

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТА

**С.В. Скрыль, А.В. Душкин, В.В. Гайфулин**

В работе дается обоснование способа оценки эффективности работы системы физической защиты объекта на основе одного из ее показателей – вероятности защиты объекта от несанкционированных действий нарушителей

**Ключевые слова:** система физической защиты, нарушитель, эффективность

В настоящее время актуально стоит вопрос оценки эффективности работы системы физической защиты (СФЗ) объектов. Под СФЗ будем понимать совокупность правовых норм, организационных мер и инженерно-технических решений, направленных на защиту жизненно-важных интересов и ресурсов охраняемого объекта от угроз, источниками которых являются злоумышленные (несанкционированные) физические воздействия физических лиц – нарушителей (террористов, преступников, экстремистов и др.).

На сегодняшний день используются различные показатели эффективности СФЗ, одним из которых является вероятность защиты объекта  $P_{зо}$  – комплексный показатель того, что силы группы оперативного реагирования (GOR) пресекут несанкционированные действия нарушителей на объекте до момента окончания несанкционированной акции.

Показатель  $P_{зо}$  является функцией нескольких переменных и может быть определен как произведение вероятностей выполнения своей задачи каждой из составляющих СФЗ согласно следующему упрощенному выражению:

$$P_{зо} = P_{обн} \cdot P_{прд} \cdot P_{бртс} \cdot P_{сргор} \cdot P_{бн}, \quad (1)$$

где  $P_{обн}$  – вероятность своевременного обнаружения вторжения нарушителей системой охранной сигнализации;

$P_{прд}$  – вероятность достоверной передачи сигнала тревоги силам ГОР;

---

Скрыль Сергей Васильевич – МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р. техн. наук, профессор, e-mail: zi@bmstu.ru

Душкин Александр Викторович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: a\_dushkin@mail.ru

Гайфулин Виктор Валерьевич – начальник научно-исследовательского центра ФСИН России, канд. техн. наук тел. (495) 459-09-64

$P_{бртс}$  – вероятность безотказной работы технических средств;

$P_{сргор}$  – вероятность своевременного развертывания ГОР в точке перехвата после получения сигнала тревоги;

$P_{бн}$  – вероятность благоприятного исхода при столкновении ГОР с нарушителями.

Как следует из выражения (1), количественная оценка эффективности СФЗ представляет собой довольно сложную задачу и требует комплексного подхода.

Если допустить, что силы ГОР при столкновении с нарушителем всегда побеждают (а это можно достичь организационными мерами, зная угрозы и модель нарушителей), т.е. принять  $P_{бн} = 1$ , задачу можно несколько упростить. В результате получаем другой показатель эффективности – вероятность перехвата нарушителей силами ГОР  $P_{неп}$ :

$$P_{неп} = P_{обн} \cdot P_{прд} \cdot P_{бртс} \cdot P_{сргор}. \quad (2)$$

Такая оценка основана на сравнении времени действий нарушителя и сил ГОР с учетом характеристик составных частей комплекса инженерно-технических средств охраны (ИТСО).

По мнению авторов, показатель  $P_{неп}$  является достаточно объективной количественной оценкой эффективности СФЗ, поскольку позволяет решить задачу выбора оптимальной структуры СФЗ и ее основной составной части – комплекса ИТСО.

Учитывая, что современный уровень надежности технических средств комплекса ИТСО и достоверности передачи информации системой оперативной связи достаточно высок, значение составляющих  $P_{прд}$  и  $P_{бртс}$  на ранней стадии проектирования СФЗ с достаточной для практики точностью можно

принять равными 1. Тогда выражение (2) значительно упрощается и принимает вид:

$$P_{nep} \approx P_{obn} \cdot P_{crgor}. \quad (3)$$

Несмотря на кажущуюся простоту выражения (3), определить численное значение показателя  $P_{nep}$  непросто. Сложность заключается в том, что обе его составляющие  $P_{obn}$  и  $P_{crgor}$  носят вероятностный характер и в свою очередь зависят от ряда факторов.

$P_{obn}$  зависит от характеристик и количества средств обнаружения несанкционированного проникновения и их размещения на территории объекта,  $P_{crgor}$  зависит от тактики сил ГОР, количества, мест установки и характеристик инженерных средств охраны (ИСО) на маршруте движения нарушителя.

Оценку вероятности своевременного развертывания сил ГОР в точке перехвата  $P_{crgor}$  осуществим на примере условного объекта. Допустим, что для достижения предмета защиты нарушитель должен преодолеть три рубежа пассивной защиты (ИСО<sub>1</sub>, ИСО<sub>2</sub>, ИСО<sub>3</sub>) и участок территории объекта, на которых произойдет задержка продвижения нарушителя во времени. Временная диаграмма последовательности действий нарушителей на объекте показана на рис. 1, а, где  $t_{h_0}$  – начало вторжения;  $t_{h_1}$  – момент преодоления ИСО<sub>1</sub>;  $t_{h_2}$  – момент прибытия к ИСО<sub>2</sub>;  $t_{h_3}$  – момент преодоления ИСО<sub>2</sub>;  $t_{h_4}$  – момент прибытия к ИСО<sub>3</sub>;  $t_{h_5}$  – момент преодоления ИСО<sub>3</sub>;  $t_{h_6}$  – момент исполнения акции.

Общее время задержки продвижения нарушителей на объекте

$$T_{zh_o} = \sum_{i=1}^k T_{zh_i}. \quad (4)$$

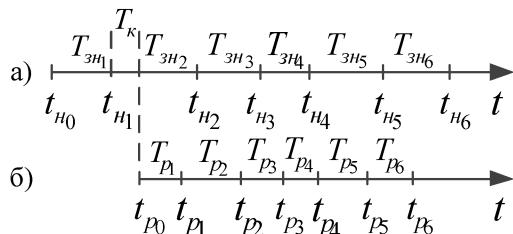


Рис. 1. Временные диаграммы движения нарушителей и ГОР на объекте

За первым ИСО установлено средство обнаружения СО<sub>1</sub>, которое регистрирует момент пересечения зоны обнаружения нарушителем. Если обнаружение произошло, на пульте охраны появляется сигнал тревоги. С этого момента начинается развертывание сил ГОР. Временная диаграмма последовательности развертывания сил ГОР представлена на рис. 1, б, где  $t_{p_0}$  – момент срабатывания СО;  $t_{p_1}$  – оценка сигнала тревоги;  $t_{p_2}$  – передача сигнала ГОР;  $t_{p_3}$  – сборы ГОР по тревоге;  $t_{p_4}$  – движение к точке перехвата;  $t_{p_5}$  – начало нейтрализации нарушителя. Общее время развертывания сил ГОР:

$$T_{po} = \sum_{i=1}^m T_{p_i}. \quad (5)$$

Для определения  $P_{cp}$  необходимо сравнить  $T_{po}$  и  $T_{zh_o}$ , но для сравнения необходимо брать не общее время нахождения нарушителей на объекте  $T_{zh_o}$ , а интервал от момента обнаружения (точка  $k$ ) до момента исполнения акции, т.е.

$$T_{zh_k} = \sum_{i=k}^n T_{zh_i} \text{ или } T_{zh_k} = \sum_{i=1}^n T_{zh_i} - \sum_{i=1}^{k-1} T_{zh_i}. \quad (6)$$

Очевидно, что для перехвата нарушителей должно выполняться условие

$$T_{zh_k} \geq T_{po} \text{ или } \Delta T = T_{zh_k} - T_{po} \geq 0, \quad (7)$$

где  $\Delta T$  – разница между временем задержки нарушителей на объекте и временем развертывания сил ГОР.

Соответственно вероятность своевременного развертывания сил ГОР в точке перехвата

$$P_{crgor} = P(T_{zh_k} > T_{po}) \text{ или } P_{crgor} = P(\Delta T > 0). \quad (8)$$

На временных диаграммах  $T_{zh_i}$  и  $T_{p_i}$  взяты как постоянные детерминированные величины. Однако в действительности все составляющие этих диаграмм величины случайные, так как при выполнении каждой операции и нарушителями, и охраной будут возникать факторы, произвольным образом ускоряющие или замедляющие процесс выполнения операции. Таким образом,  $T_{zh_i}$  и  $T_{p_i}$  необходимо выражать: математическим ожиданием (средним значением)  $T_{mzh_i}$  и

$T_{mp_i}$ , среднеквадратическим отклонением  $\sigma_{zh_i}$  и  $\sigma_{po}$  и законом распределения случайной величины. В соответствии с правилами проведения математических операций со случайными величинами

$$T_{mzh} = \sum_{i=k}^n T_{mzh_i} \text{ и } \sigma_{zh} = \sqrt{\sum_{i=k}^n \sigma_{zh_i}^2}; \quad (9)$$

$$T_{mro} = \sum_{i=1}^m T_{mp_i} \text{ и } \sigma_{po} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_{po_i}^2}, \quad (10)$$

где  $T_{mzh}$  – математическое ожидание времени нахождения нарушителей на объекте после их обнаружения;

$T_{mro}$  – математическое ожидание времени развертывания сил ГОР;

$\sigma_{zh}$  и  $\sigma_{po}$  – суммарные среднеквадратические отклонения соответственно  $T_{mzh}$  и  $T_{mro}$ .

Соотношение между  $T_{mzh}$  и  $T_{mro}$  может получиться любым. На рис. 2 специально изображен случай, когда  $T_{mzh} > T_{mro}$ , т.е. если оценивать ситуацию по средним значениям  $T_{mzh}$  и  $T_{mro}$ , то силы ГОР осуществляют перехват нарушителей. Но, как следует из рисунка (заштрихованный участок), могут возникать случаи, когда  $T_{mzh} < T_{mro}$ , т.е. перехват не состоится.

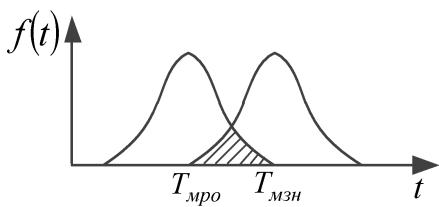


Рис. 2. Представление  $T_{mzh}$  и  $T_{mro}$  в форме случайных величин

Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение для  $\Delta T$  определяется как

$$\Delta T_m = T_{mzh} - T_{mro} \text{ и } \sigma_\Delta = \sqrt{\sigma_{zh}^2 + \sigma_{po}^2}. \quad (11)$$

Следует отметить, что в действительности  $\Delta T$  может занимать любое положение относительно начала координат, но для конкретной СФЗ это положение будет тоже конкретным. Исходя из (8),  $P_{cpror} = P(\Delta T > 0)$ . Следовательно, необходимо найти вероятность попадания  $\Delta T$  на этот участок.

Для этого произведем замены символов  $\Delta T$  на  $X$ ,  $\Delta T_m$  на  $m$ ,  $f(\Delta T)$  на  $f(X)$  и  $\sigma_\Delta$  на  $\sigma$ . Вероятность попадания случайной величины  $X$ , подчиненной нормальному закону с математическим ожиданием  $m$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ , на участках от  $\alpha$  до  $\beta$  производится следующим образом. Используется общая формула

$$P(\alpha < X < \beta) = F(\beta) - F(\alpha), \quad (12)$$

где  $F(X)$  – функция распределения величины  $X$ .

При нормальном законе распределения

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (13)$$

В интеграле производим замену переменной

$$\frac{x-m}{\sigma} = t, \quad (14)$$

где  $t$  – условный символ, а не время.

Тогда формула приводится к виду

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{x-m}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (15)$$

Интеграл не выражается через элементарные функции, но его можно вычислить через специальную функцию, выражающую

определенный интеграл от выражения  $e^{-\frac{t^2}{2}}$  (интеграл вероятностей), для которого составлены таблицы. Существует много разновидностей таких функций, но мы воспользуемся функцией вида

$$\Phi^*(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (16)$$

Она представляет собой функцию распределения для нормально распределенной случайной величины с параметрами  $m = 0$ ,  $\sigma = 1$  (нормальная функция распределения). Для этой функции составлены таблицы [1, 2]. Выразим  $F(X)$  с параметрами  $m$  и  $\sigma$  через нормальную функцию распределения  $\Phi^*(X)$ .

Очевидно

$$F(X) = \Phi^*\left(\frac{x-m}{\sigma}\right). \quad (17)$$

Вероятность попадания случайной величины  $X$  на участок от  $\alpha$  до  $\beta$

$$P(\alpha < X < \beta) = \Phi^*\left(\frac{\beta-m}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{\alpha-m}{\sigma}\right). \quad (18)$$

Как и всякая функция распределения, функция  $\Phi^*(X)$  обладает следующими свойствами:  $\Phi^*(-\infty) = 0$ ,  $\Phi^*(+\infty) = 1$ ,  $\Phi^*(X)$  – неубывающая функция,  $\Phi^*(-X) = 1 - \Phi^*(X)$ .

Теперь вернемся к условию  $P_{crgor} = P(\Delta T > 0)$ , то есть необходимо определить вероятность того, что случайная величина  $\Delta T$  попадет на весь участок правее нуля. Следовательно,  $\alpha = 0$ , а  $\beta \rightarrow \infty$ . Тогда

$$\Phi^*\left(\frac{\beta-m}{\sigma}\right) \rightarrow \Phi^*(+\infty) = 1$$

и  $P_{crgor} = 1 - \Phi^*\left(\frac{-\Delta T_{mzH\Sigma}}{\sigma_{zh\Sigma}}\right).$  (19)

Пользуясь формулой (19) и соответствующими таблицами [1, 2], можно определить численное значение  $P_{crgor}$ .

Теперь мысленно будем помещать начало координат в характерные точки, указанные в таблице 1.

Начало координат	$-3\sigma$	$-2\sigma$	$-\sigma$	0	$\sigma$
$\Delta T_{bzh\Sigma}$	$> 0$	$> 0$	$> 0$	0	$< 0$
$P_{crgor}$	0,997	0,98	0,84	0,5	0,16

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Воронежский государственный технический университет

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

Voronezh State Technical University

## THE ISSUE OF FACILITY PHYSICAL PROTECTION SYSTEM PERFORMANCE ASSESSMENT

S.V. Skryl, A.V. Dushkin, V.V. Gaifulin

The article explains facility physical protection system performance assessment on the basis of one of its indicators - the probability of facility protection from offenders unauthorized actions

Key words: physical protection system, offender, performance

Таблица позволяет ориентировочно определить ожидаемый уровень  $P_{crgor}$  уже на этапе нахождения  $\Delta T$  и  $\sigma_\Delta$ .

Значения  $2\sigma$  и  $3\sigma$  не указаны в таблице, т.к. значения  $P_{crgor}$  в этих случаях не удовлетворительны для любой СФЗ.

Учитывая, что  $\Phi^*(-X) = 1 - \Phi^*(X)$ , формула (19) преобразуется в

$$P_{crgor} = \Phi^*\left(\frac{\Delta T_{mzH\Sigma}}{\sigma_{zh\Sigma}}\right). \quad (20)$$

Расчет по этой формуле целесообразно вести только для положительных значений  $\Delta T_{mzH\Sigma}$ , учитывая, что значение  $P_{crgor} < 0,5$  не считается удовлетворительным для любой СФЗ.

Таким образом, в работе дано обоснование способа оценки эффективности работы системы физической защиты объекта на основе одного из ее показателей – вероятности защиты объекта от несанкционированных действий нарушителей.

### Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров /М.: Наука, 1988. 480с.

2. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие для студентов вузов./ В.Е. Гмурман / М.: Высшая школа, 2003. 405с.