

Теоретичні основи розробки систем озброєння

УДК 355.40

О.Б. Анипко¹, Ю.М. Бусяк², И.Ю. Бирюков³, И.В. Цебряк³

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

²КП ХКБМ им. А.А. Морозова, Харьков

³Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков

МОДЕЛЬ РАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ ТАНКА

В статье приведена модель разведки целей для повышения технических характеристик системы управления огнем танка.

Ключевые слова: марковские модели, поток поражающих воздействий, математическое ожидание и дисперсия, поражение разведанных целей, подсистема.

Введение

Применение марковских моделей функционирования БТТ и танкового вооружения не вполне целесообразно, что объясняется отсутствием единой базы для определения вероятностей [1 – 4]. Кроме того, для объекта БТТ считать события и состояния независимыми, также не вполне корректно. Поэтому задача разработки модели, включающей конкретные конструктивные показатели, с применением вероятностных оценок или критериев для различных условий функционирования отдельных подсистем вообще и системы управления огнем (СУО) танка в частности представляется актуальной.

Одним из основных и наиболее длительных этапов решения боевой задачи является обнаружение противника [5 – 6]. Поэтому практически важно определение таких характеристик комплекса СУО, которые обеспечивают решение задачи обнаружения с вероятностью 0,8 и более, что означает фактически достоверное событие за определенный отрезок времени. При этом считаем, что обнаружение активных (движущихся или стреляющих) целей осуществляется с вероятностью 1,0, как только они попадают в поле зрения приборов наблюдения.

Основной раздел

Рассмотрим задачу разведки неподвижных целей на территории площадью S_0 при условии достаточности однократного обследования с использованием средств СУО и при наличии противодействия противника. Дальность обнаружения цели $D_{об}$ – детерминированная величина, определяемая ТТХ комплекса СУО. Поток поражающих воздействий противника на каждый танк, участвующий в операции, является пуассоновским с интенсивностью λ . Причем, цель, воздействовавшая на танк, участвующий в операции, будем считать разведанной.

Установим количество танков N_{Π} , необходимых для разведки района за заданное время T с вероятностью P_3 .

Площадь, обследуемая N_{Π} танками за время T – случайная величина в связи со случайным характером выбытия части машин в результате противодействия противника. Обозначим эту случайную величину через $\tilde{S}(N_{\Pi}, T)$. Тогда необходимое количество танков для решения задачи разведки составит:

$$P(\tilde{S}(N_{\Pi}, T) \geq S_0) = P_3. \quad (1)$$

Эта задача сводится к нахождению функции распределения $\tilde{S}(N_{\Pi}, T)$. А параметром, определяющим успешность решения задачи, считается обследованная площадь за время T . Тогда функция $\tilde{S}(N_{\Pi}, T)$ будет иметь вид:

$$\tilde{S}(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi}(S_1 \tau_1(T) + S_1 \tau_2(T) + \dots + S_1 \tau_i(T)), \quad (2)$$

где S_1 – площадь, обследуемая одним танком в единицу времени прибором с дальностью обнаружения $D_{об}$;

$\tau_i(T)$ – случайное время жизни танка на поле боя при условии, что время операции T .

Для определения площади, обследуемой одним танком за время T с учетом возможности выведения его из строя, введем случайную функцию $S_1(T) = S_1 \tau_1(T)$,

Учитывая, что все машины действуют независимо и ведут разведку самостоятельно, математическое ожидание и дисперсию $\tilde{S}(N_{\Pi}, T)$ определим как

$$E_S(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} S_1 E_{\tau_1}(T); \quad (3)$$

$$\sigma_S^2(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} S_1^2 \sigma_{\tau_1}^2(T), \quad (4)$$

где $E_{\tau_1}(T)$ и $\sigma_{\tau_1}^2(T)$ – математическое ожидание и дисперсия $\tau_1(T)$.

При $N_{\Pi} \geq 5 \dots 6$ распределение $\tilde{S}(N_{\Pi}, T)$ приближенно будем считать нормальным с параметрами E_S и σ_S^2 , что на практике соответствует танковой роте ($N_{\Pi} = 10$). Тогда исходная задача примет вид:

$$P_3 = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{S_0 - E_S(N_{\Pi}, T)}{\sqrt{2}\sigma_S(N_{\Pi}, T)} \right) \right], \quad (5)$$

где Φ – определяется как $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

Ограничим возможные значения заданной вероятности P_3 благоприятными исходами $P_3 \geq 0,5$, тогда (5) запишем в виде:

$$E_S(N_{\Pi}, T) - \gamma \sigma_S(N_{\Pi}, T) = S_0. \quad (6)$$

Для дискретно заданных вероятностей P_3 значения коэффициента γ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента γ

P_3	0,5	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98
γ	0	0,675	0,84	1,04	1,28	1,65	2,05

Найдем выражения, определяющие $E_{\tau_1}(T)$ и $\sigma_{\tau_1}^2(T)$, которые зависят от T и интенсивности потока поражающих воздействий λ . Поэтому $\lambda E_{\tau_1}(T)$ и $\lambda^2 \sigma_{\tau_1}^2(T)$ – безразмерные и зависят от параметра λT .

Если обозначить $\lambda E_{\tau_1}(T) = \varphi(\lambda T)$, а $\lambda^2 \sigma_{\tau_1}^2(T) = \psi(\lambda T)$, то (6) перепишем в виде:

$$N_{\Pi} \varphi(\lambda T) - \gamma \sqrt{N_{\Pi}} \sqrt{\psi(\lambda T)} = \frac{\lambda S_0}{S_1}. \quad (7)$$

В этом выражении γ определяется по значению заданной вероятности P_3 (табл. 1). Решением этого уровня является

$$N_{\Pi} = \frac{\lambda^2}{4} \cdot \frac{\psi(\lambda T)}{\varphi^2(\lambda T)} \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\gamma^2} \cdot \frac{\lambda S_0}{S_1} \cdot \frac{\varphi(\lambda T)}{\psi(\lambda T)}} \right]^2. \quad (8)$$

Полученное таким образом значение N_{Π} должно быть округлено до целого, однако для нахождения этого числа нужно определить функции $\varphi(\lambda T)$ и $\psi(\lambda T)$.

При пуассоновском потоке поражающих воздействий функция распределения $F_{\tau_1}(t/T)$ величины $\tau_1(T)$ определится как

$$F_{\tau_1}(t/T) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & 0 \leq t \leq T \\ 1 & ; t \geq T \end{cases}. \quad (9)$$

Поскольку по определению

$$E_{\tau_1}(T) = \int_0^{\infty} t dF_{\tau_1}(t/T);$$

$$\sigma_{\tau_1}^2(T) = \int_0^{\infty} t^2 dF_{\tau_1}(t/T) - [E_{\tau_1}(T)]^2,$$

окончательно имеем математическое ожидание и дисперсию соответственно

$$E_{\tau_1}(T) = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda T});$$

$$\sigma_{\tau_1}^2(T) = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-2\lambda T}) - 2 \frac{T}{\lambda} e^{-\lambda T}.$$

Тогда искомые функции определяются как

$$\varphi(\lambda, T) = 1 - e^{-\lambda T}; \quad (10)$$

$$\psi(\lambda, T) = 1 - e^{-2\lambda T} - 2\lambda T e^{-\lambda T}. \quad (11)$$

Проведем дальнейший анализ для случаев $\lambda \rightarrow 0$, что соответствует частному случаю задачи разведки без противодействия противника, и для $T \rightarrow \infty$ при заданном λ , когда заданное время превышает среднее время жизни танка $\left(\frac{1}{\lambda}\right)$ при неограниченном времени разведки.

Из выражений математического ожидания и дисперсии

$$E_S(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} \frac{S_1}{\lambda} \varphi(\lambda T); \quad (12)$$

$$\sigma_S(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} \left(\frac{S_1}{\lambda} \right)^2 \cdot \psi(\lambda T), \quad (13)$$

решение уравнения (11) при $\lambda \rightarrow 0$ дает очевидный результат:

$$\lim E_S(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} S_1 T; \quad (14)$$

$$\lim \sigma_S^2(N_{\Pi}, T) = 0. \quad (15)$$

Тогда количество машин, необходимых для выполнения задачи

$$N_{\Pi} = \frac{S_0}{S_1 \cdot T}. \quad (16)$$

Рассмотрим определение величины S_1 (рис. 1).

Во время ведения разведки оптическим прибором площадь, попадающая в поле зрения в плане, определяется углом поля зрения – $\alpha_{пз}$, дальностью – $D_{об}$ и шириной полосы – a , которая связана с $\alpha_{пз}$ и $D_{об}$ соотношением

$$a = 2 \cdot D_{об} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{пз}}{2}. \quad (17)$$

Таким образом, площадь, попадающая в поле зрения прибора в единицу времени

$$S_1 = D_{об}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_{пз}}{2}. \quad (18)$$

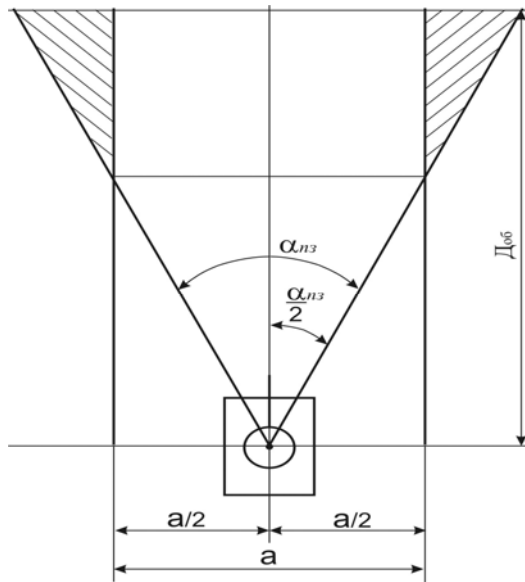


Рис. 1. К определению S_1

С учетом этого перепишем полученное решение (5) в виде:

$$N_{\Pi} = \frac{S_0}{D_{об}^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha_{пз}}{2} \cdot T} = \frac{S_0}{D_{об}^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha_{пз}}{2} \cdot T} \quad (19)$$

Выражение (19) содержит уже две характеристики прибора $D_{об}$ и $\alpha_{пз}$. Очевидно, что если использовать N_{Π} в качестве критерия, то дальность $D_{об}$ является наиболее определяющей характеристикой прибора.

Из выражения видно, что число машин для выполнения задачи обратно пропорционально $D_{об}$ – дальности обнаружения. Таким образом, чем больше $D_{об}$, тем меньше количество машин необходимо для выполнения задачи.

$$S_1 = d^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha_{пз}}{2} \cdot T,$$

тогда

$$N_{\Pi} = \frac{S_0}{S_1 \cdot T} = \frac{S_0}{D_{об}^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha_{пз}}{2} \cdot T} = \frac{S_0}{D_{об}^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha_{пз}}{2} \cdot T}.$$

Однако производительность комплекса вооружения ограничена скорострельностью, а $D_{об}$ не может быть бесконечно большим, поэтому поражение разведанных целей будет определяться соотношением между интенсивностью потока целей ($\lambda_{ц}$) и интенсивностью стрельбы ($\lambda_{в}$), при этом условие поражения всех целей

$$\left(\frac{1}{\lambda_{ц}} \right) \geq \left(\frac{1}{\lambda_{в}} \right). \quad (20)$$

Это выражение не учитывает время обнаружения цели, однако, считая среднее время обнаруже-

ния $\left(\frac{1}{\lambda_{р}} \right) \rightarrow 0$ получим, что в этом случае для вы-

полнения равенства (20) необходимо $\lambda_{ц} = \lambda_{в}$. По известным оценкам [1 – 3] плотность потока целеуказания – 6 мин⁻¹, тогда и интенсивность стрельбы без учета времени разведки должна быть не менее 6 выстрелов в минуту. Автоматы заряжания, устанавливаемые на отечественных танках, обеспечивают скорострельность по механизмам 6...8 выстрелов в минуту, что полностью обеспечивает обслуживание всех обнаруженных целей.

Очевидно, что полученное решение не зависит от P_3 в явном виде, поскольку при отсутствии противодействия задача всегда решается.

Однако, получая решение, задавались некоторым значением вероятности выполнения задачи для определения γ . Поскольку время обнаружения связано со скоростью движения машины и дальностью, то в соответствии с этой зависимостью и будет определяться ($1/\lambda_{обн}$) при фиксированной вероятности, которая задается для определения γ .

Для случая $T \rightarrow \infty$ из выражений математического ожидания и дисперсии имеем:

$$E_S(N_{\Pi}, \infty) = \lim_{T \rightarrow \infty} E_S(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} \frac{S_1}{\lambda_{об}} ;$$

$$\sigma_S^2(N_{\Pi}, \infty) = \lim_{T \rightarrow \infty} \sigma_S^2(N_{\Pi}, T) = N_{\Pi} \left(\frac{S_1}{\lambda_{об}} \right)^2 ,$$

тогда N_{Π} определяется как

$$N_{\Pi}(\infty) = \left(\frac{\gamma}{2} + \sqrt{\frac{\gamma^2}{4} + \frac{\lambda S_0}{S_1}} \right)^2, \quad (21)$$

поскольку при $\varphi(\infty) = \psi(\infty) = 1$ $N_{\Pi} \geq 5 \div 6$.

Очевидно, что $N_{\Pi}(\infty)$ зависит только от двух безразмерных параметров $\left(\frac{\lambda S_0}{S_1} \right)$ и γ , которое зависит от P_3 . Так для $P_3 = 0,98$ $\gamma \approx 2$, тогда

$$N_{\Pi}(\infty) = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda S_0}{S_1}} \right)^2, \quad (22)$$

При конечном значении T и $P_3 = 0,5$; $\gamma = 0$, тогда

$$N_{\Pi} = \frac{\lambda S_0}{S_1} \cdot \frac{1}{1 - e^{-\lambda T}}, \quad (23)$$

На рис. 2 представлены зависимости $N_{\Pi}(T \rightarrow \infty) = f\left(\frac{\lambda S_0}{S_1}\right)$ для различных значений P_3 .

Как видно в этом случае значение N_{Π} также обратно пропорционально $D_{об}$. Поэтому представ-

ляет интерес определение возможного диапазона значений $D_{об}$, реализующих обнаружение с практически достоверной вероятностью $P > 0,8$.

Оптические приборы имеют ограничения по дальности, даже в случае применения панкратических приборов. Кроме этого среднее время разведки зависит от характеристик оператора, которые ограничены его физическими возможностями. Поэтому можно прогнозировать, что в перспективе необходимо применение дополнительных средств разведки обеспечивающих условие $(1/\lambda_p) \rightarrow 0$.

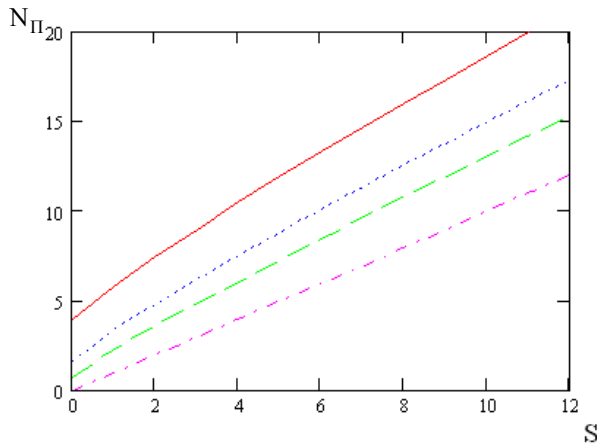


Рис. 2. Зависимость числа танков, необходимых для решения задачи разведки от вероятности выполнения задачи 0,98 (—); 0,9 (---); 0,8 (- · -); 0,5 (- · -) и параметра S

Выводы

В качестве одного из решений такой задачи может быть рекомендована дополнительная подсистема оптико-акустической разведки наземных целей. Такая система [7] основана на обнаружении возмущений акустических полей работающего двигателя неподвижной машины и ее контрастирования

на фоне различной местности. Следует подчеркнуть, что такая подсистема не является альтернативной устанавливаемым оптическим и ИК приборам, но дает дополнительную информацию для обнаружения неподвижных целей.

Список литературы

1. Анипко О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники: моногр. / О.Б. Анипко, М.Д. Борисюк, Ю.М. Бусяк. – Х.: НТУ "ХПИ", 2008. – 196 с.
2. Раскин Л.Г. Оценка параметров марковских моделей функционирования сложных систем / Л.Г. Раскин. – М.: Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", 1980. – С. 143-145.
3. Раскин Л.Г. Математическое моделирование функционирования сложных систем / Л.Г. Раскин. – Х.: ВИРТА, 1988. – 178 с.
4. Костенко Ю.Т. Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю.Т. Костенко, Л.Г. Раскин. – Х.: Основа., 1996. – 303 с.
5. Анипко О.Б. Звуковые портреты объектов бронетехники для обнаружения и распознавания целей / О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков, Ю.М. Бусяк // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Х., 2011. – Вып. № 3. – С. 31-36.
6. Анипко О.Б. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники / О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков, Ю.М. Бусяк // Сборник научных трудов АВВ МВС Украины. – Х., 2011. – Вып. № 2(18). – С. 24-31.
7. Анипко О.Б. Физические принципы разработки и создания комплексной оптико-акустической подсистемы обнаружения наземных целей объектами бронетехники / О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Х., 2012. – Вып. № 3. – С. 48-54.

Поступила в редколлегию 27.04.2012

Рецензент: канд. техн. наук, доц. И.Б. Ковтонюк, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МОДЕЛЬ РОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ ТАНКА

О.Б. Аніпко, Ю.М. Бусяк, І.Ю. Бірюков, І.В. Цебрюк

Запропонована модель розвідки противника для підвищення технічних характеристик системи управління вогнем танка.

Ключові слова: марковські моделі, потік вражаючих дій, математичне очікування і дисперсія, враження розвіданих цілей, підсистема.

MODEL OF ENEMY INTELLIGENCE FOR ENHANCING OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF TANK FIRE CONTROL

O.B. Anipko, U.M. Bysak, I.Yu. Birukov, I.V. Tsebryuk

The article presents a model of exploration targets for improving the technical characteristics of the tank fire control system.

Keywords: markov models, the flow of damaging effects, expectation and variance, defeat the purposes of proven, subsystem.