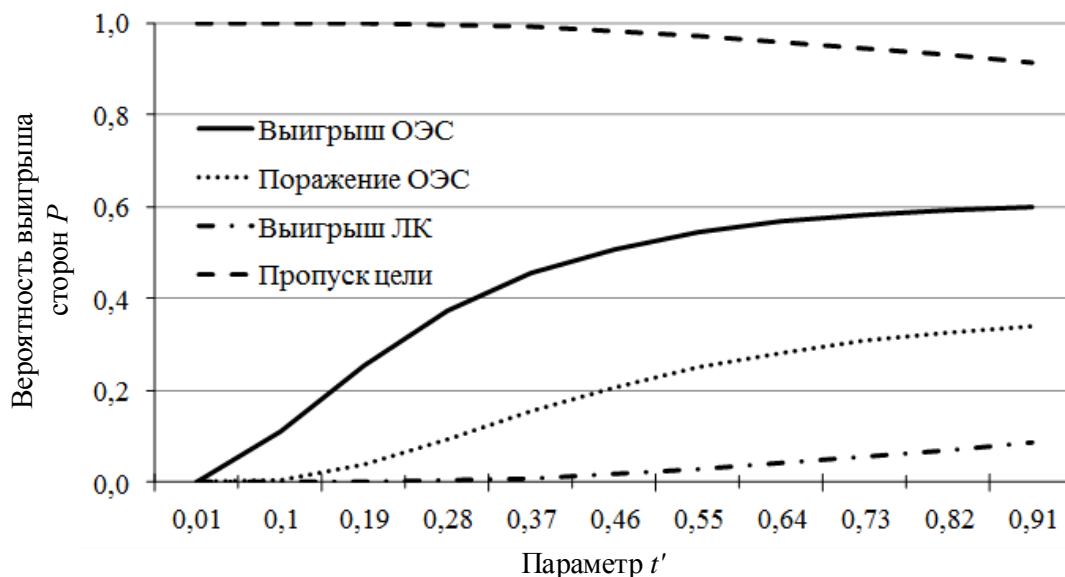
На рис. 2а, 2б представлены результаты оценки эффективности защиты ОЭС от ЛКФП в зависимости от времени нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛКФП ( $t'$  – время, нормированное относительно времени нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛКФП  $T_0$ ).

Установлено, что в конфликте выигрывает та сторона, которая имеет более высокое быстродействие, а также имеет более высокие вероятностные характеристики переходов из состояния в состояние. Данный результат обусловлен последовательным наращиванием усилий на каждом этапе функционирования конфликтующих сторон, что находится в хорошем согласии с современной теорией конфликта [6].

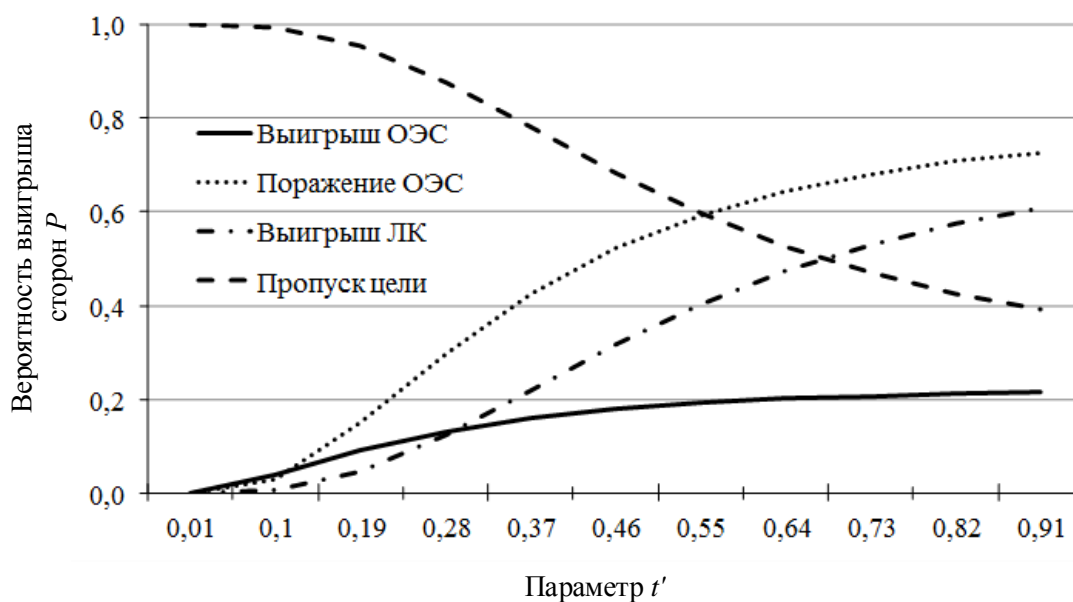
Выигрыш ОЭС в конфликте против ЛКФП определяется возможностями скрытого функционирования ОЭС в зоне обнаружения подсистемы разведки лазерного комплекса. Эти возможности характеризует такой показатель, как разведдоступность ОЭС [7]. Он зависит как от свойств ОЭС, так и от свойств подсистемы разведки лазерного комплекса. Последний ведет разведку ОЭС путем последовательного просмотра пространства в заданном секторе обзора с помощью одного или нескольких датчиков. При этом реализуются одноэтапный и двухэтапный режимы поиска [8].

Одноэтапный поиск ОЭС осуществляется лазерным локатором путем просмотра полем зрения заданной зоны. Просмотр проводится в определенной последовательности, задаваемой законом сканирования, который циклически повторяется до того момента, пока не будет принято решение об обнаружении ОЭС. При двухэтапном поиске комплекс разведки, состоящий из двух датчиков, обладающих разными полями зрения, осуществляет циклический просмотр сектора поиска в два этапа. После обнаружения носителя ОЭС на первом этапе широкопольным средством, узкопольное средство выполняет допоиск ОЭС.

Решение о завершении поиска принимается при обнаружении ОЭС на втором этапе [8].



а)  $P_{обн1}^B = 0,6; P_{расп}^B = P_{нор}^B = 0,8; t_{отп}^B = 0,1; t_{обн1}^B = 0,05; t_{обн3}^B = t_{расп}^B = 0,25$



б)  $P_{обн1}^B = 0,9; P_{расп}^B = P_{нор}^B = 0,9; t_{отп}^B = 0,05; t_{обн1}^B = 0,02; t_{обн3}^B = t_{расп}^B = 0,1$

Рис. 2. Динамика изменения вероятностей наступления состояний сторон в конфликте

Рассмотрим вероятности выигрыша сторон для одноэтапного и двухэтапного поиска в зависимости от мощности зондирующего сигнала ПР ЛКФП, являющейся одним из ключевых параметров, определяющих показатель развед-доступности ОЭС.

На рис. 3 представлены зависимости вероятности выигрыша ОЭС  $P_O$  и ЛКФП  $P_K$  от мощности зондирующего сигнала ПР ЛКФП  $P'_3$  ( $P'$  – мощность,



нормированная к максимальной расчетной мощности) в разное время цикла нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛКФП для случая одноэтапного поиска.

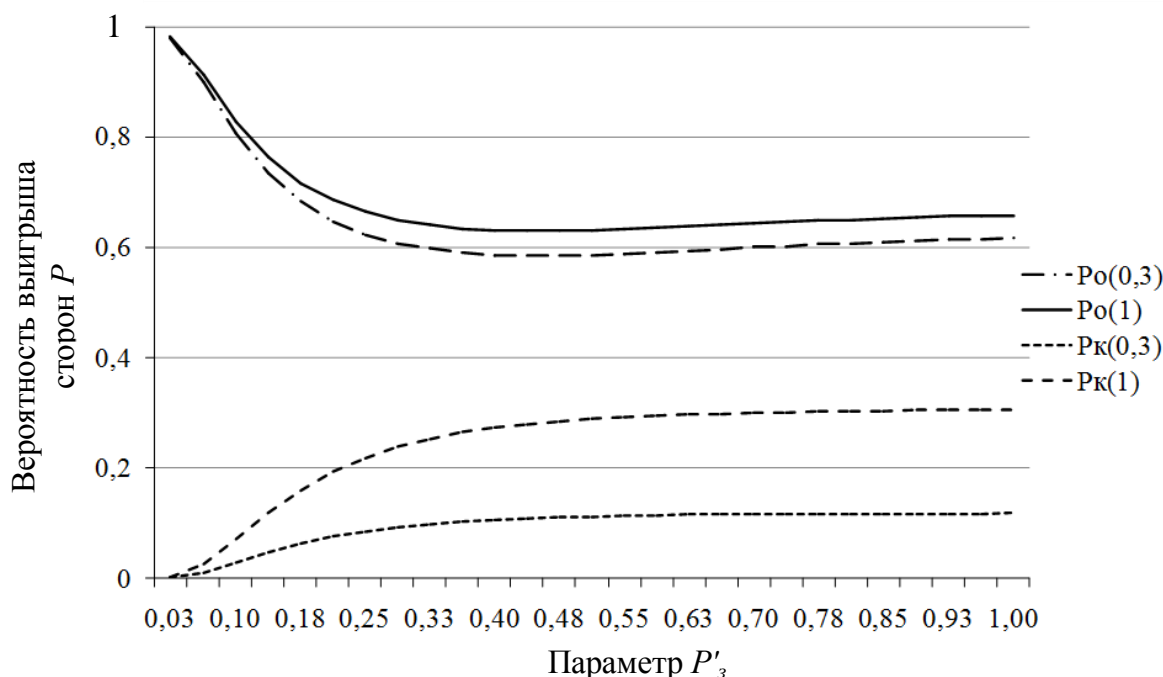


Рис. 3. Зависимость вероятности выигрыша сторон в конфликте от мощности зондирующего сигнала средства разведки для случая одноэтапного поиска

Установлено, что при  $P'_3 < 0,4$  вероятность выигрыша ОЭС в конфликте  $P_o$  уменьшается с увеличением мощности зондирующего сигнала. Это происходит вследствие увеличения разведдоступности ОЭС [7] из-за повышения отношения сигнал/шум на входе ПР ЛКФП. При  $P'_3 \geq 0,4$  рост мощности зондирующего сигнала ПР ЛКФП ведет к существенному увеличению мощности рассеянного атмосферой лазерного излучения. Это, в свою очередь, вызывает повышение вероятности обнаружения ЛКФП. Поэтому вероятность выигрыша ОЭС начинает незначительно повышаться при достижении мощности зондирующего сигнала некоторого порогового уровня (примерно  $0,5P'_3$  – для использованных расчетных данных).

Также из приведенных зависимостей видно, что вероятности выигрыша ОЭС и ЛКФП для полного цикла времени нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛКФП  $T_o$  ( $P_o(1)$  и  $P_k(1)$ ) выше, чем для  $0,3T_o$  ( $P_o(0,3)$  и  $P_k(0,3)$ ). Физически это объясняется тем, что в конце цикла в конфликте используются все меры воздействия на противостоящую сторону конфликта.

На рис. 4 представлены зависимости вероятности выигрыша ОЭС  $P_o$  и ЛКФП  $P_k$  от мощности зондирующего сигнала ПР ЛКФП  $P'_3$  в разное время цикла нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛКФП для случая двухэтапного поиска оптического средства ПР ЛКФП.

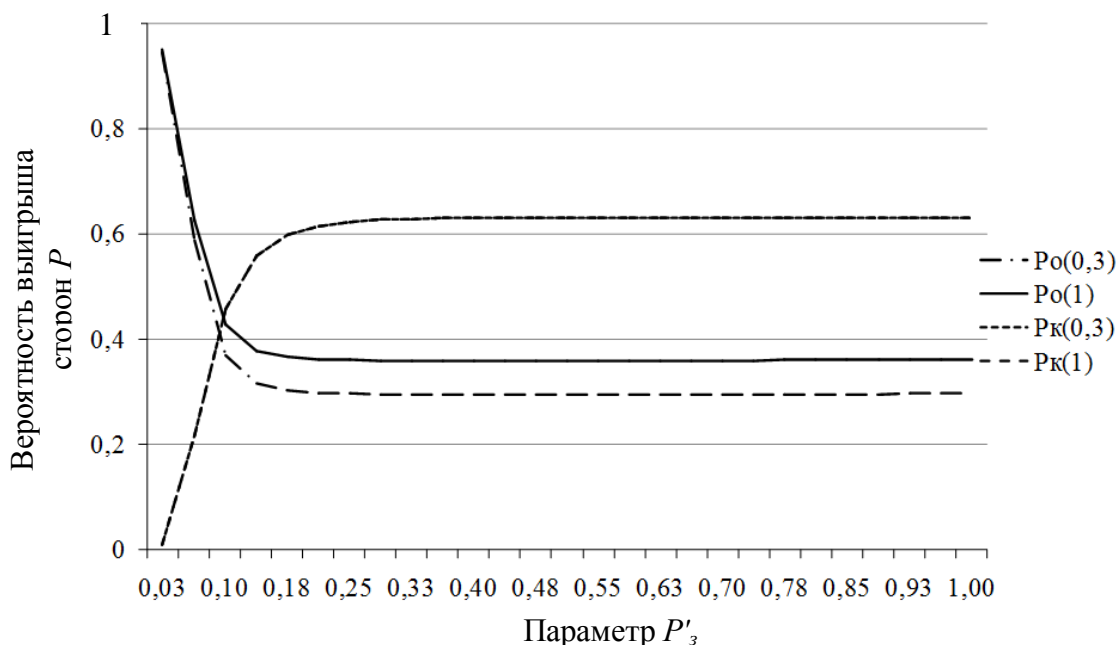


Рис. 4. Зависимость вероятности выигрыша сторон в конфликте от мощности зондирующего сигнала средства разведки для случая двухэтапного поиска

Видно, что зависимости вероятностей выигрыша сторон от  $t'$  в конфликте при двухэтапном поиске имеют большую крутизну и меньшее время достижения предельных вероятностей выигрыша. Это объясняется тем, что двухэтапный поиск по сравнению с одноэтапным характеризуется более высоким быстродействием, вследствие чего, затрачивается меньше времени на осуществление всех этапов функционирования в ЛКФП. Слияние графиков  $P_k(0,3)$  и  $P_k(1)$  обусловлено завершением переходных процессов до времени  $t < 0,3T_0$ .

### Выводы

На основе представления конфликта ОЭС-ЛКФП в виде полумарковского случайного процесса с дискретным множеством состояний, составлена и проанализирована система интегральных уравнений, позволяющая определить относительный выигрыш (проигрыш) каждой из конфликтующих сторон на этапах их функционирования в заданные моменты времени с учетом общего временного ресурса систем в зависимости от значений их параметров. Это позволяет обосновывать параметры, а также временные и вероятностные характеристики функционирования ОЭС исходя из обеспечения его конфликтной устойчивости.

Элементами новизны представленного решения являются системное рассмотрение модели конфликта ОЭС-ЛКФП на различных этапах их функционирования и использование для его описания полумарковского процесса.

Наиболее близкой работой по исследованию характеристик, влияющих на защищенность ОЭС, является [7]. Однако использованная в ней модель не позволяет определять вероятность успешной защиты ОЭС на различных этапах функционирования сторон конфликта.

### Литература

1. Агафонов А. А., Артюх С. С., Афанасьев В. В., Афанасьева Е. М., Бостынец И. П., Быков В. В., Донцов А. А., Ермаков А. И., Калинин А. К., Каунов А. Е., Кирсанов Э. А., Лаптев И. В., Ложкин К. Ю., Марек Я. Л., Миронов В. А., Нечаев С. С., Новиков И. И., Овчаренко Л. А., Огреб С. М., Поддубный В. Н., Понькин В. А., Радзиевский В. Г., Разиньков С. Н., Романов А. Д., Рыжов А. В., Сирота А. А., Соловьев В. В., Сорокин Ю. А., Сухоруков Ю. С., Телков А. Ю., Уфаев В. А., Харченко Т. В., Юхно П. М., Яньшин С. Н. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: Издательство «Радиотехника», 2006. – 424 с.
2. Дробышевский Н. В., Глушков А. Н., Кулешов П. Е. Модель процесса функционирования оптико-электронного средства при конфликтном взаимодействии с лазерным средством разведки // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XVII Международной научно-методической конференции (Воронежский государственный университет, 8-9 февраля 2018 г.). Том 2. – Воронеж, 2018. – С. 148-153.
3. Абрамов П. И., Кузнецов Е. В., Скворцов Л. А. Перспективы применения квантово-каскадных лазеров в системах оптико-электронного противодействия. Обзор // Оптический журнал. 2017. № 5. С. 56-70.
4. Козинцев В. И., Белов М. Л., Орлов В. М., Городничев В. А., Стрелков Б. В. Основы импульсной лазерной локации / под ред. В. Н. Рождествина. – М.: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2006. – 512 с.
5. Дружинин В. В., Конторов Д. С., Конторов М. Д. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989. – 355 с.
6. Будников С. А., Гревцев А. И., Иванцов А. В., Кильдюшевский В. М., Козирацкий А. Ю., Козирацкий Ю. Л., Кущев С. С., Лысиков В. Ф., Паринов М. Л., Прохоров Д. В. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения. Монография / под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Издательство «Радиотехника», 2013. – 232 с.
7. Глушков А. Н., Дробышевский Н. В., Кулешов П. Е., Алабовский А. В. Системный подход к оценке разведдоступности оптико-электронных средств // Радиотехника. 2017. № 9. С. 50–54.
8. Козирацкий Ю. Л., Донцов А. А., Иванцов А. В., Козирацкий А. Ю., Кусакин О. В., Кущев С. С., Лысиков В. Ф., Мазилев С. Л., Паринов М. Л., Прохоров Д. В. Модели пространственного и частотного поиска. Монография / под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Издательство «Радиотехника», 2014. – 344 с.

### References

1. Agafonov A. A., Artyuh S. S., Afanas'ev V. V., Afanas'eva E. M., Bostynec I. P., Bykov V. V., Doncov A. A., Ermakov A. I., Kalinkov A. K., Kaunov A. E., Kirsanov E. A., Laptev I. V., Lozhkin K. Yu., Marek Ya. L., Mironov V. A., Nechaev S. S., Novikov I. I., Ovcharenko L. A., Ogreb S. M., Poddubnyj V. N., Pon'kin V. A., Radzievskij V. G., Razin'kov S. N., Romanov A. D.,

Ryzhov A. V., Sirota A. A., Solov'ev V. V., Sorokin Yu. A., Suhorukov Yu. S., Telkov A. Yu., Ufaev V. A., Harchenko T. V., Yuhno P. M., Yan'shin S. N. *Sovremennaya radioelektronnaya bor'ba. Voprosy metodologii* [Modern radioelectronic warfare. Methodological issues]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2006. 424 p. (in Russian).

2. Drobyshevskij N. V., Glushkov A. N., Kuleshov P. E. Model' processa funkcionirovaniya optiko-elektronного sredstva pri konfliktnom vzaimodejstvii s lazernym sredstvom razvedki [Model of the process of functioning of an electro-optical device in the conflictive interaction with a laser reconnaissance asset]. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii* [XVII International Scientific and Methodical Conference "Informatics: problems, methodology, technologies"]. Voronezh, Voronezh State University, 2018, vol. 2, pp. 148-153 (in Russian).

3. Abramov P. I., Kuznecov E. V., Skvorcov L. A. Perspektivy primeneniya kvantovo-kaskadnyh lazerov v sistemah optiko-elektronного protivodejstviya. Obzor [Prospects of application of quantum-cascade lasers in systems of electro-optical interference. Overview]. *Journal of Optical Technology*, 2017, no. 5, pp. 56-70 (in Russia).

4. Kozincev V. I., Belov M. L., Orlov V. M., Gorodnichev V. A., Strelkov B. V. Eds. Rozhdestvina V. N. *Osnovy impul'snoj lazernoj lokacii* [Basics of pulsed laser location]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2006. 512 p. (in Russian).

5. Druzhinin V. V., Kontorov D. S., Kontorov M. D. *Vvedenie v teoriyu konflikta* [Introduction to the theory of conflict]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 355 p. (in Russian).

6. Budnikov S. A., Grevcev A. I., Ivancov A. V., Kil'dyushevskij V. M., Kozirackij A. Yu., Kozirackij Yu. L., Kushchev S. S., Lysikov V. F., Parinov M. L., Prohorov D. V. *Modeli informacionnogo konflikta sredstv poiska i obnaruzheniya. Monografiya* [Models of information conflict of search and detection tools. Monography]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2013. 232 p. (in Russian).

7. Glushkov A. N., Drobyshevskij N. V., Kuleshov P. E., Alabovskij A. V. Sistemnyj podhod k ocenke razveddostupnosti optiko-elektronnyh sredstv [A systematic approach to the assessment of accessibility of reconnaissance of optical-electronic means]. *Radiotekhnika*, 2017, no. 9, pp. 50–54 (in Russia).

8. Kozirackij Yu. L., Doncov A. A., Ivancov A. V., Kozirackij A. Yu., Kusakin O. V., Kushchev S. S., Lysikov V. F., Mazilov S. L., Parinov M. L., Prohorov D. V. *Modeli prostranstvennogo i chastotnogo poiska. Monografiya* [Models of spatial and frequency search. Monography]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2014. 344 p. (in Russian).

Статья поступила 27 июня 2018 г.

### Информация об авторах

Глушков Александр Николаевич – доктор технических наук. Старший научный сотрудник отдела научно-исследовательского центра. Военный учеб-

но-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Область научных интересов: информационный конфликт оптико-электронных систем. E-mail: glan57.glushkov@yandex.ru

*Дробышевский Николай Васильевич* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт отдела научно-исследовательского центра. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Область научных интересов: информационный конфликт оптико-электронных систем. E-mail: d\_n.v@mail.ru

*Кулешов Павел Евгеньевич* – кандидат технических наук, доцент. Начальник отдела научно-исследовательского центра. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Область научных интересов: информационный конфликт оптико-электронных систем. E-mail: pekulesh@yandex.ru

*Марченко Александр Васильевич*. Начальник группы – старший инструктор группы. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». Область научных интересов: информационный конфликт оптико-электронных систем. E-mail: vaiu@mil.ru

Адрес: 394052, Россия, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 153.

---

## Dynamic Model of Protection Process of an Optical-Electronic Means from a Laser Complex of Functional Damage

A. N. Glushkov, N. V. Drobyshevskij,  
P. E. Kuleshov, A. V. Marchenko

**Statement of the problem:** Ensuring a win in the conflict determines the need for preemptive detection of the opposing side actions and their neutralization by means of special methods. A promising approach to their development is the use of systematic research methods that allow us to consider the dynamics of the conflict and its main characteristics in conjunction with the actions of the sides at all stages of their functioning. **Purpose of the work** is to develop a dynamic model of the conflict «optical-electronic means - laser complex of functional damage», that is reflects the main stages of the functioning of the sides, taking into account their conflictive conditionality and allows determining the requirements for the parameters. **The novelty of the work** consists of the systematic consideration of the conflict model «optical-electronic means - laser complex of functional damage» at various stages of the functioning of the sides. That allowed determining analytical expressions for estimate of successful protection probability of the optical-electronic means at given times, depending on the values of the technical parameters of the sides. **Result:** Based on the conflict representation, the «optical-electronic means - laser complex of functional damage» in the form of a semi-Markov random process with a discrete set of states, a system of integral equations is composed and analyzed, that is allows determining the probability of winning (losing) each of the conflicting sides at different stages of their functioning at specified times taking into account of the total time resource of the systems. **Practical relevance:** Presented solution is implemented in a software program that allows calculating the probabilistic characteristics of reconnaissance assets depending on the parameters of the conflicting systems, consequently, to justify the parameters of the protective devices of optical-electronic systems.

*Key words:* conflict, optical-electronic means, laser complex of functional damage, reconnaissance asset, protection methods, probability of winning.

### Information about Authors

*Aleksandr Nikolaevich Glushkov* – Dr. habil. of Engineering Sciences. Senior Research Officer of the Scientific Center department. Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Field of research: information conflict for optical-electronic systems. E-mail: glan57.glushkov@yandex.ru

*Nikolaj Vasil'evich Drobyshevskij* – Doctoral Student. The postgraduate student of the Scientific Center department. Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Field of research: information conflict for optical-electronic systems. E-mail: d\_n.v@mail.ru

*Pavel Evgen'evich Kuleshov* – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. Chief of the Scientific Center department. Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Field of research: information conflict for optical-electronic systems. E-mail: pekulesh@yandex.ru

*Aleksandr Vasil'evich Marchenko* – Chief of the group – senior instructor of the group. Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Field of research: information conflict for optical-electronic systems. E-mail: vaiu@mil.ru

Address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaja str. 153.