

УДК 623.777

## Модель поиска истинной цели среди детальных ложных при применении термоуправляемых средств скрытия и тепловой имитации наземной военной техники

Панов С. А., Курьянов И. Ю., Шамшин Н. Н.

**Постановка задачи:** для оценки возможностей разведывательных оптико-электронных средств воздушного базирования, в т. ч. размещаемых на многоцелевых беспилотных летательных аппаратах, известны и широко используются вероятностные модели поиска целей, учитывающие влияние на вероятность обнаружения и распознавания наземной военной техники ложных целей различной детализации. Так наибольшее развитие получили модели, основанные на оценке вероятностно-временных зависимостей правильного обнаружения и ложных тревог за определенный момент времени. Существенным ограничением данных моделей является то, что при оценке различных входных воздействий не учитывается влияние термоуправляемых средств скрытия и тепловой имитации наземной военной техники, применяемых в качестве отдельных или комплексных средств помехового воздействия. В результате этого существенно снижается точность полученных в процессе моделирования результатов по обнаружению и распознаванию скрываемых объектов. **Целью работы** является повышение достоверности оценки влияния на вероятность обнаружения и распознавания наземной военной техники перспективных средств снижения их тепловой заметности. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются полученные аналитические выражения и зависимости, позволяющие оценить эффективность влияния перспективных термоуправляемых средств снижения тепловой заметности наземной военной техники, на информационные возможности разведывательных инфракрасных оптико-электронных средств воздушного базирования. **Результат:** на основе формализованного представления конфликтного функционирования противоборствующих сторон в виде разрывных полумарковских процессов с непрерывным временем, получены аналитические выражения и зависимости, позволяющие провести количественную оценку вероятностно-временной величины распознавания истинной цели при применении термоуправляемых средств скрытия и ложных целей различной детализации. В результате моделирования установлено, что при применении защищаемой стороной термоуправляемого покрытия вероятность распознавания объекта составила 0,5, при применении детальных ложных целей – 0,32, а при их совместном использовании – 0,18. **Практическая значимость:** на основе разработанной модели практически реализованы устройства скрытия и тепловой имитации теплового контраста объекта, права на которые защищены патентами РФ на изобретение. Реализация данных технических решений позволяет: при имитации – воспроизводить на поверхности ложной тепловой цели тепловой контраст, соответствующий тепловому контрасту имитируемого объекта (прототипа), при скрытии – воспроизводить на поверхности объекта защиты тепловой контраст окружающего фона, благодаря чему он становится не различимым для инфракрасных оптико-электронных средств разведки.

**Ключевые слова:** случайный процесс, средства снижения заметности, ложные тепловые цели, вероятность распознавания, оптико-электронное средство, термоэлектрический модуль.

### Библиографическая ссылка на статью:

Панов С. А., Курьянов И. Ю., Шамшин Н. Н. Модель поиска истинной цели среди детальных ложных при применении термоуправляемых средств скрытия и тепловой имитации наземной военной техники // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 278-290. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10213.

### Reference for citation:

Panov S. A., Kuryanov I. J., Shamshin N. N. Model for finding the true target among the detailed false target when using thermally controlled means of hiding and thermal imitation of ground military vehicle. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 2, pp. 278-290. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10213 (in Russian).

### Актуальность

Для достижения максимального эффекта по снижению информационных возможностей разведывательных оптико-электронных средств (ОЭС), размещаемых в первую очередь на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), требуется разработка модели, учитывающей влияние на вероятностно-временные показатели современной разведывательной инфракрасной (ИК) аппаратуры средств скрытия и тепловой имитации, которые способны формировать на своей поверхности как положительный, так и отрицательный тепловой контраст (ТК).

Отсутствие таких моделей с одной стороны, а также возросшие возможности разведывательных ИК ОЭС по обнаружению и распознаванию широкой номенклатуры наземной военной техники с другой стороны приводит к недостаточной достоверности результатов при оценке влияния на эффективность функционирования разведывательных ИК ОЭС БПЛА различных средств снижения заметности (ССЗ).

### Постановка задачи

Высокая эффективность и постоянный рост информационных возможностей авиационных систем обнаружения выдвинули в число актуальных задачу расширения номенклатуры средств защиты наземной военной техники, максимально снижающих вероятность вскрытия и распознавания объектов. При этом для обоснования предложений по составу и технической реализации устройств скрытия и тепловой имитации наземной военной техники с заданными характеристиками требуется разработка соответствующего методического аппарата.

В области оценки возможностей и эффективности применения разведывательных оптико-электронных средств Е.М. Афанасьевой, В.А. Понькиным, Э.В. Петещенковым [1], а также А.А. Донцовым, Д.В. Прохоровым Ю.Л. Козирацким, А.Ю. Козирацким и др. учеными [2] были разработаны предложения по способам построения и применения ССЗ и ложных целей (ЛЦ).

Полученные результаты в области моделирования конфликтного взаимодействия сторон и применения средств маскировки наземных объектов Ю.Л. Козирацким, А.Ю. Козирацким, М.Л. Париновым [3], а также П.М. Юхно [4] и др. учеными позволили сформировать и реализовать на практике способы противодействия разведывательным ОЭС противника.

Однако до настоящего времени не было разработано приемлемых моделей и методик по оценке влияния на процесс поиска истинных целей (ИЦ) помеховых воздействий ложных тепловых целей (ЛТЦ) различной детализации и ССЗ, формирующих ТК с положительным, а также отрицательным значением на основе управления нагревом (охлаждением) источников излучения, выполненных в виде термоэлектрических модулей (ТЭМ) [5-7]. Модули способны плавно изменять температуру на своей поверхности под действием управляемого напряжения (тока) в широких пределах от отрицательных до положительных значений и обеспечивать разницу на «холодной» и «горячей» стороне около  $-5...55^{\circ}\text{C}$ . Для повышения оперативности и снятия ограничений по технологичности их применения ТЭМ размещают на поверхности гибкого термоуправляемого покрытия (ТУП) и жестко соединяют с переизлучателями – алюминии-

выми пластинами. Размер пластин не превышает предельно допустимое пространственное разрешение ИК ОЭС.

При этом одной из основных задач, требующей дополнительной проработки, на сегодняшний день остается оценка эффективности воздействия перспективных ССЗ и ЛТЦ различной детализации на снижение информационных возможностей ИК ОЭС БПЛА, выраженных в вероятностно-временных характеристиках.

Пример подобного перспективного средства показан на рис. 1, его основные характеристики – в таблице 1.



Рис. 1. Внешний вид гибкого термоуправляемого покрытия с ТЭМ

Таблица 1 – Характеристики ТУП

№ п/п	Характеристика	Гибкое покрытие
1.	Линейные размеры, м	1×1×0,01
2.	Объемность	Плоская
3.	Диапазон применения, мкм	3...5; 7...14
4.	Источник, имитирующий излучение	ТЭМ ТМ 127-1,4-1,6
5.	Количество ТЭМ	9
6.	Геометрические размеры ТЭМ, мм	40×40×4
7.	Геометрические размеры алюминиевых пластин, мм	20×16×5
8.	Коэффициент излучения пластин: (светло-серый матовый алюминий, диапазон 3...5 мкм)	0,61
9.	Потребляемая мощность, Вт	90...100
10.	Интервал воспроизводимых температур, °С	-4...55
11.	Время установления максимальной температуры, с	около 45

Размещая данное покрытие на поверхности ЛТЦ, можно добиться полного совпадения воспринимаемого тепловизионной аппаратурой теплового образа ложного и реального объекта. При необходимости обеспечения скрытия объекта, на поверхности ТУП воспроизводится тепловое излучение фона, на котором он расположен. При этом, по сравнению с применяемыми в современных средствах тепловой маскировки резистивными источниками теплового излучения (ИТИ), ТЭМ позволяют значительно расширить диапазон воспроизводимого излучения от отрицательных температур до температур около 100°С [7], а также в разы сократить потребляемую мощность.

### Модель поиска истинной цели среди детальных ложных

С целью упрощения подхода по формализации конфликта ОЭС – средства скрытия и тепловой имитации, представим совокупность противоборствующих сторон с их внутри- и внешнесистемными связями в виде единой конфликтующей системы, изменяющей свои информационные характеристики под влиянием трансформации информационных состояний каждой системы. Анализируя эти состояния, очередность пребывания в них конфликтующей системы и возможные направления протекания, процесс взаимодействия может быть выражен по средствам формирования графа состояний, отражающего динамику конфликта противоборствующих сторон. В этом случае, основываясь на теории полумарковских случайных процессов, для каждого ориентированного перехода могут быть найдены общие и частные показатели эффективности, а также переходные характеристики.

Рассмотрим случайный процесс поиска одной ИЦ среди ЛЦ с числом повторений, необходимых для принятия решений о принадлежности различаемого объекта к тому или иному классу целей. При этом будем полагать, что в качестве ССЗ использованы ТУП с ТЭМ, а в качестве ложных целей – детальные ЛЦ с расположенными на их поверхности ИТИ, выполненными на основе термоэлектрических модулей.

В качестве не детальных ЛЦ будем подразумевать нагретые источники теплового излучения, имитирующие элемент поверхности наземной техники, имеющие температурный контраст не меньший, чем температурный контраст существующего объекта военной техники, но существенно отличающиеся от прототипа линейными размерами. В качестве детальной ложной цели – ЛЦ с детальностью распределения теплового контраста выше, чем у не детальной ЛЦ и обеспечивающей различные значения вероятности различения  $P_p$ .

Ориентированный граф состояний процесса поиска ИЦ среди ЛЦ в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 2. Граф состояний полностью отражает динамику исходов при просмотре сектора поиска ОЭС.

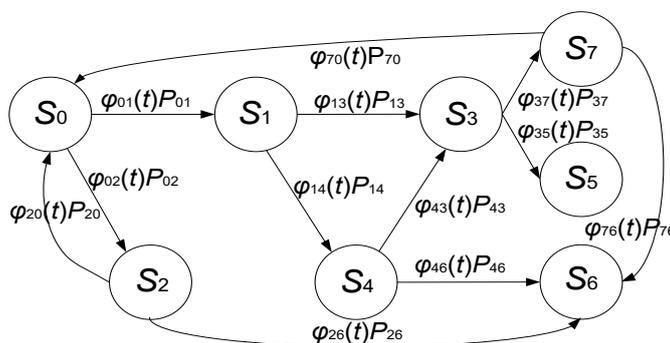


Рис. 2. Ориентированный граф состояний поиска и распознавания ИЦ среди детальных ложных

В таблице 2 показаны исходные состояния и вероятностные характеристики процесса, протекающего согласно динамике поиска и распознавания ИЦ (см. рис. 2).

Таблица 2 – Физические состояния процесса обнаружения и распознавания ИЦ среди детальных ложных

№п/п	Исходные состояния процесса	Описание процесса
Состояния процесса (вершины графа)		
1.	$S_0$	Начало цикла обнаружения и распознавания
2.	$S_1$	Цель обнаружена раньше, чем завершился цикл обнаружения
3.	$S_2$	Цикл обнаружения завершен раньше, чем цель обнаружена
4.	$S_3$	Цель обнаружена и правильно распознана раньше, чем завершился цикл обнаружения и распознавания
5.	$S_4$	Цикл обнаружения и распознавания завершен раньше, чем цель распознана
6.	$S_5$	ИЦ обнаружена и правильно распознана раньше, чем завершилось время выполнения задачи
7.	$S_6$	Время выполнения задач завершилось раньше, чем обнаружена распознана ИЦ
8.	$S_7$	ЛЦ обнаружена и правильно распознана до завершения времени выполнения задачи
Характеристики системы (вероятность $P_{ij}$ и плотность вероятности времени перехода $\varphi_{ij}(t)$ )		
1.	$P_{01}, \varphi_{01}(t)$	При завершении процесса обнаружения цели до окончания цикла обнаружения
2.	$P_{13}, \varphi_{13}(t)$	При завершении процесса обнаружения и правильного распознавания цели
3.	$P_{14}, \varphi_{14}(t)$	При завершении процесса обнаружения цели до окончания цикла обнаружения и распознавания
4.	$P_{02}, \varphi_{02}(t)$	При завершении цикла обнаружения до обнаружения цели
5.	$P_{20}, \varphi_{20}(t)$	При возобновлении цикла обнаружения после не обнаружения цели
6.	$P_{26}, \varphi_{26}(t)$	При завершении процесса обнаружения и распознавания до окончания времени выполнения задачи
7.	$P_{43}, \varphi_{43}(t)$	При завершении процесса обнаружения и правильного распознавания цели за время цикла обнаружения и распознавания
8.	$P_{46}, \varphi_{46}(t)$	При завершении времени выполнения задач до обнаружения и распознавания ИЦ
9.	$P_{35}, \varphi_{35}(t)$	<b>При завершении процесса обнаружения и правильного распознавания ИЦ до завершения времени выполнения задачи обнаружения и распознавания цели</b>
10.	$P_{37}, \varphi_{37}(t)$	При завершении процесса обнаружения и правильного распознавания ЛЦ до завершения времени выполнения задачи обнаружения и распознавания цели
11.	$P_{70}, \varphi_{70}(t)$	При возобновлении цикла обнаружения после распознавания ЛЦ
12.	$P_{76}, \varphi_{76}(t)$	При завершении времени выполнения задач до обнаружения и распознавания ЛЦ

В данной постановке процесс поиска ИЦ среди ложных, по аналогии с динамикой переходов, показанной на рис. 2, может быть представлен полумарковским разрывным случайным процессом, область значения которого дискретна, а временная область определения – непрерывное множество. В таком случае динамическую модель циклического процесса поиска и распознавания ИЦ среди детальных ложных можно представить в форме передаточных функций (ПФ) в виде, показанном на рис. 3, где  $H_{ji}(S) = \int_0^t \varphi_{ij}(t) e^{-st} dt = L_s(\varphi_{ij}(t))$  – ПФ, представляющие собой преобразование Лапласа от ПВ времени перехода из состояния  $i$  в  $j$ .

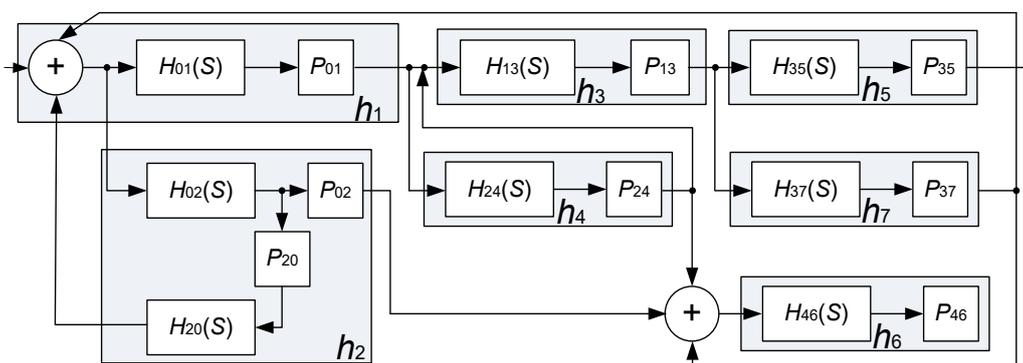


Рис. 3. Модель циклического процесса поиска и распознавания одной ИЦ среди детальных ложных в форме ПФ

Процесс, представленный на рис. 3, можно представить в форме обобщенных ПФ, характеризующих следующие состояния:

$h_1(S)$  – обнаружения цели;

$h_2(S)$  – не обнаружения (применения способов и ССЗ на основе ТЭМ) цели за выделенное время поиска и последующего возобновления нового цикла;

$h_3(S)$  – обнаружения и правильного распознавания цели на заданном временном интервале;

$h_4(S)$  – не обнаружения цели (применения ЛТЦ на основе ТЭМ) за время цикла обнаружения и распознавания;

$h_5(S)$  – обнаружения и правильного распознавания ИЦ;

$h_6(S)$  – окончания времени выполнения задач до обнаружения и распознавания истинной цели;

$h_7(S)$  – обнаружения и правильного распознавания ЛЦ за время, выделенное на выполнение задачи и возобновления нового цикла обнаружения и распознавания ИЦ.

### Пример применения модели при оценке эффективности термоуправляемых средств скрытия и тепловой имитации

При определении финальных вероятностных состояний и верификации модели будем полагать, что в процессе поиска и распознавания рассматривается одна ИЦ среди множества детальных ложных. Обнаружение ИЦ и ЛЦ считается равновероятным исходом. После контакта разведдатчика с объектом процесс поиска не останавливается. При не распознавании ИЦ за время, отведенное на выполнение задач, процесс поиска возобновляется. Исходя из анализа авторитетных источников [2, 3] и приведенным в них оценками примем переходные вероятности процесса равными  $P_{01} = 0,7$ ;  $P_{02} = 0,03$ ;  $P_{13,26,35,37,76} = 0,4$ ;  $P_{14} = 0,2$ ;  $P_{43,46} = 0,5$ . Зададимся временем перехода между состояниями (с)  $t_{01,02,13,35,46,76} = 0,1$ ;  $t_{14,26,37} = 0,0001$ ;  $t_{43} = 0,5$ ;  $t_{76} = 0,001$ . Интенсивности переходов из состояния  $i$  в  $j$  соответственно будут равны:

$$\begin{aligned} \lambda_{01} &= \frac{1}{t_{01}}; \lambda_{02} = \frac{1}{t_{02}}; \lambda_{13} = \frac{1}{t_{13}}; \lambda_{14} = \frac{1}{t_{14}}; \lambda_{26} = \frac{1}{t_{26}}; \lambda_{35} = \frac{1}{t_{35}}; \\ \lambda_{37} &= \frac{1}{t_{37}}; \lambda_{43} = \frac{1}{t_{43}}; \lambda_{46} = \frac{1}{t_{46}}; \lambda_{70} = \frac{1}{t_{70}}; \lambda_{76} = \frac{1}{t_{76}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для показанного случая, согласно введенных условий, общая ПФ для процесса (см. рис 2) запишется в виде

$$H_5(S) = \frac{ab}{(1 - P_{02}H_{02}(S))}, \quad (2)$$

где:

$$\begin{aligned} a &= P_{01}P_{02}P_{13}P_{14}P_{26}P_{35}P_{37}P_{43}P_{46}P_{70}P_{76}; \\ b &= H_{01}(S)H_{02}(S)H_{13}(S)H_{26}(S)H_{35}(S)H_{37}(S)H_{43}(S)H_{46}(S)H_{70}(S)H_{76}(S). \end{aligned}$$

Воспользовавшись обратным преобразованием Лапласа, выражение (2) для определения вероятности обнаружения и распознавания ИЦ к моменту времени  $t$  можно записать в виде:

$$P_5(t) = L_S^{-1} \left( \frac{ab}{S(1 - P_{02}H_{02}(S))} \right) \quad (3)$$

Из-за громоздкости выражений расчета финальных вероятностей конечная формула не приводятся.

Общее время обнаружения и распознавания ИЦ может быть определено как начальный момент 1-го порядка путем дифференцирования ПФ по  $S$  и приравнивания к нулю.

$$\bar{T}_5 = - \left. \frac{dH_5(S)}{dS} \right|_{S=0}. \quad (4)$$

$$T(\lambda_{35}) = - \frac{1}{P_{02} + 1} \left( \frac{0,3}{\lambda_{02}(P_{02} + 1)} - \sum \frac{1}{\lambda_{ij}} \right), \quad (5)$$

где  $i, j$  принимают значения согласно (1).

Соответственно, дисперсия общего среднего времени обнаружения и распознавания ИЦ будет определяться выражением:

$$\sigma_s^2 = \left( \frac{d^2 H_s(S)}{ds^2} - \left( \frac{dH_s(S)}{dS} \right)^2 \right) \Bigg|_{s=0} . \quad (6)$$

В предположении экспоненциального закона распределения времени переходов из одного состояния в другое рассчитаны вероятности распознавания ИЦ для случаев: ( $H_1$ ) – применения для скрытия объекта ТУП, ( $H_2$ ) – применения ЛТЦ с ТЭМ, ( $H_{общ}$ ) – совместное использование ТУП и ЛТЦ (см. рис. 4). При условии того, что ИЦ наблюдается среди одинаковых ЛЦ, а интенсивности перехода имеют смысл обратной величины среднего времени обслуживания цели.

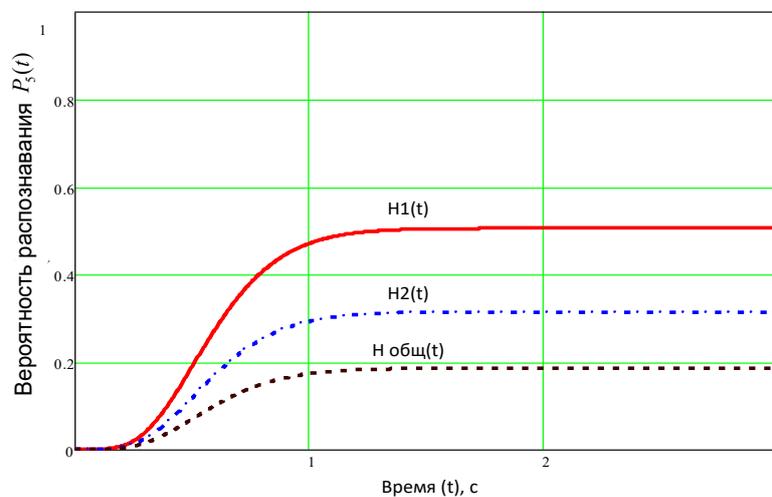


Рис. 4. Зависимости вероятности распознавания ОЭС БПЛА ИЦ среди детальных ЛЦ от времени при использовании: а) ССЗ с ТЭМ; б) детальных ЛТЦ на основе ТЭМ; в) совместного применения ССЗ и ЛТЦ

Рассчитанное в соответствии с (5) общее время поиска и распознавания ИЦ показано на рис. 5.

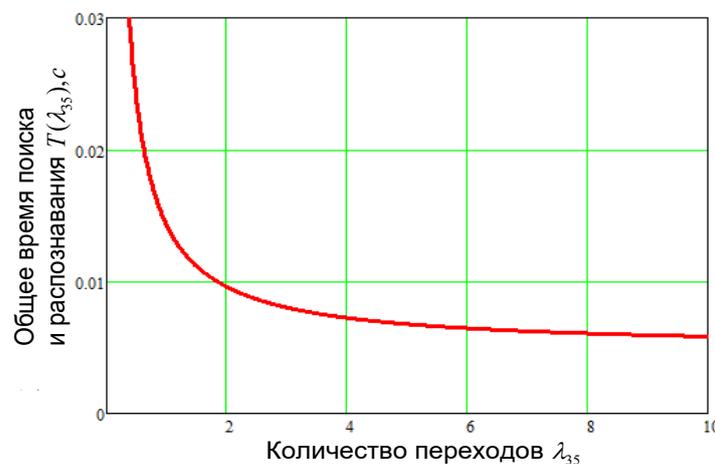


Рис. 5. Общее время поиска и распознавания ИЦ

На рис. 6 приведены графики зависимости вероятности распознавания ИЦ  $P_5(t)$  от количества  $N$  ложных целей различной детальности при различных значениях параметра  $A$ , который характеризует информационные возможности разведывательного ОЭС (в нашем случае ИК диапазона). При расчетах  $P_5(t)$  в качестве истинной цели рассматривался типовой образец наземной военной техники с контрастной радиационной температурой  $5...40$  °С и размером  $7 \times 3 \times 2,5$  м.

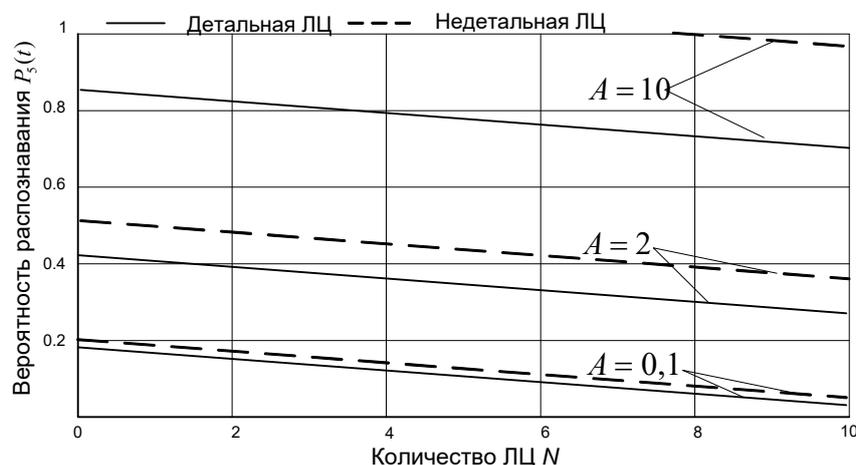


Рис. 6. Эффективность ложных целей различной детализации

### Выводы

Анализ полученных зависимостей (см. рис. 4) позволяет сделать следующие выводы:

- 1) использование ТУП в качестве ССЗ и ЛТЦ на основе ТЭМ для скрывания истинных объектов снижают вероятность распознавания ИЦ до 0,5 и 0,32, соответственно;
- 2) совместное использование ТУП и ЛТЦ наиболее эффективно, в результате чего вероятность распознавания ИЦ снижается до значений близких к 0,18.

Время, затрачиваемое на обнаружение и распознавание цели ОЭС  $T(\lambda_{35})$  при заданных начальных условиях (см. рис. 5) связано с изменением интенсивности  $\lambda$  и минимально на начальном этапе процесса до значений  $\lambda \approx 3$ , далее наблюдается незначительное его снижение.

На основе результатов анализа зависимостей (см. рис. 6) можно сделать выводы о том, что:

- 1) для достижения одних и тех же показателей эффективности число не детальных ЛЦ должно быть на порядок больше, чем детальных;
- 2) эффект от воздействия не детальных ЛЦ выражен только в том случае, когда значение параметра  $A$  не значительны, т. е. при низкой разрешающей способности ОЭС;
- 3) при использовании не детальных ЛЦ, в качестве средств противодействия разведывательным ОЭС, повышение вероятности принятия ЛЦ за истинную можно достичь только за счет увеличения числа ЛЦ данного типа среди истинных объектов.

Таким образом, разработанная модель позволяет с высокой достоверностью оценить эффективность применения термоуправляемых средств скрытия и тепловой на основе ТЭМ в интересах снижения информационных возможностей разведывательных ОЭС ИК диапазона, выраженной в уменьшении вероятности обнаружения и распознавания наземной военной техники. Исходя из этого, комплексным воздействием на разведывательную ИК аппаратуру БПЛА по средствам применения ЛТЦ на основе ТЭМ, а также ССЗ выполненных в виде ТУП, можно добиться значительного снижения вероятности распознавания ИЦ среди ложных до значений равных 0,18.

### Литература

1. Понькин В. А., Петещенков Э. В., Афанасьева Е. М., Бостынец И. П., Ельцов О. Н., Лаптев И. В., Семенякин А. Ю. Оптическая заметность летательных аппаратов. Монография / под ред. В. А. Понькина. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2015. – 553 с.
2. Козирацкий Ю. Л., Донцов А. А., Иванцов А. В., Козирацкий А. Ю., Кусакин О. В., Кушев С. С., Паринов М. Л., Прохоров Д. В., Лысиков В. Ф., Мазилев С. Л. Модели пространственного и частотного поиска. Монография / под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2014. – 344 с.
3. Будников С. А., Гревцев А. И., Иванцов А. В., Кильдюшевский В. М., Козирацкий А. Ю., Козирацкий Ю. Л., Кушев 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.: Радиотехника, 2013. – 232 с.
4. Юхно П. М. Преднамеренные оптические помехи высокоточному оружию. Монография. – М.: Радиотехника, 2017. – 640 с.
5. Козирацкий Ю. Л., Санин В. Н., Афанасьева Е. М., Иванцов А. В., Шамшин Н. Н. Способ имитации теплового контраста объекта // Патент на изобретение RU 2582560 C1, опубл. 04.04.2016, бюл. № 12.
6. Санин В. Н., Афанасьева Е. М., Шамшин Н. Н., Хакимов Т. М. Устройство имитации теплового контраста объекта // Патент на изобретение RU 2666296 C1, опубл. 06.09.2018, бюл. № 25.
7. Санин В. Н., Афанасьева Е. М., Шамшин Н. Н., Хакимов Т. М. Тепловой имитатор // Патент на изобретение RU 2682355 C1, опубл. 19.03.2019, бюл. № 8.

### References

1. Pon'kin V. A., Peteshenkov E. V., Afanas'eva E. M., Bostynetc I. P., El'tcov O. N., Laptev I. V., Semenyakin A. J. *Opticheskaya zametnost letatelnykh apparatov. Monografiya* [Optical visibility of aircraft]. Voronezh, Publishing and Printing Center «Nauchnaya kniga», 2015. 553 p. (in Russian).
2. Koziratsky J. L., Doncov A. A., Ivancov A. V., Koziratsky A. J., Kusakin O. V., Kushev S. S., Parinov M. L., Prohorov D. V., Lysikov V. F., Mazilov S. L. *Modeli prostranstvennogo i chastotnogo poiska. Monografiya*. [Models of spatial and frequency search]. Monography. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2014. 344 p. (in Russian).

3. Budnikov S. A., Grevcev A. I., Ivancov A. V., Kil'dyushevskij V. M., Koziratsky A. J., Koziratsky J. L., Kushev 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).

4. Jukhno P. M. *Prednomerennye opticheskiye pomehi vysykotochnomu oruzhiju* [Deliberate optical noises with precision weapons]. Monography. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2017. 639 p. (in Russian).

5. Koziratsky J. L., Sanin V. N., Afanas'eva E. M., Ivancov A. V., Shamshin N. N. *Sposob imitacii teplovogo kontrasta ob'ekta* [Way to the contrast of an object]. Patent Russia, no. RU C1 2582560 Publish. 04.04.2016, bul. no. 12 (in Russian).

6. Sanin V. N., Afanas'eva E. M., Shamshin N. N., Hakimov T. M. *Ustroystvo imitacii teplovogo kontrasta ob'ekta* [Object thermal imitation device]. Patent Russia, no. RU C1 266296 Publish. 06.09.2018, bul. no. 25 (in Russian).

7. Sanin V. N., Afanas'eva E. M., Shamshin N. N., Hakimov T. M. *Teplovoy imitator* [thermal imitation]. Patent Russia, no. RU C1 2682355 Publish. 19.03.2019, bul. no. 8 (in Russian).

Статья поступила 29 апреля 2019 г.

### Информация об авторах

*Панов Сергей Анатольевич* – кандидат технических наук. Доцент кафедры радиоэлектронной борьбы. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: радиоэлектронная борьба; моделирование условий ведения радиоэлектронной борьбы в военных операциях; информационное обеспечение радиоэлектронного поражения. E-mail: Panov.sergey1954@mail.ru

*Курьянов Игорь Юрьевич* – кандидат технических наук. Преподаватель кафедры радиоэлектронной борьбы (и технического обеспечения частей РЭБ). Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: конфликтология в радиоэлектронной борьбе; развитие перспективных военных технологий информационного обеспечения радиоэлектронного поражения и радиоэлектронной защиты. E-mail: igkul@yandex.ru

*Шамшин Николай Николаевич* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры боевого применения средств радиоэлектронной борьбы (с наземными системами управления). Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: радиоэлектронная борьба; маскировка; снижение заметности и имитация бронированных объектов в инфракрасном диапазоне; исследования современных способов противодействия техническим средствам разведки беспилотных летательных аппаратов. E-mail: shamshin2012@yandex.ru

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, Старых Большевиков ул., д. 54 а.

## Model for finding the true target among the detailed false target when using thermally controlled means of hiding and thermal imitation of ground military vehicles

S. A. Panov, I. J. Kuryanov, N. N. Shamshin

**Purpose.** Nowadays probabilistic target's search models, which take into account various details false targets influence on the probability of the ground-based military equipment detection and recognition are known and widely used to evaluate the capabilities of reconnaissance optical-electronic aircraft's means and multi-purpose UAVs. Models which allow to estimate correct detection and false alarms probability at a certain point in time are the most developed today. During the assessing input parameters process, these models do not take into account the thermo-controlled influence of concealment means and thermal imitation of ground-based military equipment, which are used as separate or complex means of interfering influence. It is the main limitation of such models. Therefore, the accuracy of the hide objects detection and recognition simulation results, substantially reduces. **The aim of the work** is to increase the reliability of the assessment of the reducing thermal visibility promising means impact on the detecting probability and recognition probability of ground-based military equipment. **Novelty.** The elements of novelty are the obtained analytical expressions and dependences, which allow to evaluate the efficiency effect of the promising thermo-controlled means of reducing the thermal visibility of ground-based military equipment influence on reconnaissance infrared optical-electronic aerial-based means. **Result:** Based on a formalized demonstration conflict functioning of the opposing sides, in the form of discrete semi-Markov processes with continuous time, analytical expressions and dependences were obtained. They allow to estimate the probability and time of recognition of the true target when using thermo-controlled means of hiding and false targets of various details. **Result of the simulation.** It was found that when the protected side used a thermo-controlled coating, the probability of recognizing an object was 0.5. The probability was 0.32, when detailed false targets were used. And the probability was 0.18 when a thermo-controlled coating and detailed false targets were used together. **Practical relevance.** Devices which are used to hide and thermally simulate the object thermal contrast are practically implemented on the basis of the developed model. The copyright of these devices are protected by patents of the Russian Federation. These technical solutions allow to create a thermal contrast on the surface of a false thermal target, similar to the thermal contrast of the simulated object (prototype) when imitating. And when hiding technical solutions allow to create a thermal contrast of the surrounding background, on the surface of the protected object, so the object becomes hidden for reconnaissance infrared optical-electronic devices.

**Key words:** random process, means of reduction visibility, false thermal target, recognition probability, optical-electronic mean, thermal-electronic module.

### Information about Authors

*Sergey Anatol'evich Panov* – Ph.D. of Engineering Science. Senior Researcher, Docent of the Department of radio-electronic warfare. Military education and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Field of research: radio-electronic warfare; modeling of the conditions of conducting electronic warfare in combat operation; information support for fire and radio-electronic destruction. E-mail: Panov.sergey1954@mail.ru

*Igor Juryevich Kuryanov* – Ph.D. of Engineering Sciences. Teacher of department of radio-electronic fight (and technical providing parts of REF). Military education and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Field of research: conflictology in radio-electronic

fight; development of perspective military technologies of information support of radio-electronic defeat and radio-electronic protection. E-mail: igkul@yandex.ru

*Nikolay Nikolaevich Shamshin* – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of combat use of ways of radio-electronic warfare (with ground control systems). Military education and research center of the air force «Air force Academy name professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin» (Voronezh). Field of research: radio-electronic fight; disguise; visibility reduction and imitation ways of armored vehicles with IR range; a study of promising ways of countering the technical means of reconnaissance UAV. E-mail: shamshin2012@yandex.ru

Address: Russia, 394052, Voronezh, Staryh Bol'shevikov str., 54A.