

УДК 621.039.58

**ЭФФЕКТИВНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ**

ЕГОРОВ Д.И., ИЗМАЙЛОВ А.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(Москва, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В современных условиях одной из важнейших целей государства является обеспечение безопасности ядерных материалов (ЯМ) и радиоактивных веществ (РВ) от внешних и внутренних угроз. В данной статье рассматривается обеспечение эффективной физической защиты (ФЗ) ЯМ и РВ в процессе транспортирования. Обсуждаются проблемы, связанные с безопасностью транспортирования ЯМ и РВ между стационарными ядерными объектами, в частности АЭС, с учетом специфики решения данной задачи (ограниченность сил охраны, большие расстояния между объектами, внезапность возможного нападения и др.). Рассмотрены вопросы оценки эффективности физической защиты специального груза при его транспортировании.

**Ключевые слова:** транспортирование ЯМ и РВ, физическая защита, оценка эффективности, метод оценки эффективности.

**EFFECTIVE PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR MATERIALS AND RADIOACTIVE SUBSTANCES DURING TRANSPORTATION**

EGOROV D.I., IZMAYLOV A.V.

*National Research Nuclear University "MEPhI"  
(Moscow, Russian Federation)*

**Abstract.** In modern world one of the most important missions of any state is to ensure security of nuclear materials (NM) and radioactive substances (RS) by protecting them from external and internal threats. This paper discusses an effective physical protection (PP) system for nuclear materials and radioactive substances in the process of transportation. The problems of secure transportation of nuclear materials and radioactive substances between fixed nuclear facilities are discussed in a view of specifics of this mission (limited number of security personnel, long distances between facilities, spontaneous nature of a potential attack etc.). The paper also reviews the issues of evaluation of effectiveness of physical protection of special cargo during transportation.

**Keywords:** transportation of NM and RS, physical protection, evaluation of effectiveness, method of effectiveness evaluation.

**Введение**

Обеспечение физической защиты ЯМ и РВ от противоправных действий (хищение, диверсия, террористический акт), в том числе при их транспортировании, наряду с обеспечением ядерной и радиационной безопасности, является весьма актуальной задачей. Все это отражено в международных (МАГАТЭ) [1, 2] и российских [3, 4] нормативных и правовых документах.

По сравнению со стационарными ядерными объектами процесс транспортирования ЯМ и РВ более уязвим в отношении действий потенциальных нарушителей. Следует отметить влияющие на это факторы:

- внезапность возможного нападения нарушителя на транспортные средства, перевозящие специальные грузы;
- использование транспортных средств, перевозящих специальные грузы на дорогах общего пользования и железных дорогах, что не позволяет создать вокруг транспортного средства охраняемые зоны;
- ограниченность численности сил охраны, сопровождающих специальный груз, а также удаленность сил поддержки от места потенциальной атаки;
- прохождение маршрутов транспортных средств со специальным грузом по разным регионам, что увеличивает потенциальную возможность внезапных атак;
- возможность перевеса сил и вооружения нарушителя над силами охраны, сопровождающими груз.

В связи с этим разработка эффективных организационных и технических решений по обеспечению физической защиты транспортируемых ЯМ и РВ представляет собой сложную научно-техническую проблему [5].

Для эффективной физической защиты ЯМ и РВ в процессе транспортирования требуются адекватные силы сопровождения и надлежащим образом оборудованные в инженерно-техническом отношении транспортные средства, а также силы поддержки, которые смогли бы оперативно противодействовать несанкционированным действиям нарушителей. Своевременное прибытие сил поддержки к месту возникновения чрезвычайной ситуации имеет решающее значение.

### **Функции физической защиты в процессе транспортирования ЯМ и РВ**

Для повышения физической защищённости перевозимого груза предназначена автоматизированная система безопасности транспортирования (АСБТ), разработанная предприятием АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» [6, 7]. Для обеспечения эффективной физической защиты необходимо понимание зависимости ее эффективности от ряда факторов.

Для оценки системы физической защиты (СФЗ) при транспортировании необходимо рассмотрение функций физической защиты, и оценки эффективности выполнения каждой из них:

**Обнаружение.** Данную функцию обеспечивают технические средства охраны (ТСО) транспорта. При внезапном нападении в процессе перевозки ЯМ время обнаружения стремится к нулю, а вероятность обнаружения к единице.

**Задержка.** Главную роль в обеспечения данной функции играют физические барьеры (ФБ) (специальные контейнеры для перевозки, автоматическое пропускное устройство, модули пиротехнические и т.п.).

**Реагирование.** Задачу по пресечению несанкционированных действий нарушителя решают силы охраны, сопровождающие груз, и в конечном итоге, силы поддержки. Когда поступает информация от технических средств охраны транспорта о попытках несанкционированных действий нарушителя в отношении перевозимого специального груза, силы поддержки начинают реагировать. Выбор тактики действий сил поддержки, в которые могут быть вовлечены национальная гвардия, полиция и др., зависит от требований соответствующих нормативных документов, и от планов их взаимодействия. Для своевременного прибытия сил поддержки необходима бесперебойная связь с диспетчерскими пунктами и знание координат местоположения в любой момент времени.

При этом технические средства охраны участвуют в обеспечении всех функций системы физической защиты ЯМ и РВ в процессе транспортирования [6, 7].

АСБТ специальных грузов обеспечивает решение следующих задач:

- обнаружение и задержка нарушителя;
- мониторинг местоположения транспортных средств;
- контроль параметров безопасности транспортирования (физической, радиационной, пожарной, транспортной);
- оповещение сил реагирования;
- обеспечение защиты информации.

### **Метод оценки эффективности физической защиты специального груза при его транспортировании**

Под эффективностью системы физической защиты при транспортировании понимается способность системы предотвратить несанкционированные действия нарушителя по отношению к ЯМ и РВ.

Основной метод, используемый для оценки эффективности это вероятностный анализ. Эффективность системы физической защиты стационарного ядерного объекта обычно оценивается количественным показателем, отражающим вероятность предотвращения несанкционированных действий [8, 9]. В данной работе рассматривается создание метода оценки эффективности физической защиты специального груза при его транспортировании.

Показатель эффективности зависит от:

- вероятности обнаружения несанкционированных действий;

- вероятности нахождения технических средств охраны в работоспособном состоянии и передачи сигнала на диспетчерский пункт;
- возможности нейтрализации нарушителя;
- вероятности существования благоприятных внешних условий для сил охраны.

Вероятность предотвращения несанкционированных действий во время транспортирования ядерного материала и радиоактивного вещества может быть представлена как:

$$P = P_{\text{обн.}} * P_{\text{т.с.о.}} * [ P_{\text{защ.}} + P_{\text{п.с.}} * (1 - P_{\text{защ.}}) * P_{\text{с.п.}} ] \quad (1)$$

$$\text{где } P_{\text{с.п.}} = F \left( \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{с.п.}}}{\sqrt{D_1^{\text{н}} + D_1^{\text{с.п.}}}} \right) * P_{\text{нейтр.}}^{\text{с.п.}} \quad (2)$$

$F$  – функция закона распределения случайной величины,

$P_{\text{обн.}}$  – вероятность обнаружения действий нарушителя;

$P_{\text{т.с.о.}}$  – вероятность нахождения технических средств охраны в работоспособном состоянии и передачи сигнала на диспетчерский пункт;

$P_{\text{защ.}}$  – вероятность нейтрализации нарушителя силами охраны, сопровождающими груз;

$P_{\text{п.с.}}$  – вероятность получения сигнала диспетчерским пунктом;

$P_{\text{с.п.}}$  – вероятность предотвратить несанкционированные действия нарушителя силами поддержки;

$T_{\text{н}}$  – время действий нарушителя;

$T_{\text{с.п.}}$  – время действий сил поддержки;

$D_1^{\text{н}}$  – дисперсия времени действий нарушителя;

$D_1^{\text{с.п.}}$  – дисперсия времени действий сил поддержки;

$P_{\text{нейтр.}}^{\text{с.п.}}$  – вероятность нейтрализации нарушителя силами поддержки.

Вероятность обнаружения нарушителя во время совершения несанкционированных действий при транспортировании специального груза стремится к единице. Данный вывод следует из-за того, что в случае нападения и попытке остановить движущейся транспорт для совершения несанкционированных действий будет сформирован сигнал тревоги.

За вероятность безотказной работы технических средств охраны и передачи сигнала на диспетчерский пункт отвечает комплекс АСБТ. При этом, важно отметить один из принципов построения физической защиты при транспортировании – зональный принцип. В зависимости от типа перевозок, устанавливаются разные требования к обеспечению мониторинга транспортного средства. Сигнал тревоги передается в разные диспетчерские пункты, и решения о выдвигении сил поддержки могут принимать разные организации. Данная особенность влияет на скорость передачи тревожных сообщений и время принятия решений.

Параметры окружающей среды также влияют на эффективность физической защиты специального груза. Под внешними условиями подразумеваются климатические и погодные условия, особенности окружающей среды в точке нападения нарушителя и т.п.

При определении вероятности нейтрализации нарушителя можно рассматривать два варианта исходов событий:

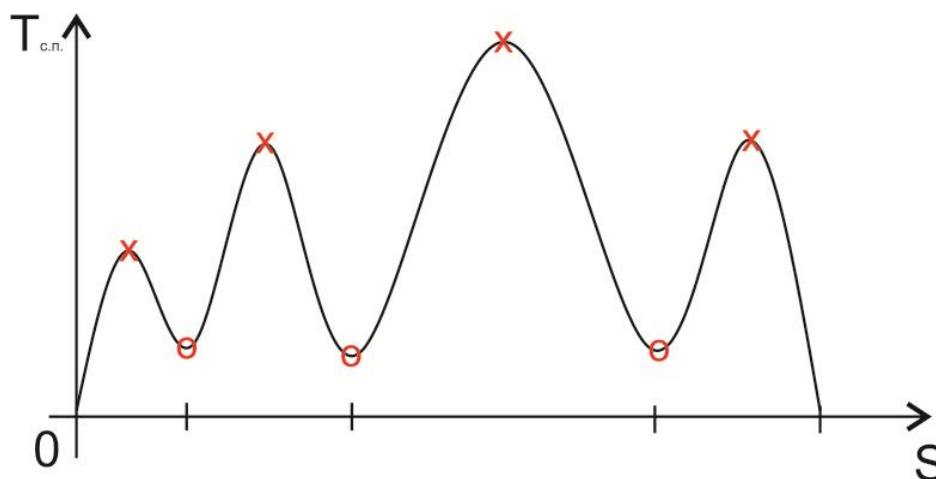
- нейтрализация нарушителя силами сопровождения груза;
- нейтрализация нарушителя силами поддержки.

В первом случае вероятность нейтрализации нарушителя силами сопровождения является вероятностью их победы в боестолкновении, разумеется с учетом принятой модели нарушителя. Данный показатель можно рассчитать имитационно-игровыми методами, используя, например, программный комплекс "Полигон", разработанный АО «ФЦНИВТ СНПО «Элерон» [10].

Во втором случае нейтрализация нарушителя зависит от выполнения условия  $T_{\text{н}} - T_{\text{с.п.}} > 0$ . Для этого оцениваются, соответственно, времена действия нарушителя от момента обнаружения до совершения несанкционированного действия и времени действий сил поддержки от момента обнаружения до прибытия в точку нападения.  $T_{\text{н}}$  состоит из времени преодоления нарушителем физических барьеров в транспортном средстве, времени возможной нейтрализации нарушителем сил охраны, сопровождающих груз и т.д. Для  $T_{\text{с.п.}}$  это сумма времени передачи сообщения на диспетчерский пункт, времени оценки ситуации и принятия решений, времени движения сил поддержки от места дислокации до места нападения на перевозимый груз и т.д. Эти времена являются случайными величинами.

При оценке эффективности стационарного объекта время действий нарушителя и время действий сил охраны складываются из достаточно большого количества времен, причем все слагаемые вносят примерно равный вклад в их значения. В соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятности [11] можно принять, что случайные величины  $T_H$  и  $T_{с.п.}$  распределены по нормальному закону. Но в задаче транспортирования специального груза на случайную величину времени действий сил поддержки большое влияние оказывает время движения сил поддержки от места дислокации до места нападения на перевозимый груз. Атака нарушителя происходит в заранее неопределенном месте. По этой причине, в зависимости от местоположения груза и мест дислокации сил поддержки время их движения является переменной величиной. Поэтому необходимо выяснить, какое значение принимает время действий сил поддержки в любой точке маршрута специального транспорта, а также вероятность выполнения условия  $T_H - T_{с.п.} > 0$ .

Большое влияние на величину  $T_{с.п.}$  оказывает местоположение сил поддержки в зависимости от точки нападения нарушителя. На рис. 1, в качестве примера, представлена характерная зависимость времени движения сил поддержки от местоположения специального транспорта на маршруте. В зависимости от  $T_{с.п.}$  груз будет наиболее уязвим в точках, наиболее удаленных от мест дислокации сил поддержки.



**Рис. 1.** Зависимость время действий сил поддержки от местоположения специального транспорта на маршруте:

**X** – наиболее удаленные точки на маршруте от мест дислокации сил поддержки.

**O** – точки на маршруте, ближайшие к местам дислокации сил поддержки.

Таким образом, предлагаемый подход к оценке эффективности физической защиты транспортируемых ядерных материалов сводится к следующим этапам:

- определение места вероятного нападения на специальный транспорт (например, автотранспорт), перевозящие ЯМ и/или РВ (удаленные от сил поддержки места на маршруте, места со сложной обстановкой для организации противодействия нападению нарушителей и т.п.);

- проведение моделирования боестолкновения сил охраны, сопровождающих специальный груз, и нарушителей (например, с использованием программы «Полигон»);

- определение приоритетов для совершенствования физической защиты специального груза.

Разработка указанной методики позволит обосновать направления совершенствования организационных и инженерно-технических мероприятий по физической защите транспортируемых ЯМ и РВ.

Более подробное рассмотрение вопросов, разработка конкретных методик анализа, в том числе с учетом определения необходимых исходных данных, оценки точности и достоверности полученных результатов, будет представлено в следующих работах.

### Список литературы

1. Конвенция о физической защите ядерных материалов и ядерных установок (с учетом поправки от 2005 г.), МАГАТЭ INFCIRC/274, ратифицированная странами-участницами 8 мая 2016 г.
2. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/rev.5), МАГАТЭ, 2013 г.
3. Федеральный закон об использовании атомной энергии, № 170-ФЗ от 20 октября 1995 г. (с дополнениями и изменениями).
4. «Правила физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов», утв. постановлением Правительства РФ от 19.07.2007 г. № 456 (в редакции 2018 г.).
5. Бондарев П.В., Измайлов А.В., Толстой А.И. Физическая защита ядерных объектов. – М.: НИЯУ «МИФИ» (учебное пособие), 2008 г.
6. Давыдов Ю.Л. Комплексные системы безопасного транспортирования радиоактивных материалов // Состояние и развитие систем физзащиты. Сборник научных трудов М.: ПРО-практик, 2013. № 4. С.51-64.
7. Давыдов Ю.Л. Нормативная база для безопасного транспортирования специальных грузов // Технологии и средства связи. 2007. №2. С.104-105.
8. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты. – М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2002.
9. Измайлов А.В. Методы проектирования и анализа эффективности систем физической защиты ядерных материалов и установок. – М.: МИФИ, 2002.
10. Программный продукт «ПОЛИГОН» /АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон». URL: <https://www.eleron.ru/production/special-programs/poligon>, дата обращения 24.11.2020.
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей : учебник. – 12-е изд., стер.- Москва : ЮСТИЦИЯ, 2018. – 658 с.