

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ

*М. А. Урдина*

(Екатеринбург, УрФУ, chord2008@mail.ru)

Научный руководитель: аспирант кафедры РТС ИРИТ-РТФ УрФУ

*Р. Р. Давлетханов*

Уровень развития современных технологий обостряет противостояние между системой физической защиты (СФЗ) охраняемого объекта и злоумышленником, что приводит к усложнению СФЗ, увеличению числа альтернативных вариантов ее построения. Оценка эффективности СФЗ является весьма важным аспектом для оптимизации системы как при оборудовании новых объектов, так и при модификации существующих.

Известно несколько методов оценки эффективности СФЗ, которые имеют свои преимущества и недостатки. Экспертные методы, как правило, не учитывают второстепенные параметры СФЗ, качество формируемых ими оценок зависит от компетентности привлекаемых специалистов. Вероятностные и графологические методы характеризуются высокой трудоемкостью логико-вероятностных преобразований, им свойственна проблема достоверности вероятностей инициирующих событий.

При построении модели и проведении анализа эффективности сложных СФЗ вводят понятие критической точки обнаружения – некоторой пространственной границы на одном из вероятных маршрутов движения человека-нарушителя (ЧН), после пересечения которой он достигает цели своих преступных посягательств, вне зависимости от того, обнаружат его к этому времени или нет. Эффективность при этом рассчитывается как разность между временем  $T_n$ , требуемым ЧН для достижения цели, и временем  $T_{\text{СФЗ}}$  реакции СФЗ (рис. 1). На рис. 1 представлены:  $t_0$  – момент начала воздействия нарушителя на чувствительный элемент средства обнаружения (СО);  $t_{\text{обн}}$  – момент формирования СО сигнала тревоги;  $t_p$  – момент нача-

ла развертывания группы быстрого реагирования (ГБР);  $t_{кр}$  – критическая точка обнаружения;  $t_n$  – момент нейтрализации нарушителя;  $t_u$  – момент достижения нарушителем цели.

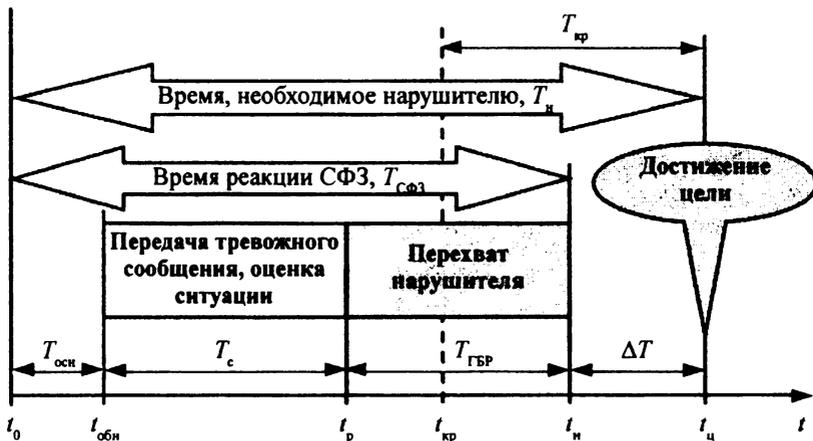


Рис. 1. Соотношение между временем, необходимым нарушителю для достижения цели, и временем реакции системы физической защиты

В [1] предложен вариант моделирования движения ЧН с помощью «плоскости Паскаля» (рис. 2). При этом привычный треугольник Паскаля развертывается в плоскость, его «вершина» совмещается с предполагаемой целью устремления злоумышленника. Плоскость разбивается на дискретные поля стандартного размера таким образом, чтобы биномиальные коэффициенты Паскаля им соответствовали:

$$P_n = \frac{n!}{4 \cdot k! (n-k)!} p^k (1-p)^{n-k},$$

$$n = |x| + |y| - 2, \quad (1)$$

$$k = |x| - 1,$$

где  $x, y$  – координаты поля (номера дискрета).

Расстояние от цели устремления до центра конкретного поля вычисляется геометрически:

$$R_{xy} = h\sqrt{x^2 + y^2}, \quad (2)$$

где  $h$  – масштаб, соответствующий требуемому размеру поля. Масштаб  $h$  выбирается в зависимости от размеров и уровня важности объекта. Его максимальное значение не должно превышать надежной прямой видимости в неблагоприятных условиях.

Из выражений (1) и (2) следует, что появление нарушителя в полях с большими номерами (более удаленных от цели устремления) менее вероятно. Закон распределения вероятности  $P_{xy}$  для полей, расположенных на любом прямом участке, соответствует нормальному закону с математическим ожиданием в поле, максимально приближенном к предполагаемой цели устремления. Однако нормальное распределение вероятности появления нарушителя оправдано, если участки охраны достаточно протяженные и в их пределах расстояние до цели устремления меняется весьма значительно, либо когда ЧН является осведомленным и хорошо знаком с топологией объекта. В противном случае распределение вероятности появления ЧН в пределах одного участка целесообразно считать равномерным. Тогда расчет коэффициентов (2) становится избыточным, и для построения модели вполне достаточно знать расстояние от цели устремления до определенного поля:

$$k_{xy} = x^2 + y^2. \quad (3)$$

В таком случае наиболее вероятная траектория движения нарушителя будет соответствовать меньшим значениям этих расстояний. Для удобства заполнения полей «дальности» можно использовать их нормированные значения (см. таблицу  $k_{xy}$  на рис. 2).

Коэффициенты Паскаля принадлежат двумерной плотности вероятности появления нарушителя в некоторой ее точке. Плоскость «дальности» – некоторое отображение двумерной плотности вероятности на план объекта. Наложение плоскости  $P_{xy}$  либо плоскости  $k_{xy}$  на план объекта позволяет оценить время продвижения нарушителя к цели устремления, а сил реагирования – к точке перехвата.

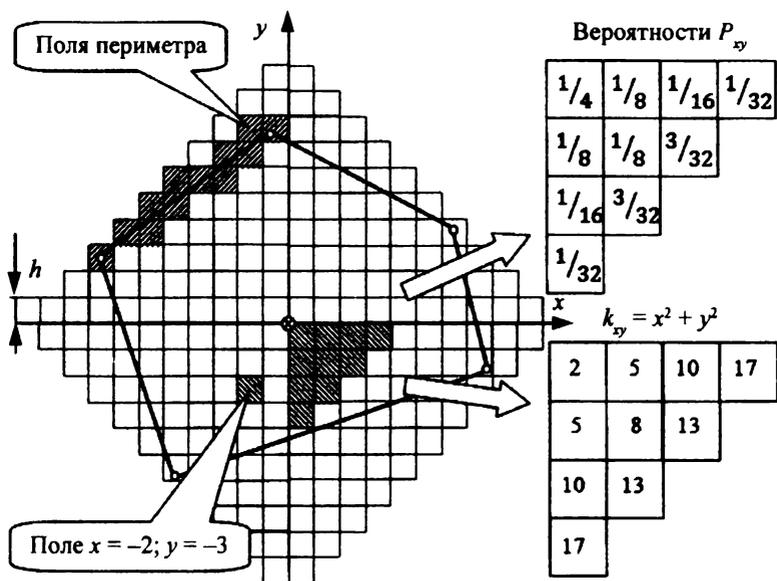


Рис. 2. Разбиение плана объекта защиты в соответствии с «плоскостью Паскаля»

При моделировании процесса движения нарушителя по охраняемой территории следует учитывать параметры двух типов: статические – топология объекта, расположение технических средств охраны и т. п. и динамические – состояние сигнализационных датчиков, действия ЧН и сил реагирования и т. п. Подобное разделение позволяет использовать для анализа СФЗ аппарат сетей Петри [2], активно применяемый в настоящее время для моделирования динамических дискретных систем.

На основе сетей Петри предлагается пошагово моделировать движение ЧН по плоскости Паскаля, наложенной на план объекта с учетом требуемой точности, выбранной поведенческой модели ЧН и скорости его движения. Входными параметрами для каждого шага являются удаленность нарушителя от цели, тактические свойства местности (проходимость, защитные свойства, условия ориентирования, наблюдения, маскировки, ведения огня), местоположение и технические характеристики СФЗ и др.

Выходным решением является очередной шаг человека-нарушителя – одна из позиций  $p_1 - p_8$ , которые пронумерованы по так называемой улитке – правилу целеуказания, принятому в топографии (рис. 3, 4). При этом предполагается, что нарушитель при выборе каждого шага находится в центре улитки (позиция 9). Фишка в одной из позиций разрешает соответствующий переход  $t_p$ , создавая условия для его запуска. После запуска выходного перехода фишка появляется в позиции  $p_9$ , «помещая» ЧН в следующее центральное поле. Информация о траектории нарушителя содержится в последовательности маркировок позиций  $p_{10}$ ,  $p_{11}$ ,  $p_{12}$  и  $p_{13}$ .

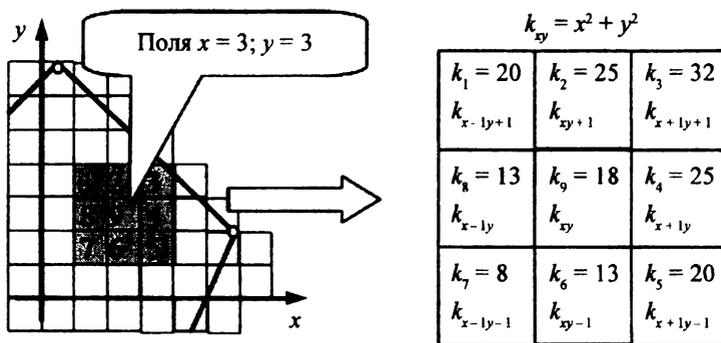


Рис. 3. Нумерация коэффициентов  $k_{xy}$  по правилу целеуказания

Координаты поля, в которое перемещается нарушитель на очередном шаге, равны:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + \mu(p_{12}) - \mu(p_{13}), \\ y_1 &= y_0 + \mu(p_{10}) - \mu(p_{11}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $x_0, y_0$  – координаты на предыдущем шаге;  $\mu(p_j)$  – маркировки соответствующих позиций, равные количеству фишек в позиции. Здесь  $\mu(p_j)$  может принимать значения 0 или 1.

Маркировка в позициях  $p_{10}$ ,  $p_{11}$ ,  $p_{12}$  и  $p_{13}$  до начала хода ЧН равна нулю. В зависимости от направления движения маркировка одной из позиций будет меняться на единицу. Например, если нарушитель из начального положения переместился в правое сосед-

нее поле  $\mu(p_4) = 1$ , переход  $t_4$  разрешен (см. рис. 4), единственная фишка кладется в позицию  $p_{12}$ . Тогда  $\{\mu(p_{10}) = 0; \mu(p_{11}) = 0; \mu(p_{12}) = 1; \mu(p_{13}) = 0\}$ , соответственно  $\{x_1 = x_0 + 1; y_1 = y_0\}$ . Конечная точка движения нарушителя определяется аналогично в результате рекурсии.

Рекурсивная модель на основе сетей Петри позволит конструировать пошаговое движение нарушителя от точки вторжения до места конечного устремления. При этом направление каждого «хода» нарушителя должно выбираться оптимально с точки зрения выбранных критериев. Критерии выбора могут быть различными, например, минимум времени движения или максимальная скрытность действий. Если считать, что нарушитель при прочих равных условиях выбирает кратчайший путь к цели устремления, то основанием для принятия им решения может выступать нормированная дальность до цели.

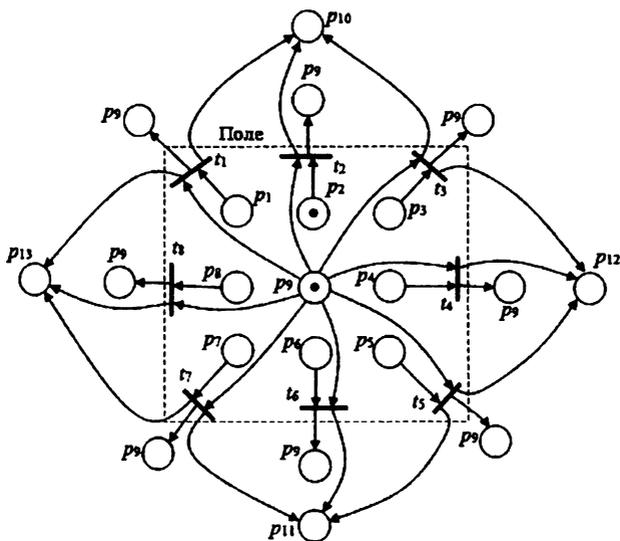


Рис. 4. Модель движения нарушителя на основе сетей Петри

Для более строгого расчета траектории движения нарушителя с учетом динамических и статических параметров СФЗ значения этих параметров необходимо формализовать и нанести на план

объекта в соответствии со структурой плоскости Паскаля. Следует отметить, что формализацию ряда параметров, например защитных свойств местности, целесообразно осуществлять по правилам нечетких множеств. Тогда решение о выборе очередного шага должно формироваться на основе аппарата нечеткой логики.

Моделирование процесса движения сил реагирования, выполняющих задачу пресечения действий нарушителя, следует осуществлять аналогичным образом, с применением сети Петри, структура которой приведена на рис. 4.

В настоящее время разрабатывается программное обеспечение, предназначенное для статистического формирования оценки эффективности СФЗ путем многократного запуска сети.

### **Библиографические ссылки**

1. *Духан Е. И., Давлетханов Р. Р.* Развитие вероятностного подхода к оценке эффективности систем физической защиты // Современные охраняемые технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов : тез. докл. IX Всерос. науч.-практ. конф. (Пенза – Заречный, 18–20 сентября 2012 г.) Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. 454 с.

2. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 736 с.: ил.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАНАЛОВ ПЭМИН ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «СИГУРД»**

*И. Ф. Файсханов, А. С. Лучинин*  
(Екатеринбург, УрФУ, f\_irek@mail.ru)

Информационная безопасность на сегодняшний день является ключевым фактором в жизни общества. Фраза «кто владеет информацией – тот владеет миром» становится актуальной на сегодняшний день. Широкое развитие компьютерных систем облегчает работу, получение информации становится более доступным, обработка более удобной, хранение информации – централизованным.