

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*А.С. Олейник, к.т.н, ст. преподаватель
Академия управления МВД России*

Приведены математические методы и модели совершенствования управления безопасностью критически важных объектов на примере дизельных электростанций. Представлено описание отечественного программного комплекса «Контрфорс» и даны примеры оценки безопасности объектов, поиска оптимальных вариантов их защиты для случаев террористических атак. Даны рекомендации по совершению методов моделирования безопасности объектов в целях информационно-аналитической поддержки принятия решений при выборе оптимальной стратегии защиты.

Критически важные объекты (КВО) — объекты, нарушение или прекращение функционирования которых может привести к потере управления субъектом Российской Федерации или подразделениями силовых структур либо к существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения на длительный период.

К критически важным объектам можно отнести дизельные электростанции пунктов государственного управления, воинских частей, промышленных предприятий, атомных электростанций и социальных учреждений.

Рост степени организации и квалификации диверсионных групп, доступ к современным средствам вооружения, взрывным устройствам, оснащение средствами радиосвязи и спецтехникой требует расширения функциональных возможностей системы безопасности критически важных объектов (КВО) и, как следствие, ведет к усложнению ее структуры. Оперативный сбор, обработка и отображение информации от большого количества охранных и пожарных датчиков, контроль и управление доступом на охраняемую территорию людей с различными правами доступа невозможны без построения систем физической защиты (СФЗ) на основе использования комплексов современных инженерно-технических средств и квалифицированного персонала, обеспечивающих решение задач обнаружения и пресечения

несанкционированных действий. В условиях возрастающих возможностей современных технологий задача обеспечения безопасности объектов энергетики становится актуальной уже на стадии проектирования. Это связано с высокой стоимостью СФЗ и требованиями, предъявляемыми к их надежности.

В этой ситуации практически единственным методом, позволяющим проводить проверку принимаемых проектных решений, является метод математического моделирования, применение которого в обязательном порядке должно учитывать тот факт, что СФЗ представляет собой конфликтную систему с антагонистическими интересами, содержащую существенный элемент неопределенности.

Главное преимущество математических моделей состоит в том, что они являются удобным инструментом для изучения особенностей функционирования СФЗ важных государственных объектов (объектов энергетики). Модели позволяют оценить варианты поведения персонала СФЗ в тех или иных условиях, проанализировать возможные сценарии действий, предложить и сразу опробовать различные способы их совершенствования.

На основе проведенного анализа основных методов моделирования, используемых для решения задачи анализа уязвимости КВО установлено, что в проведенных ранее исследованиях недостаточно внимания уделялось рассмотрению безопасности КВО как одного из «участников» конфликтной ситуации с учетом в явном виде возможных действий как стороны нападения, так и стороны защиты для выбора наиболее рационального варианта защиты КВО.

Наиболее перспективными методами, позволяющими проводить объективный анализ конфликтных ситуаций, учитывая все возможные действия, как со стороны нападения, так и со стороны защиты КВО, являются методы математического и имитационного моделирования.

Характеристики известных методик и программных средств для исследования и анализа уязвимости КВО, особенностей их построения и использования приведены в таблице.

Характеристики программных средств анализа уязвимости КВО

Характеристики	Программы					
	EASI	ASSESS	СПРУТ	СПРУТ-ИМ	«Вега-2»	«Контрфорс»
Представление пространственной структуры объекта	Последовательность действий на маршруте	Схема последовательности действий	3-мерный электронный план	Последовательность действий на маршруте	Иерархическое дерево участков территории	3-мерный электронный план
Автоматический поиск наиболее опасных маршрутов	–	+	+	–	+	–
Ввод характеристик рубежей с помощью шаблонов	–	+	+	–	+	–
Наличие базы данных по средствам охраны	–	+	+	–	+	+
Количество исследуемых маршрутов	1	до 10	Не ограничено	1	Зависит от числа заданных секций и переходов	Не ограничено
Учет случайного характера времени действий нарушителей и сил охраны	+	–	+	+	+	+
Учет вида тактики действий сил охраны	–	–	+	–	+	+
Моделирование действий нескольких тактических групп нарушителей и сил охраны	–	+	+	–	–	+
Моделирование боевого столкновения	–	+	+	–	–	+
Разработчик	Министерство энергетики США	Лаборатория «Сандия», США	Центр анализа уязвимости НПП «Иста»	Центр анализа уязвимости НПП «Иста»	ФГУП СНПО «Элерон»	ГЦ АСУ ВВ МВД России

Рассмотрим более подробно отечественный программный комплекс «Контрфорс». За последние десять лет накоплен позитивный опыт применения этого комплекса, программные средства которого позволяет эксперту сделать вывод о соответствии безопасности предъявляемым требованиям, а также подготовить рекомендации представителям подразделений, выполняющим задачи по охране объекта по дальнейшему совершенствованию безопасности.

Для моделирования функционирования КВО и проведения исследования безопасности КВО формируется перечень исходных данных и необходимых документов (информационное обеспечение модели). Собранные данные используются при создании и проведении вычислительного эксперимента на имитационной модели.

К исходным данным и документам относятся:

- результаты обследования объектов;
- оценка уязвимости объекта (используются результаты анализа уязвимости объекта: описание объекта, угрозы, возможные маршруты движения нарушителей, уязвимые места, а также план охраны и обороны);

- растровые битовые массивы для создания реалистичных текстур структурных элементов объекта (текстуры объекта);

- результаты панорамной цифровой цветной фотосъемки объекта, содержащие данные для точной координатной привязки изображений к местности;

- характеристики элементарных участков СФЗ (системы физической защиты);

- формализованное описание состава и алгоритмов действий личного состава, вооружения и военной техники;

- сведения об оснащенности нарушителей — их штатное вооружение и инженерно-технические средства;

- сведения о группировке, численности, ролевом составе, характеристиках и других возможностях нарушителей (противодиверсионный паспорт объекта);

- исходные данные для разработки модели местности (рельефа) и трехмерных моделей зданий и сооружений (планы объекта, система внешних ограждений, схемы охраняемого объекта).

Алгоритм программного комплекса для каждого набора исходных данных в плане вычислительного

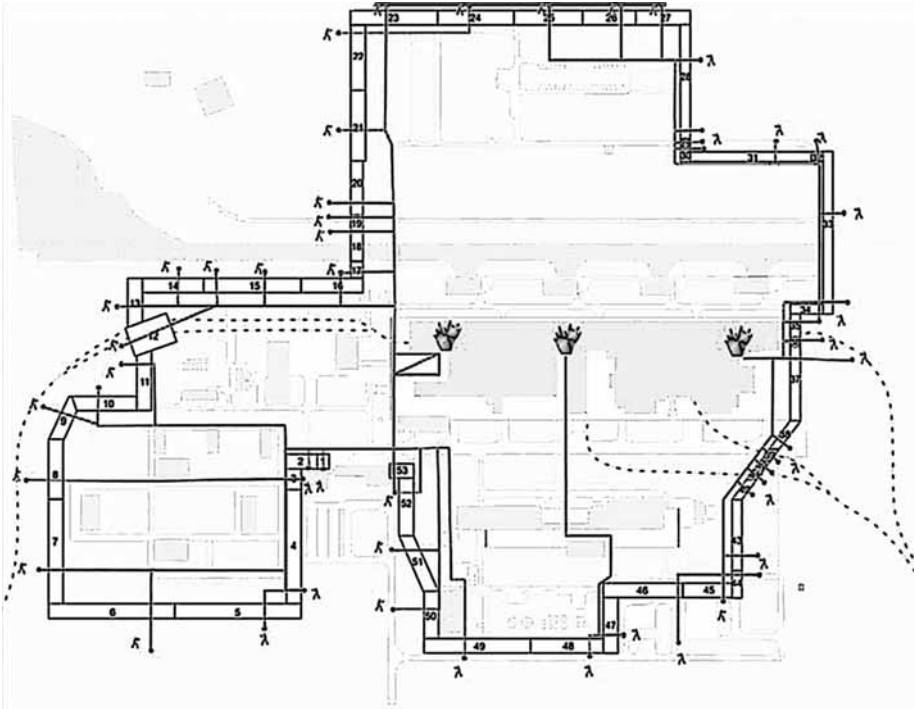


Рис. 1. Схема вариантов проникновения сил нападения на гипотетический объект

эксперимента формирует ситуационный план, который разрабатывается на основе плана охраны и обороны объекта. На ситуационный план наносятся маршруты движения нарушителей к це-

ли, характеристики нарушителей и другие данные.

Построение модели безопасности КВО осуществляется на основе структуры объекта защиты, в модель включаются все системы и связи, оказывающие влияние на охрану объекта защиты.

Вычислительный эксперимент проводился с применением имитационной модели, которая использует возможности программного комплекса «Конترفорт».

На его основе разработана гипотетическая модель безопасности КВО, которая составила 53 участка. На каждом участке расположены свои инженерно-технические средства охраны.

Рассматривался штатный состав караула, согласно требованиям и наставлениям по охране важных государственных объектов.

Исследовались варианты проникновения сил нападения численностью от 1 до 6 человек через каждый участок. Схема вариантов проникновения

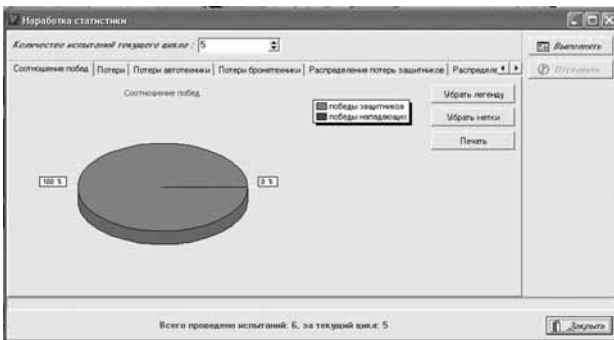


Рис. 2. Информация о соотношении побед защитников и нападающих

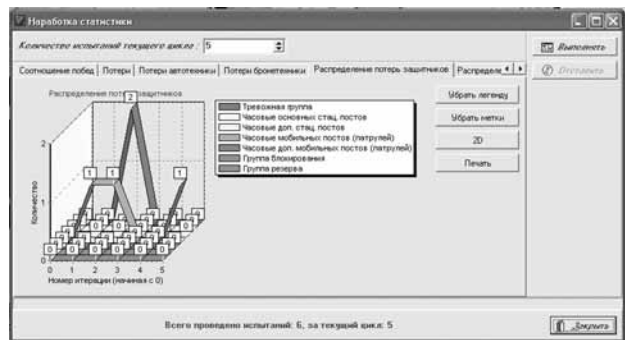


Рис. 4. Информация о распределении потерь защитников

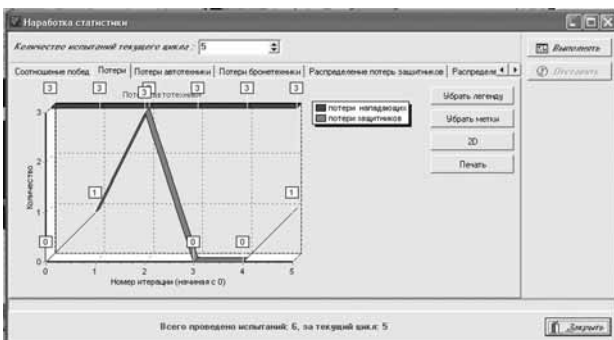


Рис. 3. Информация о потерях личного состава сторон

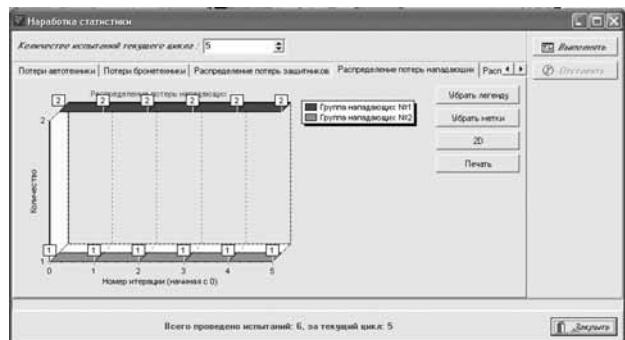


Рис. 5. Информация о распределении потерь нападающих

Блок наработки статистики

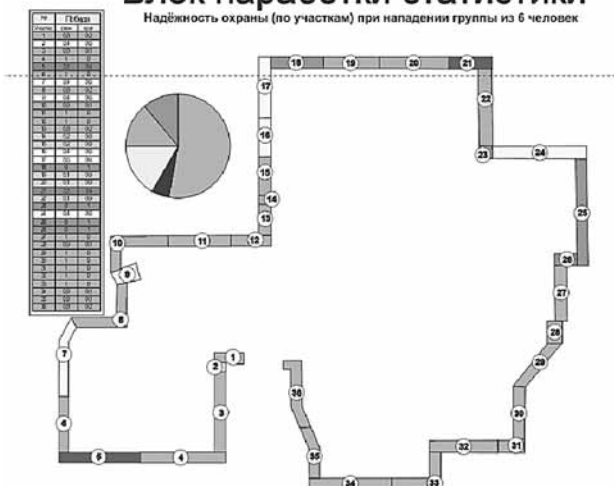


Рис. 6. Результаты моделирования уязвимости объекта (с разбивкой по участкам) при нападении группы из 6 человек

сил нападения на гипотетический объект представлена на рис. 1.

Задача сил нападения сводилась к проникновению на объект, совершению диверсии и возвращению обратно. Было сделано допущение, что индивидуальные параметры персонала охраны и сил нападения равны.

В ходе исследования были получены следующие данные (см. рис. 2–5):

- > отношение побед сил охраны к победам сил нападения;
- > потери живой силы;
- > потери технических средств сил защиты;
- > потери нападающей стороны.

> подробный журнал ведения всех действий, как составом караула, так и силами нападения.

Разработанная методика позволяет выявлять наиболее уязвимые участки СФЗ КВО, где вероятность защиты силами охраны недостаточна. Пример результатов моделирования уязвимости объекта при нападении группы из 6 человек представлен на рис. 6.

Для выбора наилучшей стратегии действий сил защиты и анализа возможных действий сил нападения был разработан математический аппарат, позволяющий решить данную задачу.

Разработана математическая модель боевых столкновений сил охраны и нарушителей, которая основана на аппарате теории игр. Для разработки математической модели боевых столкновений сил охраны и сил нападения формировались варианты (стратегии) защиты КВО. Математическая модель боевых столкновений позволяет дать оценку возможных вариантов действий как защищаемой стороны, так и нападающей стороны и возникающих в этом случае ситуаций.

Выбор вариантов (стратегии) защиты КВО зависит от конкретной задачи сил охраны. В нашем случае используются следующие показатели, как для защищаемой стороны, так и для стороны нападения: потери сил охраны, потери технических средств, потери сил нападения. Это важные показатели, однако наиболее существенным является вероятность защиты объекта: максимальная для защищаемой стороны, минимальная для стороны нападения.

При этом рассматривается антагонистическая игра (двух лиц) с нулевой суммой. Оба игрока

Стратегии	Участок 19	Участок 49	Участок 50	Участок 20	Участок 51	Участок 52	
	Победа сил охраны	Победа сил охраны	Победа сил охраны	Победа сил охраны	Победа сил охраны	Победа сил охраны	
Увеличение времени задержания инженерных сооружений	80	50	50	40	30	100	30
Увеличение радиуса обнаружения противника	70	50	10	70	20	80	10
Увеличение вероятности попадания	90	100	50	60	30	100	30
Введение дополнительных патрулей	70	10	60	80	30	100	10
Введение дополнительных постов	90	90	30	80	70	100	30
Введение дополнительных постов и дополнительных патрулей	90	100	70	100	100	100	70
Стандартная стратегия обороны	60	40	10	40	40	90	40
	90	100	70	100	100	100	

Рис. 7. Порядок упрощения матрицы при нападении группы из четырех человек

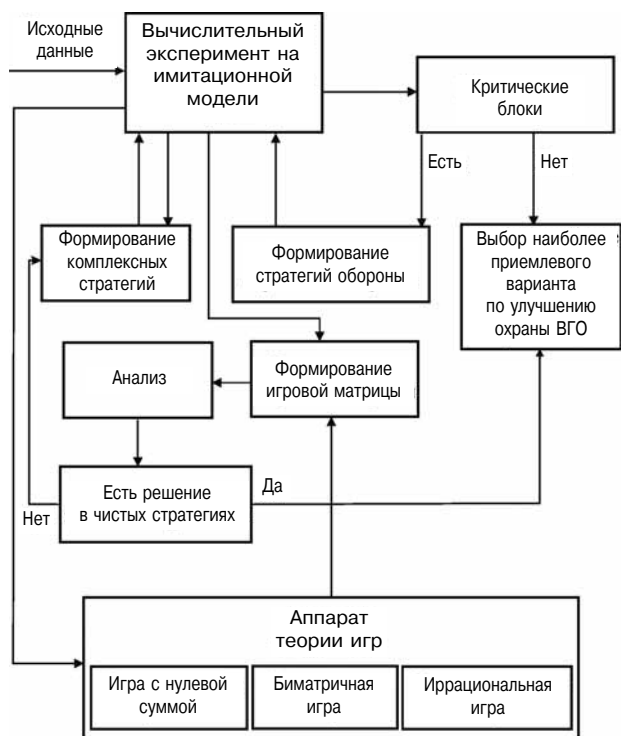


Рис. 8. Структурная схема математической модели боевых столкновений сил охраны и нарушителей

действуют исходя из необходимости $\max(\min)$ вероятности защиты объекта.

В выполненном исследовании рассмотрены еще две модели. Первая модель с ненулевой суммой основана на том, что у каждого из игроков имеются собственные критерии принятия решения. Например, у сил защиты — \max защиты объекта нападения, а у сил нападения — \max числа оставшихся в живых, \min потерь. Критерий сил защиты — вероятность защиты КВО, при этом его требуется максимизировать. Критерий сил нападения — максимизация числа оставшихся в живых нападающих.

Вторая модель иррационального поведения основана на том, что наиболее важно для сил нападения: совершение акции или \min потерь (число оставшихся в живых).

В нахождении наиболее приемлемой стратегии сил охраны (варианта) реализован следующий алгоритм:

1. Ищем игру в чистых стратегиях.
2. Если седловой точки нет, то ищем решение в смешанных стратегиях.
3. Упрощаем матрицу: вычеркиваем дублирующие и заведомо невыгодные стратегии (пример упрощения матрицы при нападении на КВО группы, состоящей из четырех человек, представлен на рис. 7).

4. Составляем систему линейных неравенств, осуществляем ее решение методом линейного программирования.

После решения системы линейных неравенств

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m; \end{cases} \quad (1)$$

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max(\min) \quad (2)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (3)$$

получаем следующие результаты:

$$v = 1/f(x^*), \text{ где } v \text{ — цена игры;}$$

$p_j = x_j/v$, где p_j — оптимальная вероятность применения той или иной стратегии.

Итогом решения задачи являются наиболее приемлемые стратегии (варианты) действий сил охраны.

Структурная схема математической модели боевых столкновений сил охраны КВО и нарушителей представлена на рис. 8.

Применение разработанной методики осуществляется в два этапа. Первый этап — оценка эффективности существующей системы безопасности. Второй — проверка вариантов с целью повышения эффективности системы безопасности при использовании конкретных мер направленных на ее совершенствование.

На первом этапе выполняется обработка исходных данных, собранных на КВО в ходе обследования объекта и необходимых для проведения численного эксперимента. Непосредственно сам эксперимент осуществляется с использованием имитационной модели для выявления уязвимых участков КВО.

На втором этапе с использованием математической модели боевых столкновений осуществляется поиск решения по выбору оптимальной стратегии (варианта) защиты силами охраны КВО. Варианты стратегии сил охраны могут не просто проверяться, но и обсчитываться на имитационной модели. Возможно комплексирование стратегий обороны для совершенствования безопасности КВО.

Данная методика создана для информационно-аналитической поддержки принятия решений в системе управления с целью совершенствования безопасности объектов энергетики.