

Оценка риска АЭС при совершении теракта. Применение систем физической защиты. Методы оптимизации технологии трассировки лучей

А.С.Обоймов¹, О.В.Золотарев², И.С.Черемисенов³, Е.И.Федосеева², А.О.Токарев², Е.В.Разина², А.Р. Галиева²
anton.oboimov@gmail.com

¹АНО Международный Центр по ядерной безопасности, Москва, Россия

²АНО ВО «Российский Новый Университет», Москва, Россия

³ГБОУ г. Москвы «Лицей «Вторая школа»

Терроризм сегодня – одна из главных угроз человеческой цивилизации. Международный террор за последние годы доказал свою крайнюю жестокость, готовность не останавливаться ни перед чем ради достижения своих целей. В результате совершения террористических актов страдают ни в чем не повинные люди, дети, женщины, старики. Для террориста человеческая жизнь не имеет никакой ценности. При современном многообразии потенциально опасных объектов и их функциональной ориентации невозможно обеспечивать безопасность типовыми решениями, применяя единые стратегии, тактические схемы и приемы, однотипное оборудование. Если просто пойти по пути обеспечения максимального уровня безопасности, то может оказаться, что на большинстве объектов стоимость применяемых технологических средств будет во много раз больше, чем стоимость технологического оборудования объекта и даже самого объекта в целом. Отсюда следует, что для создания эффективных систем физической защиты либо для эффективной модернизации существующих систем физической защиты требуется провести анализ этих систем, выявить наиболее слабые и защищенные места, нуждающиеся в усилении. При этом, нужно учитывать важное различие между системами физической защиты и другими системами безопасности, используемыми для защиты от природных стихийных бедствий (таких как землетрясения, наводнения, торнадо, ураганы и т.д.) и от аномальных условий работы (таких как пожар, неполадки в электрооборудовании и т.д.). В отличие от человеческих нарушителей, нарушения безопасности подчиняются строгим законам и не возникают без причин. Например, огонь пожара может гореть, только пока есть топливо и кислород. Если один из этих элементов убрать – пожар потухнет. Также пожар не может решить, где и когда он возникнет, и как будет прогрессировать. И наоборот, человеческий противник (нарушитель) имеет возможность принять решение, стоит ли атаковать, когда и как атаковать, может подстроиться к мерам системы физзащиты по противодействию ему, и возможно даже перехитрить и победить их. Всё это вносит существенный элемент неопределенности в процесс анализа и оценки эффективности системы физзащиты. С учётом вышесказанного, всё более актуальной становится задача разработки методического подхода к оценке риска при совершении теракта с применением систем физической защиты с учетом оптимизации вычислений затратных по производительности алгоритмов в режиме реального времени. В данной статье авторы делают попытку создания данного подхода.

Ключевые слова: риск, оценка риска, система безопасности, система физической защиты, риск-информированная система безопасности.

Assessing the risk of a nuclear power plant in a terrorist attack. Application of physical protection systems. Ray-tracing technology optimization techniques

A.S.Oboymov¹, O.V.Zolotarev², I.S.Cheremisenov³, E.I.Fedosееva², A.O.Tokarev², E.V.Razina², A.R. Galieva²
anton.oboimov@gmail.com

¹ANO International Nuclear Safety Center, Moscow, Russia

²ANO HE «Russian New University», Moscow, Russia

³State budgetary educational institution of Moscow «Lyceum «Second School», Moscow, Russia

Terrorism today is one of the main threats to human civilization. In recent years, international terror has proved its extreme cruelty, its readiness to stop at nothing in order to achieve its goals. As a result of committing terrorist acts, innocent people, children, women and old people suffer. For a terrorist, human life has no value. With the modern variety of potentially dangerous objects and their functional orientation, it is impossible to ensure safety with standard solutions, using uniform strategies, tactical schemes and techniques, and the same type of equipment. If we simply follow the path of ensuring the maximum level of safety, it may turn out that at most facilities the cost of the applied technological means will be many times greater than the cost of the technological equipment of the facility and even the facility itself. Hence, it follows that in order to create effective physical protection systems or to effectively modernize existing physical protection systems, it is necessary to analyze these systems, to identify the weakest and most protected places that need strengthening. At the same time, an important difference must be taken into account between physical protection systems and other safety systems used to protect against natural disasters (such as earthquakes, floods, tornadoes, hurricanes, etc.) and against abnormal operating conditions (such as fire, malfunctions in electrical equipment, etc.). Unlike human violators, security breaches are subject to strict laws and do not happen without reason. For example, the fire of a fire can only burn while there is fuel and oxygen. If one of these elements is removed, the fire will go out. Also, a fire cannot decide where and when it will occur, and how it will progress. Conversely, the human adversary (intruder) has the ability to decide whether to attack, when and how to attack, can adjust to the measures of the physical protection system to counter it, and possibly even outwit and defeat them. All this introduces a significant element of uncertainty into the process of analyzing and evaluating the effectiveness of the physical protection system. Taking into account the above, the task of developing a methodological approach to risk assessment when committing a terrorist attack using physical protection systems, taking into account the optimization of calculations of cost-intensive algorithms in real time, becomes more and more urgent. In this article, the authors attempt to create this approach.

Keywords: risk, risk assessment, security system, physical protection system, risk-informed security system.

1. Введение

В данной работе делается попытка создания методического подхода для оценки риска АЭС при совершении теракта. Предлагаются методики оценки эффективности СФЗ различных потенциально-опасных объектов, в том числе ядерно-опасных объектов.

Работы по оценке показателей риска опасных объектов (в т.ч. АЭС) проводятся с 1997 года. Именно в этом году были утверждены Основные правила безопасности (ОПБ88/97 (заменены на Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15) [1])). С этого момента на всех российских АЭС стало обязательным выполнение вероятностного анализа безопасности (ВАБ).

Труды многих отечественных и зарубежных специалистов посвящены решению проблем безопасности АЭС. Но такая задача, как оценка риска АЭС при совершении теракта, в трудах этих авторов не была исследована.

В 2015 году вышла работа «Оценка показателей риска для вторых очередей Смоленской и Курской АЭС» [2]. В [2] были предложены методические подходы для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения в кольцевом сегменте румба и для оценки ущерба населению в кольцевом сегменте румба в результате воздействия радиоактивных веществ. Однако, задача оценки риска АЭС при совершении теракта в этой работе также не исследовались.

В 2016 году в ГК «Росатом» была утверждена Методика оценки показателей риска для управления безопасностью критически важных (опасных) объектов Госкорпорации «Росатом» [3]. В ее состав вошла разработанная в ОАО «Концерн «Росэнергоатом» Методика оценки показателей рисков АЭС. В этом же году начались работы по исследованию влияния различных факторов, возникающих в момент аварии, на население, проживающее вокруг АЭС [4-13]. Но и в этих работах не рассматриваются вопросы оценки риска АЭС при совершении теракта.

2. Оценка показателей риска для управления безопасностью особо опасных объектов

На сегодняшний день в России 14 действующих («Академик Ломоносов», Балаковская, Белоярская, Билибинская, Калининская, Кольская, Курская, Курская-2, Ленинградская, Ленинградская-2, Нововоронежская, Нововоронежская-2, Ростовская, Смоленская) и 1 строящаяся АЭС (Балтийская). АЭС неоспоримо имеют множество плюсов, но также есть и специфические особенности использования АЭС. Одной из них является очень сложный технический процесс работы и, вследствие этого, большая опасность в аварийных ситуациях. За безопасность на АЭС отвечает множество устройств, систем безопасности, которые неоднократно резервированы.

Для того, чтобы минимизировать риски населения и рабочего коллектива, необходимо задумываться о последствиях аварии, о возможных рисках ещё на момент постройки АЭС.

Согласно [3], общая процедура проведения оценок риска включает три последовательных стадии: оценка риска уровнями 1, 2 и 3.

Для расчета интегрального риска необходимо знать вероятности (частоты) возникновения аварий F и уровень соответствующих опасных воздействий на людей D (например, возможный уровень доз радиации). Тогда интегральный индивидуальный риск определяется по формуле [3]:

$$R = \sum_{i=1}^n k \cdot F_i \cdot D_i < R_a,$$

где: R_a - уровень приемлемого риска (risk acceptable), 1/год; F - вероятность (частота) возникновения опасных ситуаций; D - уровень соответствующих опасных воздействий на людей (например, максимальная доза облучения человека, Зв); k - коэффициент, связывающий вероятность (частоту) гибели людей с опасными воздействиями ($5,6 \cdot 10^{-2}$ 1/Зв [3]).

В таблице 1 представлены результаты оценок риска для Российских АЭС, выполненные по [3].

Таблица 1. Результаты оценок риска для Российских АЭС

Название АЭС	Пострадавшие (чел.)	Вторичный фактор (чел.)	Ущерб (руб.)
Балаковская	256	218 тыс.	1,6 млрд.
Белоярская	37	30 тыс.	221 млн.
Билибинская	0	0	702 тыс.
Калининская – 1 очередь	63	34 тыс.	545 млн.
Калининская – 2 очередь	61	34 тыс.	514 млн.
Кольская – 1 очередь	252	1000	1,7 млрд.
Кольская – 2 очередь	13	1000	631 млн.
Курская – 1 очередь	53,4 тыс.	77,3 тыс.	511 млн.
Курская – 2 очередь	53,4 тыс.	77,3 тыс.	511 млн.
Нововоронежская	3530	49 тыс.	22 млрд.
Ростовская	12	2180	82 млн.
Смоленская – 1 очередь	6	33 тыс.	42,9 млн.
Смоленская – 2 очередь	17	33 тыс.	105 млн.

Аварии, рассмотренные в процессе оценок риска, имеют чисто «технический» характер, т.е. являются

результатом отказа технических систем АЭС. Для оценок риска АЭС при совершении теракта предлагается

использовать разработанную авторами систему физической защиты (СФЗ).

3. Система физической защиты

Согласно [14], физической защитой (ФЗ) называется вид деятельности в области обеспечения безопасности, направленный на предотвращение диверсий в отношении потенциально опасного объекта и хищений предметов ФЗ.

Согласно [15], система физзащиты (СФЗ) является совокупностью правовых норм, организационных мер и инженерно-технических решений, направленных на защиту жизненно важных интересов и ресурсов предприятия (объекта).

Целью СФЗ является предотвращение диверсий и хищений в отношении предметов физической защиты [16].

3.1. Принципы построения СФЗ

Для построения современной СФЗ необходимо руководствоваться принципами, изложенными в [17].

3.2. Модель нарушителя

Согласно [18], проведение соответствующих расчетов следует выполнять, ориентируясь на следующие модели нарушителей:

- внешний нарушитель (проникший на территорию объекта);
- внутренний нарушитель (сотрудник объекта);
- совместные действия внешнего и внутреннего нарушителя.

Для достижения поставленной цели потенциальные нарушители могут использовать разнообразные тактические приемы, которые классифицируются как [19]:

- обманные;
- скрытые;
- насильственные (открытое применение силы);
- комбинированные.

Комплекс технических средств физической защиты, как правило, не рассчитывается на возможность проведения потенциальным нарушителем войсковой операции с использованием тяжелого вооружения (артиллерии, авиации, тяжелой бронетехники и т.д.), а также на участие в операции крупных войсковых соединений. Однако, при проектировании СФЗ необходимо учитывать численность и возможности потенциально нападающего специально подготовленного значительной по численности группы, которая характеризуется [20-23]:

- степенью экипировки;
- уровнем подготовки;
- уровнем вооружения;
- наличием средств передвижения и их мобильности;
- возможностью оказания помощи внутренним нарушителем.

3.3. Модель взаимодействия нарушителя и СФЗ

СФЗ объекта можно охарактеризовать двумя группами функций [24]:

- активная – способность СФЗ пресекать действия нарушителя по нанесению ущерба объекту и охраняемым целям в любых условиях обстановки;
- пассивная – способность системы обнаруживать несанкционированное вторжение и оценивать его масштаб в любых условиях обстановки.

Общая функциональная модель взаимодействия нарушителя и СФЗ приведена на рис. 1 [25].



Рис. 1. Модель взаимодействия нарушителя и СФЗ

4. Методы оптимизации технологии трассировки лучей

Проблема вычислений затратных по производительности алгоритмов (в т.ч. СФЗ) в режиме реального времени вынуждает разработчиков программного обеспечения задумываться о поисках механизмов по

оптимизации данных вычислений. Авторы провели анализ некоторых существующих методов оптимизации технологии трассировки лучей [26-29]:

1. Метод «Трассировки лучей».
2. Технология CUDA.
3. Оптимизация трассировки лучей в октантных деревьях.

5. Результаты

Разрабатываемый методический подход по оценке риска АЭС при совершении теракта позволяет оценить уровень криминально-террористических угроз для конкретного потенциально-опасного объекта.

6. Выводы

В дальнейшем планируется создание общего методического подхода по оценке риска АЭС при совершении теракта с использованием технологии трассировки лучей.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00445.

Библиографический список

- [1] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15): [Нормы и правила НП-001-15: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522]. - М., 2015. - 74 с.
- [2] Берберова М.А. Оценка показателей риска для вторых очередей Смоленской и Курской АЭС: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.03 / Берберова Мария Александровна. - М, 2015. - 130 с.
- [3] Методика оценки показателей риска для управления безопасностью критически важных (опасных) объектов Госкорпорации «Росатом»: [Методика: утверждена Первым заместителем генерального директора ГК «Росатом» по ядерному оружейному комплексу 29.03.2016]. - М., 2016. - 253 с.
- [4] Исследование зависимости результатов оценок радиационного риска АЭС с реактором типа ВВЭР от состава населения, проживающего вокруг АЭС (на примере Ростовской и Калининской АЭС). Маринина Д.А., Берберова М.А. В сборнике: Труды Международной научной конференции по физико-технической информатике СРТ2018. С. 255-263.
- [5] M.A.Berberova, S.S.Zolotarev, «NPP risk assessments results dependence study on the composition of the population living around the NPP (on the example of Rostov and Kalinin NPP)», GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision. The 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-285-289, <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper66.pdf>, p. 285-289.
- [6] M.A.Berberova, K.I.Chernyavskii, «Comparative assessment of the NPP risk (on the example of Rostov and Kalinin NPP). Development of risk indicators atlas for Russian NPPs», GraphiCon 2019 Computer

Graphics and Vision. The 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-290-294, <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper67.pdf>, p. 290-294.

- [7] Андреев В.В., Берберова М.А., Сапаркин Л.М. Разработка модели оценки ущерба, нанесенного населению в результате воздействия радиоактивных веществ при авариях на АЭС (на примере Нововоронежской АЭС) // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. № 4 (123). С. 61-68.
- [8] Чернявский К.И., Быков Н.К., Золотарев С.С., Берберова М.А. Оценка риска при демонтаже АЭС // В сборнике: Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i для задач мониторинга и безопасности (SCVRT2017) Труды Международной научной конференции. С. 184-197.
- [9] Сравнительная оценка доз внешнего и внутреннего облучения и оценка ущерба населению, проживающему вокруг АЭС с реакторами типа ВВЭР (на примере Ростовской и Калининской АЭС) Максимов А.С., Берберова М.А. В сборнике: Труды международной научной конференции СРТ1617. ИФТИ. 2017. С. 257-260.
- [10] Оценка показателей риска для Белоярской АЭС с реактором типа БН-600 Берберова М.А., Исламов Р.Т., Зарипов И.Р., Липатов А.А. В сборнике: Труды Международной научной конференции СРТ2015. ИФТИ. 2016. С. 161-166.
- [11] Оценка ущерба населению, проживающему вокруг АЭС, в результате воздействия радиоактивных веществ Берберова М.А., Исламов Р.Т., Гриднев А.А., Лебедев К.Ю. В сборнике: Труды Международной научной конференции СРТ2015. ИФТИ. 2016. С. 230-232.
- [12] Оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего вокруг АЭС (на примере Ростовской АЭС) Берберова М.А., Исламов Р.Т., Лебедев К.Ю. В сборнике: Труды Международной научной конференции СРТ2015. ИФТИ. 2016. С. 256-259.
- [13] Развитие методического подхода к оценке доз облучения Берберова М.А., Исламов Р.Т., Липатов А.А., Орлов Ю.Н. В сборнике: Труды Международной научной конференции СРТ2015. ИФТИ. 2016. С. 260-263.
- [14] M.A.Berberova, A.S.Oboimov, A.Kh.Khakimova, O.V.Zolotarev, «Risk-informed security system. The use of surveillance cameras for the particularly hazardous facilities safety», GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision. The 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: [10.30987/graphicon-2019-2-321-325](https://doi.org/10.30987/graphicon-2019-2-321-325), <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper74.pdf>, p. 321-325.
- [15] Системы физической защиты. Методические рекомендации по проведению анализа уязвимости

ядерно-опасных объектов. Приложение к распоряжению заместителя Министра от 10.05.2001 № 167-р, Минатом России.

- [16] Риск-информированная система безопасности. Берберова М.А., Обоймов А.С., Федорова А.Ю., Росщупкина П.А., Белая А.А. Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2019. № 4 (6). С. 17-24.
- [17] Андропова Е. Самое слабое звено системы безопасности. // Журнал «БДИ» № 2 (53) - 2004 г.
- [18] Богачев Б.М. Теория вероятностей. Учеб. Пособие // В.М. Богачев, В.В. Сысоев // Воронеж, 2000.
- [19] Обоймов А.С., Берберова М.А., Кривошлыкова Е.С., Белая А.А. Риск-информированный подход в работе систем физической защиты. Труды Международной научной конференции СРТ2019. Нижний Новгород, 2019. С. 177-181.
- [20] Обоймов А.С. Оценка эффективности систем физической защиты. Обнаружение наиболее вероятных и опасных сценариев атак на СФЗ. // Успехи современной науки. 2016. Т. 8. № 12. – С. 52-58.
- [21] M.A.Berberova, A.S.Oboimov, A.Kh.Khakimova, O.V.Zolotarev, «Risk-informed security system. The use of surveillance cameras for the particularly hazardous facilities safety», GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision. The 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: [10.30987/graphicon-2019-2-321-325](https://doi.org/10.30987/graphicon-2019-2-321-325), <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper74.pdf>, p. 321-325.
- [22] M.A. Berberova, A.V.Dmitriev, A.V.Golubkov, A.I.Elizarov, «Calculation of the probabilistic safety analysis and reliability by the fault trees and event trees methods», GraphiCon 2019 Computer Graphics and Vision. The 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings (2019), Bryansk, Russia, September 23-26, 2019, Vol-2485, urn:nbn:de:0074-2485-1, ISSN 1613-0073, DOI: [10.30987/graphicon-2019-2-316-320](https://doi.org/10.30987/graphicon-2019-2-316-320), <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper73.pdf>, p. 316-320.
- [23] Золотарева В.П., Золотарев О.В., Яшкова Н.В. Управление проектами. Учебно-методическое пособие // ООО "Стимул-СТ". - Нижний Новгород, 2016.
- [24] Бутков П.П. Терроризм и проблема безопасности в современном мире: Учеб. Пособие/СПбГУАП. СПб., 2004. 56 с.
- [25] Золотарев О.В. Методы и инструменты моделирования предметной области. В сб. трудов по материалам конференции «Цивилизация знаний: Проблемы социальных коммуникаций» – М.: РосНОУ, 2012. с.71-72.
- [26] Ульянов А.Ю., Котюжанский Л.А., Рыжкова Н.Г. Метод трассировки лучей как основная технология фотореалистичного рендеринга // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11-6. – С. 1124-1128; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39706> (дата обращения: 25.04.2020).
- [27] Городничев М.Г., Гематудинов Р.А., Кухаренко А.М. О некоторых методах визуализации динамических 3D моделей // «Экономика и качество систем связи» 1/2018, с. 18-29
- [28] Казённых А.М. Основы технологии CUDA // Компьютерные исследования и моделирование 2010 Т. 2 № 3 С. 295-308.
- [29] В.А. Бобков, С.В. Мельман, Ю.И. Роньшин. Оптимизация трассировки лучей в октантных деревьях // International Conference Graphicon 2005, Novosibirsk Akademgorodok, Russia, <http://www.graphicon.ru/>