

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Abstract.* The article presents the algorithm for estimating physical protection systems efficiency, based on cellular automata theory. Operations sequence on each step of estimating is described. Proper probabilistic expressions for calculating necessary parameters are given.

### Вступление

Рост масштабов международного терроризма, возможность доступа преступных элементов к последним достижениям в области военных технологий, высокий уровень организации преступных и террористических группировок, которые наблюдаются в последние годы, требуют повышения уровня безопасности экологически опасных объектов. К ним относятся производства ядерно-топливного цикла и ядерных боеприпасов, объекты, содержащие радиоактивные и химические вещества, хранилища РАО и др. Для решения задачи безопасности предприятия использование современных технологий, уровень технической и организационной сложности и количество альтернативных вариантов построения систем физической защиты (СФЗ) постоянно совершенствуются, что создает необходимость в мощном инструментарии для оценки эффективности СФЗ, и ее оптимизации. Современные подходы к решению этой задачи имеют ряд недостатков [5],[11],[12] обусловленных значительной неопределенностью, возникающей в процессе анализа конфликтной ситуации «СФЗ-нарушитель», и необходимостью проведения большого количества рутинных вычислений. Проведенный авторами анализ теории клеточных автоматов [14] показал, что некоторые принципы этой теории могут быть успешно применены для решения вышеупомянутых проблем.

### Основные понятия теории клеточных автоматов

Клеточные автоматы являются дискретными динамическими системами, поведение которых полностью определяется в терминах локальных зависимостей, которые применяются для моделирования процессов во многих отраслях науки. Клеточный автомат состоит из однородной решетки элементарных ячеек, состояние которых изменяется последовательно шаг за шагом в соответствии с некоторыми локально определенными правилами перехода [14]. Рассмотрим фрагмент пространства клеточного автомата Рис.1.

Центральная клетка имеет 8 соседних клеток, имеющих аналогичные с центральной характеристики. В простейшем случае, показанном на рисунке, каждая клетка характеризуется логической переменной, причем значение в

центральной клетке вычисляется по т.н. правилу клеточного автомата, согласно которому значение в центральной клетке является функцией значений в соседних клетках.

1	0	1
1	1	0
0	1	1

Рис.1. Фрагмент пространства клеточного автомата

### **Описание применения теории к оценке эффективности СФЗ и постановка задачи.**

Для применения данной теории к оценке эффективности СФЗ, на двухмерное изображение территории защищаемого объекта наносится клеточное поле, что позволяет провести требуемый уровень декомпозиции территории объекта, и рассматривать единицу территории объекта в качестве ячейки клеточного автомата. Территория объекта разбивается на зоны, имеющие коэффициент от 1 до 5, значение которого зависит от того, как возрастает вероятность сбоя технологического процесса на объекте в результате пребывания нарушителя в данной зоне.

Поскольку из любой клетки поля можно получить доступ только в 8 соседних клеток, то защищенность каждой из них зависит от соответствия характеристик множества соседних клеток требованиям по безопасности для данной зоны. То есть защищенность клетки поля  $G$  является некоторой функцией от параметров соседних клеток  $p_i$ :

$$G = f(p_1, p_2 \dots p_i),$$

Основными функциями, которые выполняет система физической защиты, являются обнаружение, задержка и нейтрализация. Функция обнаружения определяется как раскрытие действий нарушителя на объекте. К функции обнаружения относится оповещение о несанкционированных действиях с помощью датчиков, системы контроля доступа и систем видеонаблюдения. Цель подсистемы задержки состоит в замедлении продвижения нарушителя на его пути к цели. Она обеспечивается различными ограждениями, замками и т.д. [1]. Исходя из этого, параметрами, по которым можно судить об эффективности СФЗ в каждой клетке являются вероятность обнаружения и время задержки нарушителя.

Чтобы функция обнаружения была эффективно реализована, необходимо, чтобы на пути нарушителя сработало хотя бы одно средство обнаружения, которое находится от защищаемой клетки на расстоянии равном или большем расстояния  $D_g$  от этой клетки до поста сил реагирования (СР). Обнаружение имеет смысл только на расстоянии большем  $D_g$ , поскольку в противоположном случае СР не успевают прибыть на место раньше нарушителя[4]. Следовательно, при опросе клеток, лежащих вне

воображаемой окружности с центром в защищаемой клетке и радиусом  $D_g$ , нас интересует вероятность обнаружения, а при опросе клеток, находящихся внутри – наличие средств задержки и их характеристики. Кроме того, каждая клетка может лежать как вне здания, так и внутри, что также играет роль при опросе ее параметров. Маршрут продвижения нарушителя к цели будет иметь определенный вектор направления, определяющий выбор нарушителем следующей клетки для перемещения в момент времени  $t+1$ . Исходя из вышесказанного можно выделить следующие параметры клеток поля:

1. Обнаружение -  $P_{ij}$ . Проверяется принадлежность клетки зоне действия средства обнаружения, и соответствие вероятности обнаружения этого датчика требованиям к зоне местонахождения клетки. В случае соответствия этих характеристик, клетке присваивается значение 1, в противоположном случае – 0.
2. Задержка-  $I_{ij}$ . Равно 1 при наличии средств задержки в клетке, и 0 при их отсутствии, время задержки моделируется как количество дискретных шагов  $t_n$  развития клеточного автомата для каждой клетки.
3. Расположение-  $R_{ij}$ . Равно 1 если клетка находится внутри помещения, и 0 если снаружи.
4. Расстояние до поста СР -  $D_{ij}$ . Равно 1, если клетка находится внутри воображаемой окружности с радиусом  $D_g$ , и 0, при расположении вне окружности.
5. Положение клетки относительно нарушителя и его цели. Характеризуется тремя битами, которые могут принимать 8 различных состояний по количеству сторон света.

### **Временные интервалы.**

Состояние объекта изменяется со временем относительно действий нарушителя, находящегося на объекте. Все события происходят за дискретные интервалы времени. Если проникновение нарушителя происходит в момент времени  $t$ , то его возможные маршруты могут быть смоделированы на протяжении последовательных моментов времени  $t+1$ ,  $t+2, \dots, t+n$ .

### **Описание алгоритма**

Исходные данные для проведения оценки эффективности включают:

1. Расстояние от защищаемой клетки до местоположения СР.
2. Координаты исходной опрашиваемой клетки.
3. Время преодоления СР одной клетки (которое считается шагом клеточного автомата, т.е. за один дискретный шаг клеточного автомата, СР проходят одну клетку пространства).
4. Данные по временам задержки и вероятностям обнаружения на объекте.

Поскольку предполагается, что нарушитель для проникновения на объект использует только наземные маршруты, то точки проникновения на

объект будут находиться на линии периметра объекта, и рассматриваться в качестве стартовых точек нарушителя. Так как тип нарушителя априори неизвестен, то выбирается наиболее опасный тип нарушителя, т.е. подготовленный нарушитель, осведомленный о составе СФЗ, и пытающийся до критической точки обнаружения (т.е. границы окружности с радиусом  $D_g$ ) действовать скрытно, а после – передвигаться с максимальной скоростью.

Алгоритм выполняется следующим образом:

1. Выбирается защищаемая клетка.
2. Назначаются стартовые точки нарушителя, лежащие на линии периметра объекта. Это будет начальным состоянием клеточного автомата (Рис. 2.).
3. Начинается продвижение из стартовых клеток по направлению к предполагаемой цели нарушителя, в ходе которого клетка «нарушитель» проверяет значения своих соседей по следующей схеме:
  - Проверяются значения  $P_{ij}$  в каждом из 7 соседей (клетка, в которой нарушитель находился в момент  $t-1$  не опрашивается).
  - Если один из соседей имеет  $P_{ij} = 0$ , и эта клетка лежит в направлении защищаемой, то нарушитель переходит в эту клетку.
  - Если несколько соседей имеют  $P_{ij} = 0$ , то нарушитель переходит в клетку, лежащую ближе всего к защищаемой.
  - Если все соседи имеют  $P_{ij} = 1$ , то нарушитель переходит в клетку, лежащую ближе всего к защищаемой, обнаруживая себя.
  - Если один из соседей имеет  $P_{ij} = 0$ , но эта клетка не лежит в направлении защищаемой, то нарушитель переходит в нее. Шагов, которые не направлены к защищаемой может быть не более трех. Если на третьем шаге «нарушитель» не находит незащищенных соседей в направлении защищаемой, он переходит в ближайшую к защищаемой клетку обнаруживая себя.
  - Шаги назад не производятся.
4. По достижении клеткой «нарушителем» окружности с радиусом  $D_g$ , (т.е.  $D_{ij} = 1$ ), клетка начинает опрашивать своих соседей на предмет задержки по следующей схеме:
  - Если один из 7 соседей имеет  $I_{ij} = 0$ , и эта клетка лежит в направлении защищаемой, то нарушитель переходит в эту клетку.
  - Если несколько соседей имеют  $I_{ij} = 0$ , то нарушитель переходит в клетку, лежащую ближе всего к защищаемой.
  - Если все соседи имеют  $I_{ij} = 1$ , то нарушитель переходит в клетку, лежащую ближе всего к защищаемой, задерживаясь на количество дискретных шагов, соответствующих времени задержки в этой клетке.
  - Если один из соседей имеет  $I_{ij} = 0$ , но эта клетка не лежит в направлении защищаемой, то нарушитель переходит в нее.
  - Шаги назад не производятся.

5. Если клетка  $ij$  лежит в здании, или на границе здания, и здание не содержит защищаемую клетку, то нарушитель выберет эту клетку в последнюю очередь.
6. Пути, пройденные клетками «нарушителями», маркируются определенным цветом в зависимости от возможности реализации данного маршрута.
7. На основании наличия путей с высокой вероятностью реализации делается вывод о защищенности или незащищенности центральной клетки.

Вероятность обнаружения нарушителя на каждом смоделированном  $i$ -м пути до момента  $D_{ij}=1$ , за пройденные нарушителем  $m$  шагов вычисляется по формуле [6]:

$$P_i = 1 - \prod_{t=0}^{t=m} (1 - P_{ij}) ,$$

Исходя из этого, эффективность подсистемы обнаружения относительно каждой защищаемой клетки поля вычисляется с помощью выражения:

$$G = 1 - P_i ,$$

Для оценки эффективности средств задержки на каждом  $i$ -м пути нарушителя, после пересечения им точки  $D_{ij}=1$ , до момента  $t_f$  достижения защищаемой клетки используется следующее выражение:

$$T_i = \sum_{t=D_{ij}=1}^{t_f} T_{ij} ,$$

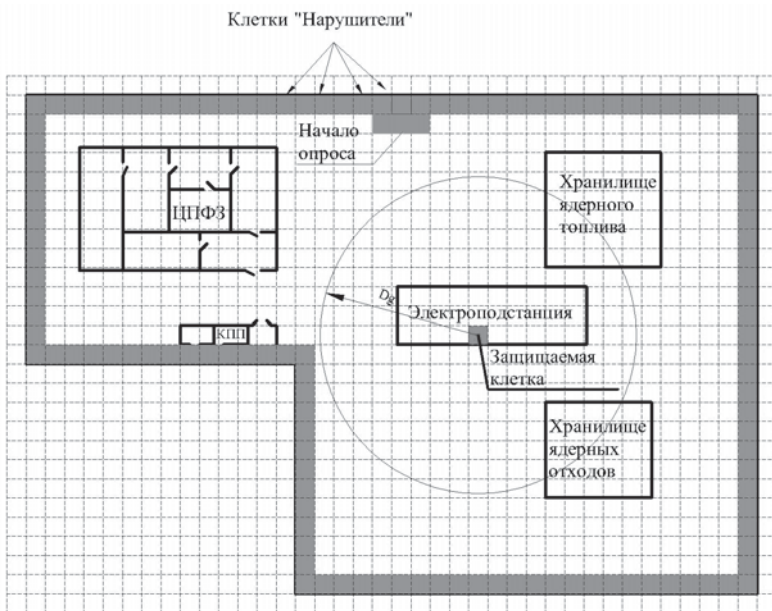


Рис.2. Начальное состояние клеточного автомата на примере гипотетического объекта

## **Выводы:**

Использование разработанного алгоритма для оценки эффективности СФЗ дает следующие преимущества:

- Использование 2D карты объекта дает оператору наглядное представление о размещении и расстоянии между различными элементами на объекте.
- Оценка эффективности может проводиться отдельно и независимо для каждого предмета физической защиты, или для определенной зоны, что позволяет проводить локальную экспресс оценку эффективности СФЗ, например при модернизации отдельных ее составляющих.
- Алгоритм, используемый для моделирования передвижения нарушителя по объекту, предполагает самую опасную модель нарушителя, что означает применение метода «поглощения», т.е. если СФЗ эффективно реализует свои функции при самом опасном сценарии, то она гарантированно делает это при менее опасных.
- Применение теории клеточных автоматов дает простой и надежный алгоритм для моделирования перемещения нарушителя по объекту, на основании результатов которого принимаются меры по усовершенствованию и модернизации СФЗ.

1. *Бондарев П.В., Измайллов А.В., Толстой А.И.* Физическая защита ядерных объектов. Учебное пособие для вузов.– Москва: МИФИ.– 2008.– 584 с.
2. *Буртяк В.М., Забулонов Ю.Л., Лисиченко Г.В., Медведев Ю.О.* Сучасні підходи до оцінювання терористичних ризиків // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці.– 2012.– №65.- с. 94-101.
3. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория вероятностей и её инженерные приложения// 2-е изд. М.: Высшая школа, 2000.— 480 с.
4. *Гарсиа М.* Проектирование и оценка систем физической защиты/Пер. с англ. В.И. Воропаева, Е.Е. Зудина и др. – М.: Мир, АСТ.– 2002. – 386 с.
5. *Звежинский С.С., Голубков Г.В., Иванов В.А., Сизов С.М.,* Оценка функциональной эффективности охранной сигнализации малых объектов // Спецтехника и связь. – 2008.– № 3.– с.13-20.
6. *Леус А.В.* Математическая модель оценки эффективности систем физической защиты // Т.Сотм Телекоммуникации и транспорт, 2010, №6, – С.46–49. (ВАК)
7. *Леус А.В.* Оценка эффективности систем безопасности. Модель движения нарушителя по охраняемому объекту / LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011 – 117 с. ISBN 978-3-8433-1637-8
8. *Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А.* Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – К.: Наукова думка. – 2008. – 543 с.
9. *Ліпкан В.А., Нікіфорчук Д.Й., Руденко М.М.* Боротьба з тероризмом. – Знання України. – 2002. – 254 с.
10. *Пампура В.И.* Оптимальное управление безопасностью экологически опасных объектов. Монография.– Киев: Наукова думка.– 2012.– 599 с.
11. *Панин О.А.* Как измерить эффективность? Логико-вероятностное моделирование в задачах оценки систем физической защиты // БДИ.–2008.–№2(77).– с. 20-24.
12. *Панин О.А.* Проблемы оценки эффективности функционирования систем

физической защиты объектов // БДИ.– 2007.– № 3(72).– с. 23 – 27.

13. *Препарата Ф., Шеймос М.* Вычислительная геометрия: Введение = Computational Geometry An introduction. –М.: Мир, 1989. – 478 с.

14. *Тоффолли Т., Марголуз Н.* Машины клеточных автоматов: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991 - 280 с.

*Поступила 7.10.2013р.*

УДК 623.746. – 519

М.В. Коробчинський, м.Київ

### **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ БПЛА У ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ЦИВІЛЬНОЇ СФЕРИ В ІНТЕРЕСАХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ**

The analysis of opportunities and existing types of UAVs each focused on a separate class of flying machines. As part of the analysis of the features of the application of UAVs and their ability to implement the tasks of civil sector in the interests of the national economy of Ukraine.

Проводиться аналіз можливостей та існуючих типів БПЛА, кожен з яких орієнтований на окремий клас літаючих апаратів. У рамках аналізу розглядаються особливості застосування БПЛА та їх можливості щодо виконання задач цивільної сфери в інтересах національної економіки України.

Безпілотні літальні апарати почали використовуватися досить давно і, в першу чергу, у військових цілях. Ця обставина була однією з причин того, що БПЛА тривалий час не знаходили широкого застосування у вирішенні завдань у цивільній сфері. Другою причиною, яка суттєво загальмувала розвиток індустрії БПЛА, є вартість обладнання, що встановлюється на них для вирішення базових завдань. До яких відносяться:

- завдання навігаційного управління;
- завдання трансляції візуальних образів зони обльоту до оператора або в центр управління.

Завдання навігаційного управління польотом БПЛА вирішується в більшості випадків в ручному режимі оператором, за умови, що БПЛА знаходяться в полі зору оператора. Цей режим управління не може вважатися експлуатаційним оскільки вимагає постійної участі досвідченого оператора, що досить сильно підвищує вартість експлуатації БПЛА. Автоматичний режим управління по заданому курсу видається для реалізації більш складним завданням і вимагає відповідного обладнання, що здорожує безпосередньо сам БПЛА.

Можливості БПЛА в значній мірі визначаються класом окремих апаратів. У відповідності з відомими даними про БПЛА, можливі різні