

УДК: 621.039.058

DOI: 10.26277/SECNRS.2022.105.3.001

© 2022. Все права защищены.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Гареев М. Д.* , канд. техн. наук (gareev@secnrs.ru),
Егоров А. А.* (egorov@secnrs.ru),
Зырянов Д. К.* (ziryanov@secnrs.ru),
Смирнов В. В.* , канд. техн. наук (vsmirnov@secnrs.ru)

Статья поступила в редакцию 27 июня 2022 г.

Аннотация

Приводится анализ выполнения требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии к физической защите ядерных объектов по вопросу оценки эффективности системы физической защиты ядерных объектов. Показано, что основным критерием при принятии решения о том, что система физической защиты ядерного объекта способна выполнить свое целевое предназначение по предотвращению несанкционированных действий нарушителей, является критерий сравнения оценочного значения показателя эффективности с требуемым минимальным допустимым значением (критерий применимости). Показаны ограничения использования методов обоснования минимального допустимого значения показателя эффективности системы физической защиты, основанные на анализе рисков. Приводится описание возможностей использования формальных и экспертных методов для принятия регулирующих решений при выборе вариантов построения систем физической защиты ядерных объектов. На примере шкалы Харрингтона обсуждается возможность использования вербально-числовых шкал при экспертных процедурах принятия решения о назначении и обосновании минимального допустимого значения показателя эффективности физической защиты.

Рассмотрены возможные варианты использования альтернативного критерия, основанного не на решении задачи сравнения оценочного значения показателя эффективности с требуемым минимально допустимым значением, а на решении задачи максимизации эффективности (критерий оптимальности), а также возможные варианты логического вывода при принятии регулирующих решений.

► **Ключевые слова:** система физической защиты, эффективность, критерий эффективности, показатель эффективности.

* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия.

APPLICATION OF VARIOUS CRITERIA FOR THE EFFECTIVENESS OF PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR FACILITIES

Gareev M. D.*, Ph. D.,

Egorov A. A.*,

Zyrianov D. K.*,

Smirnov V. V.*, Ph. D.

Article is received on June 27, 2022

Abstract

The article provides analysis of the fulfillment of the requirements of Federal rules and regulations on the physical protection of nuclear facilities related to evaluating the effectiveness of the physical protection systems of nuclear facilities. It is shown that the main criteria when deciding that the system of physical protection of a nuclear facility is capable of fulfilling its intended purpose to prevent unauthorized actions of violators is the criteria of comparing the estimated value of the effectiveness indicator with the required minimum permissible value (the criteria of applicability). The article describes the possibilities of using expert methods for making regulatory decisions when choosing options for designing of physical protection systems of nuclear facilities.

The possible options for using an alternative criteria based not on solving the problem of comparing the estimated value of the effectiveness indicator with the required minimum permissible value, but on solving the problem of maximizing effectiveness (optimality criteria) for making regulatory decisions are considered.

► **Keywords:** *physical protection system, effectiveness, effectiveness criteria, effectiveness indicator.*

* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia.

Введение

При исполнении функций государственного регулирования деятельности в области использования атомной энергии [1–3] в рамках процедур надзора или лицензирования при принятии решения о способности системы физической защиты (СФЗ) выполнить функцию предотвращения хищения либо осуществления несанкционированных действий с ядерным материалом, а также совершения диверсий в отношении предметов физической защиты используется правило принятия решения, закрепленное в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии [3]. Это правило заключается в том, что СФЗ ядерного объекта (ЯО) считается эффективной, если полученное в процессе оценки значение показателя эффективности оказывается равным или превышает установленное требуемое минимальное допустимое значение (МДЗ). В противном случае СФЗ считается неэффективной. Это правило является пока единственным официально установленным критерием эффективности СФЗ.

При этом основная проблема регулятора заключается в том, что методика обоснования МДЗ эффективности СФЗ на сегодняшний день не разработана, и, значит, достоверного обоснования МДЗ соискатель лицензии представить не может.

Действующие нормы и правила в области использования атомной энергии [3] предусматривают особый порядок принятия решения об эффективности (неэффективности) СФЗ, основываясь на утвержденном руководителем ЯО обоснованном заключении о достаточности полученного значения показателя (показателей) эффективности СФЗ.

Поскольку такое решение о достаточности принимается руководителем этого объекта, судить о достоверности и объективности такого решения представляется очень сложным. Практика проведения экспертиз безопасности говорит о том, что подавляющее большинство соискателей лицензий пользуются именно этим особым порядком и в состав обосновывающих безопасность документов включают решение руководителя объекта о достаточности полученного значения показателя эффективности.

В статье рассмотрено предложение о возможности применения критерия, не использующего процедуру сравнения с МДЗ, в частности критериев максимизации показателя в скалярной форме.

Показатель эффективности

Принято считать [4], что под эффективностью СФЗ понимается способность СФЗ обеспечить достижение цели физической защиты, заключающейся в пресечении несанкционированных действий нарушителя.

СФЗ как сложная организационно-техническая система, в которой применяются технические средства и действуют противоборствующие силы, функционирует в условиях влияния внешних и внутренних факторов разнообразного характера. Формализация процессов действий нарушителей и функционирования СФЗ осуществляется путем значительных упрощений реальных процессов функционирования сложной системы. Эти упрощения основываются на принятии допущений, существенно влияющих на интерпретацию и использование результатов оценки эффективности при создании (модернизации) СФЗ и на выполнение надзорных проверок требований к оценкам эффективности. Как российскими специалистами [4–6], так и зарубежными [7], отмечается, что при оценке эффективности принятие таких допущений связано с тем, что СФЗ функционирует в условиях неопределенностей стохастического, природного и поведенческого характера. В результате показатель эффективности СФЗ (E) является сложным функционалом F вида (1), зависящим от большого числа разнородных исходных данных (параметров), значительная часть которых описывается случайными или неопределенными событиями, величинами или процессами:

$$E = F(S_{\text{итсфз}}, S_{\text{орп}}, S_{\text{дп}}, H_{\text{хн}}, H_{\text{дн}}), \quad (1)$$

где $S_{\text{итсфз}}$, $S_{\text{орп}}$, $S_{\text{дп}}$ – управляемые параметры, характеризующие функционирование СФЗ с учетом применения инженерно-технических средств физической защиты $S_{\text{итсфз}}$ и организационных мер СФЗ $S_{\text{орп}}$, а также с учетом результатов действий персонала физической защиты $S_{\text{дп}}$;

$H_{\text{хн}}$, $H_{\text{дн}}$ – параметры характеристик и действий нарушителей.

Для многих параметров модели оценки эффективности, которые описывают поведенческие неопределенности, приходится принимать условные допущения о случайном характере событий и процессов, то есть использовать идею рандомизации неслучайных процессов.

Принципиальной особенностью оценки эффективности СФЗ является многообразие возможных сценариев и способов действий нарушителей.

Принятие решения об эффективности системы физической защиты с использованием минимального допустимого значения показателя эффективности

Устоявшаяся в настоящее время методология предполагает производить количественную оценку показателей эффективности, отражающих вероятность пресечения несанкционированных действий нарушителя силами охраны. Необходимо отметить, что требование использования критерия эффективности, заключающегося в сравнении значения эффективности, полученного в результате оценки, с МДЗ (критерий применимости [8], принцип гарантированного результата [9]), появилось в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии, утвержденных в 2007 г. (НП-083-07), такие же требования содержатся и в ныне действующих федеральных нормах и правилах [3]. Для того периода развития нормативной базы регулирования эта новация была, бесспорно, весьма прогрессивной, поскольку регулятор до этого не имел в этом вопросе серьезной возможности обоснования принятия регулирующих решений.

Сложность реализации этого критерия заключалась, и до сегодняшнего времени заключается, в том, что оператор не может представить утвержденного на отраслевом уровне документа с разработанной методикой обоснования МДЗ. Попытки разработать такую методику предпринимались, о трудностях методического и общесистемного характера разработки писали многие специалисты [4, 10–12], однако эти работы не принесли ожидаемого результата.

Риск-ориентированный подход

В некоторых случаях для определения МДЗ специалистами предлагается подход, основанный на оценке риска. Действительно, анализ уязвимости, оценка последствий (тяжести ущерба) и оценка эффективности являются по своей сути этапами процесса анализа и оценки риска, определения остаточного риска [10]. Дискуссия на эту тему активно ведется в последние годы целым рядом специалистов. Точно так же, как проектирование и создание СФЗ – не что иное, как процесс управления риском с целью его снижения до «приемлемого» уровня [10–11].

$$R = F(1-E)C, \quad (2)$$

где R – показатель риска;

F – коэффициент, характеризующий частоту наступления события, в результате которого возможно возникновение ущерба;

E – эффективность СФЗ, которая может быть определена как доля успешно реализуемых попыток несанкционированного действия, при этом $F(1-E)$ характеризует «вероятность нанесения ущерба»;

C – показатель масштаба последствий (тяжесть ущерба).

Данная формула дает возможность путем элементарного преобразования записать выражение для искомого значения МДЗ:

$$E_{min} = 1 - R_r / (F_r C_r), \quad (3)$$

где R_r , F_r и C_r – значения, соответствующие параметрам проектной угрозы.

Как справедливо указывается в статье [10], остается «самая малость» – договориться по вопросу установления значений входящих в формулу величин. Это как раз и составляет наибольшую трудность в реализации данного подхода.

Наибольшей неопределенностью сегодня характеризуется параметр « F », что и выдвигается в качестве основного аргумента при обосновании невозможности использования риск-ориентированного анализа.

Экспертный подход

Подход, основанный на использовании мнений экспертов, предполагает нормативное задание значения МДЗ на основе опыта, знаний и предпочтений специалистов-экспертов в области физической защиты.

Примерами реализации таких подходов могут быть применение качественных, балльных или вербально-числовых шкал. Вербально-числовые шкалы применяются преимущественно в тех случаях, когда оценки по критерию носят субъективный характер. Например, субъективный характер, в основе которого лежат опыт и знания эксперта, могут носить оценки степени риска, сравнительной важности значений компонент, образующих интегральный показатель эффективности.

Суть вербально-числовых шкал в том, что они позволяют измерить степень интенсивности критерияльного свойства, имеющего субъективный характер [13–14].



В состав вербально-числовых шкал входят, как правило, содержательное описание градаций шкалы и числовые значения, соответствующие каждой из градаций шкалы.

Численное значение показателя эффективности можно сопоставить с категорией потенциальной опасности, и более высокое значение показателя соотнести с субъективным мнением экспертов о необходимости применения более жестких мер физической защиты в случае более высокой потенциальной опасности совершения несанкционированных действий на объекте. Примеры использования качественной шкалы приводятся в [15–18].

В качестве примера вербально-числовой шкалы, имеющей достаточно широкое применение, можно привести шкалу Харрингтона, характеризующую степень выраженности критериального свойства, очень широко применяющуюся при принятии решений [19] и имеющую универсальный характер.

Принцип построения вербально-числовых шкал на примере шкалы Харрингтона приведен в таблице.

В литературе описываются и другие методы построения вербально-числовой шкалы, например метод, предложенный С. Н. Воробьевым [14], который предполагает построение двух специальных графов, названных иерархической семантической структурой и иерархической компенсационной структурой.

Значение МДЗ формируется экспертным методом с использованием описанных подходов.

Реализацию регулирующего решения при применении комбинированного подхода к регулированию [10, 20–21] можно сформулировать в виде следующего критерия.

СФЗ можно считать эффективной, то есть способной выполнить свое целевое предназначение, в случае одновременного выполнения двух условий:

- условие 1: выполнение предписывающих требований к СФЗ, заданных действующими нормативными и правовыми актами [2–3];

- условие 2: значение эффективности, полученное в результате оценки, должно быть не менее минимального допустимого значения [3].

Одновременное выполнение этих двух условий соответствует реализации концепции применимости в терминологии теории принятия решений [8–9, 13].

Выполнение условия 1 проверяется оценкой состояния, например [22].

Выполнение условия 2 проверяется методикой оценки эффективности СФЗ [7, 23].

Критерий применимости можно записать в виде соотношения:

$$\text{Критерий } 1 = \{Y1 \cap Y2\} ; \quad (4)$$

$$Y1 = \begin{cases} 1, & \text{если СФЗ удовлетворяет требованиям НПА} \\ 0, & \text{если СФЗ не удовлетворяет требованиям НПА} \end{cases} ; \quad (5)$$

$$Y2 = \begin{cases} 1, & \text{если } E \geq E_{\text{тр}} \\ 0, & \text{если } E < E_{\text{тр}} \end{cases} , \quad (6)$$

где Y1 – условие 1;

Y2 – условие 2;

∩ – знак логической конъюнкции;

E – значение показателя эффективности СФЗ;

E_{тр} – требуемое (минимально допустимое) значение эффективности СФЗ.

Принятие решения об эффективности системы физической защиты с использованием критерия оптимальности

Принятие решения о том, что СФЗ сможет достичь своего целевого предназначения, возможно и другими способами.

Логика и теория принятия решений в этом случае предлагает подход, основанный на следующих рассуждениях.

СФЗ объектов использования атомной энергии – уникальная система, создаваемая проектным путем с учетом специфики объекта. Любые два различных

Таблица

Численные значения описательных градаций вербально-числовой шкалы Харрингтона
Numerical values of descriptive gradations of the Harrington verbal-numerical scale

№	Содержательное описание градаций	Вербально-числовая шкала Харрингтона
1	очень высокая	0,8–1
2	высокая	0,64–0,8
3	средняя	0,37–0,64
4	низкая	0,2–0,37
5	очень низкая	0–0,2

объекта использования атомной энергии имеют различные СФЗ, отличающиеся пространственными размерами, особенностями рельефа, климата, особенностями тактики действий сил охраны и многими другими особенностями.

При создании комплекса ИТСФЗ на этапе концептуального проектирования, разработки проекта создания либо модернизации СФЗ разработчик может следовать логике создания комплекса ИТСФЗ по принципу достижения максимальной эффективности. Обоснованием достижения СФЗ максимальной эффективности при этом должны быть анализ возможных вариантов построения СФЗ и результаты проведения натурных испытаний в виде учений формирования, составляющих силы охраны.

В этом случае реализацию регулирующего решения при применении комбинированного подхода к регулированию [10, 20–21] можно сформулировать в виде следующего критерия.

СФЗ можно считать эффективной, то есть способной выполнить свое целевое предназначение, в случае одновременного выполнения двух условий:

- условие 1: выполнение предписывающих требований к СФЗ, заданных действующими нормативными и правовыми актами;
- условие 2: значение эффективности, полученное в результате оценки, должно быть максимальным либо входить в область достижимых максимальных значений.

Одновременное выполнение этих двух условий соответствует реализации концепции оптимальности теории принятия решений [8–9, 13].

Выполнение условия 1 проверяется оценкой состояния [22].

Выполнение условия 2 проверяется методикой оценки эффективности СФЗ [7, 23].

Критерий оптимальности можно записать в виде соотношения:

$$\text{Критерий 2} = \{Y1 \cap Y2\}; \quad (7)$$

$$Y1 = \begin{cases} 1, & \text{если СФЗ удовлетворяет требованиям НПА} \\ 0, & \text{если СФЗ не удовлетворяет требованиям НПА} \end{cases}; \quad (8)$$

$$Y2 = \begin{cases} 1, & \text{если } E = E_{\text{макс}} \\ 0, & \text{если } E < E_{\text{макс}} \end{cases}, \quad (9)$$

где $Y1$ – условие 1;

$Y2$ – условие 2;

\cap – знак логической конъюнкции;

E – значение показателя эффективности СФЗ;

$E_{\text{макс}}$ – максимальное (максимально возможное) значение эффективности СФЗ.

Выводы

1. Процедура обоснования МДЗ показателя эффективности недостаточно проработана, и эта проблема остается пока нерешенной как в теоретическом аспекте, так и в части практической реализации. В то же время предусмотрена и действует особая процедура выработки решения об эффективности СФЗ. До разработки и введения в действие порядка установления МДЗ показателя (показателей) эффективности СФЗ руководителем ЯО должно быть утверждено обоснованное заключение о достаточности полученного значения показателя (показателей) эффективности СФЗ. Если такое решение утверждено, СФЗ также считается эффективной.

2. Возможно применение критерия эффективности, основанного на базе концепции оптимальности и заключающегося в том, что регулирующее решение о признании СФЗ эффективной и способной решить поставленные перед ней задачи возможно принять в случае одновременного выполнения двух условий:

- выполнения предписывающих требований к СФЗ, предусмотренных действующими нормативными и правовыми актами в области физической защиты;
- реализации организационных и технических мер, обеспечивающих достижение СФЗ максимальной эффективности (области максимально достижимых значений).

3. С целью исключения неопределенности в реализации указанных подходов к принятию регулирующих решений целесообразно разработать руководство по безопасности при использовании атомной энергии, разъясняющее порядок и условия использования критериев для принятия регулирующих решений с использованием программных средств, модельных расчетов, результатов анализа эффективности, а также разработать предложения по внесению изменений в федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии по вопросу формирования требований к СФЗ ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов.

Литература

1. Об использовании атомной энергии: Федер. закон Российской Федерации от 21.11.1995 № 170-ФЗ.
2. Об утверждении Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов: Постановление Правительства Российской Федерации от 19.07.2007 № 456.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов (НП-083-15): утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.09.2015 № 343.
4. Петровский Н. П., Пинчук Г. Н., Кузин В. В. Применение критериев эффективности в регулировании физической защиты объектов использования атомной энергии // *Ядерная и радиационная безопасность*. 2013. № 2 (68). С. 7–15.
5. Измайлов А. В. Методы проектирования и анализа эффективности систем физической защиты ядерных материалов и установок. – М.: МИФИ, 2002.
6. Олейник А. С. Методы оценки эффективности защиты критически важных объектов // *Вестник Московского университета МВД России*. 2017. № 4. С. 280–286.
7. Nuclear Security Assessment Methodologies for Regulated Facilities. Final Report of a Coordinated Research Project. IAEA-TECDOC-1868. – IAEA, Vienna, 2019. – 147 p.
8. Семёнов С. С., Полтавский А. В., Маклаков В. В., Крянев А. В. Обзор методов принятия решений при разработке сложных технических систем // *Надежность*. 2014. № 3. С. 72–96.
9. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. – М.: АСТ, 2007. – 460 с.
10. Крупчатников Б. Н. О некоторых особенностях регулирования физической ядерной безопасности // *Ядерная и радиационная безопасность*. 2011. № 3 (61). С. 3–15.
11. Крупчатников Б. Н. О некоторых тенденциях регулирования физической ядерной безопасности // *Ядерная и радиационная безопасность*. 2018. № 1 (87). С. 3–10.
12. Гераскин Н. И. Критерии безопасности, оценка эффективности и риска в задачах защиты ядерных объектов и материалов: уч. пособие. – М.: МИФИ, 2008. – 96 с.
13. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / Т. 3: Эффективность технических систем. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
14. Балдин К. В. Управленческие решения: учебник / ред.-сост. К. В. Балдин, С. Н. Воробьев, В. Б. Уткин. – 7-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2012. – 496 с.
15. Адлер Ю. П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: «Наука», 1971.
16. Пичкалев А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // *Исследования наукограда*. 2012. № 1. С. 25–28.
17. Умывакин В. М., Бородин А. А., Линник Е. А., Швец А. В. Вероятностно-квалиметрические модели интегральной оценки эффективности функционирования военно-технических систем // *Воздушно-космические силы. Теория и практика*. 2017. № 1 (1). С. 164–171.
18. Линник Е. А., Боталов В. В., Умывакин В. М., Швец А. В. Оценка эффективности функционирования военно-технических систем в вероятностно-квалиметрической шкале // *Актуальные проблемы вооруженной борьбы в воздушно-космической сфере: сб. науч. ст. по материалам междунар. военно-научной конф. в 2 ч. / Воронеж, 13–14 апреля 2017, ВУНЦ ВВС «ВВА»*. – Воронеж, 2017. Ч. 2. С. 74–81.
19. Harrington E. C., Jr. The desirability functions. *Industrial quality control* // 1965 / vol. 21, 10. P. 494–498.
20. Physical protection of nuclear material and nuclear facilities (INFCIRC/225/Revision 5) / IAEA. Description: Vienna, IAEA, 2013. Series: IAEA nuclear security series, no. 13.
21. Physical protection of nuclear material and nuclear facilities (implementation of INFCIRC/225/Revision 5) / IAEA. Description: Vienna: IAEA, 2018. Series: IAEA nuclear security series, ISSN 1816–9317; no. 27-G.
22. Об утверждении Порядка осуществления ведомственного контроля за обеспечением физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов: приказ Госкорпорации «Росатом» от 27.09.2017 № 1/27-НПА.

23. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по проведению оценки эффективности систем физической защиты объектов использования атомной энергии. РБ-157-19: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.01.2019 № 32.

References

1. Federal'nyi zakon Rossiiskoi Federatsii ot 21.11.1995 № 170-FZ "Ob ispol'zovanii atomnoi ehnergii" [Federal law of the Russian Federation No. 170 dated 21.11.1995 "On the use of atomic energy"]. 1995.
2. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 19.07.2007 № 456 "Ob utverzhdenii Pravil fizicheskoi zashchity yadernykh materialov, yadernykh ustanovok i punktov khraneniya yadernykh materialov" [Decree of the Government of the Russian Federation dated 19.07.2007 No. 456 "Rules for the physical protection of nuclear materials, nuclear installations and nuclear materials storage facilities"]. 2007.
3. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii "Trebovaniya k sistemam fizicheskoi zashchity yadernykh materialov, yadernykh ustanovok i punktov khraneniya yadernykh materialov" (NP-083-15) [Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy "Requirements for systems of physical protection of nuclear materials, nuclear facilities and nuclear materials storage" (NP-083-15)]. 2015.
4. Petrovskii N. P., Pinchuk G. N., Kuzin V. V. Primenenie kriteriev ehffektivnosti v regulirovanii fizicheskoi zashchity ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii [Application of effectiveness criteria in regulation of physical security of nuclear facilities]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost'* – Nuclear and Radiation Safety Journal, 2013, no. 2 (68), pp. 7–15 [in Russian].
5. Izmailov A. V. (2002). *Metody proektirovaniya i analiza ehffektivnosti sistem fizicheskoi zashchity yadernykh materialov i ustanovok* [Methods of designing and analyzing the effectiveness of systems of physical protection of nuclear materials and installations]. Moscow: "MEPhI" [in Russian].
6. Oleinik A. S. *Metody otsenki ehffektivnosti zashchity kriticheskikh ob'ektov* [Methods of Evaluating the Effectiveness of the Protection of Critical Facilities]. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii* – Moscow University of the Ministry of Internal Affairs, 2017, no. 4, pp. 280–286 [in Russian].
7. Nuclear Security Assessment Methodologies for Regulated Facilities. Final Report of a Coordinated Research Project. IAEA-TECDOC-1868. IAEA, Vienna, 2019, 147 p.
8. Semenov S. S., Poltavskii A. V., Maklakov V. V., Kryanev A. V. *Obzor metodov prinyatiya reshenii pri razrabotke slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Review of decision-making methods in the development of complex technical systems]. *Nadezhnost'* – Reliability, 2014, no. 3, pp. 72–96 [in Russian].
9. Petukhov G. B., Yakunin V. I. (2007). *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlennykh sistem* [Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems]. Moscow: "AST" [in Russian].
10. Krupchatnikov B. N. *O nekotorykh osobennostyakh regulirovaniya fizicheskoi yadernoi bezopasnosti* [On some features of regulation of nuclear security]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost'* – Nuclear and Radiation Safety Journal, 2011, no. 3 (61), pp. 3–15 [in Russian].
11. Krupchatnikov B. N. *O nekotorykh tendentsiyakh regulirovaniya fizicheskoi yadernoi bezopasnosti* [On some trends in the regulation of nuclear security]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost'* – Nuclear and Radiation Safety Journal, 2018, no. 1 (87), pp. 3–10 [in Russian].
12. Geraskin N. I. (2008). *Kriterii bezopasnosti, otsenka ehffektivnosti i riska v zadachakh zashchity yadernykh ob'ektov i materialov* [Security criteria, efficiency and risk assessment in the tasks of protecting nuclear facilities and materials: textbook]. Moscow: "MEPhI" [in Russian].
13. *Nadezhnost' i ehffektivnost' v tekhnike: spravochnik v 10 t. / T. 3: Ehffektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Reliability and efficiency in engineering (handbook in 10 vol. Vol. 3: Efficiency of technical systems)]. Moscow: Mechanical Engineering, 1988 [in Russian].
14. Baldin K. V. (2012). *Upravlencheskie resheniya: uchebnik* [Managerial decisions (textbook)]. Moscow: Publishing and Trading Corporation "Dashkov & Co." [in Russian].
15. Adler Yu. P. et al. (1971). *Planirovanie ehksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii* [Experiment planning in the search for optimal conditions]. Moscow: "Science" [in Russian].

16. Pichkalev A. V. Obobshchennaya funktsiya zhelatel'nosti Kharringtona dlya sravnitel'nogo analiza tekhnicheskikh sredstv [Generalized harrington desirability function for comparative analysis of technical means]. Issledovaniya naukoigrada – Research of science city, 2012, no. 1, pp. 25–28 [in Russian].

17. Umyvakin V. M., Borodin A. A., Linnik E. A., Shvets A. V. Veroyatnostno-kvalimetricheskie modeli integral'noi otsenki ehffektivnosti funktsionirovaniya voenno-tekhnicheskikh sistem [Probabilistic-qualimetric models of integral evaluation of the effectiveness of the functioning of military-technical systems]. Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika – Aerospace forces. Theory and practice, 2017, no. 1 (1), pp. 164–171 [in Russian].

18. Linnik E. A., Botalov V. V., Umyvakin V. M., Shvets A. V. (2017). Otsenka ehffektivnosti funktsionirovaniya voenno-tekhnicheskikh sistem v veroyatnostno-kvalimetricheskoi shkale. Aktual'nye problemy vooruzhennoi bor'by v vozdushno-kosmicheskoi sfere (sb. nauch. st. po materialam mezhdunar. voenno-nauchnoi konf. v 2 ch., Voronezh, 13–14 aprelya 2017 g.) [Evaluation of the effectiveness of the functioning of military-technical systems in the probabilistic-qualimetric scale. Actual problems of armed struggle in the aerospace sphere (collection of scientific articles based on the materials of the International, military-scientific conference, Voronezh, April 13–14)]. Voronezh: VUNTS of the Air Force “VVA” [in Russian].

19. Harrington E. C., Jr. The desirability functions. Industrial quality control, 1965, vol. 21, 10, pp. 494–498.

20. Physical protection of nuclear material and nuclear facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA. Description: Vienna, IAEA, 2013. Series: IAEA nuclear security series, no. 13.

21. Physical protection of nuclear material and nuclear facilities (implementation of INFCIRC/225/Revision 5), IAEA. Description: Vienna: IAEA, 2018. Series: IAEA nuclear security series, ISSN 1816–9317; no. 27-G.

22. Prikaz Goskorporatsii “Rosatom” no. 1/27-NPA “Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya vedomstvennogo kontrolya za obespecheniem fizicheskoi zashchity yadernykh materialov, yadernykh ustanovok i punktov khraneniya yadernykh materialov” [Order of the State Corporation “Rosatom” no. 1/27-NPA “The procedure for the implementation of departmental control over the physical protection of nuclear materials, nuclear installations and storage facilities of nuclear materials”]. 2017.

23. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomendatsii po provedeniyu otsenki ehffektivnosti sistem fizicheskoi zashchity ob"ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii” (RB-157-19) [Safety guidelines for the use of atomic energy “Recommendations for evaluating the effectiveness of physical protection systems for nuclear energy facilities” (RB-157-19)]. 2019.

Сведения об авторах

Гареев Максим Джонович, начальник отдела учета, контроля, физической защиты ядерных материалов и радиоактивных веществ, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Егоров Александр Александрович, начальник лаборатории отдела учета, контроля, физической защиты ядерных материалов и радиоактивных веществ, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Зырянов Денис Константинович, научный сотрудник отдела учета, контроля, физической защиты ядерных материалов и радиоактивных веществ, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Смирнов Владимир Владимирович, старший научный сотрудник отдела учета, контроля, физической защиты ядерных материалов и радиоактивных веществ, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Authors credentials

Gareev Maxim Dzhonovich, Head of Department of Accounting, Control and Physical Protection of Nuclear and Radioactive Material, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 building 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: gareev@secnrs.ru.

Egorov Alexander Alexandrovich, Head of Laboratory of Department of Accounting, Control and Physical Protection of Nuclear and Radioactive Material, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 building 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: egorov@secnrs.ru.

Zyrianov Denis Constantinovich, Scientific Researcher of Department of Accounting, Control and Physical Protection of Nuclear and Radioactive Material, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 building 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: zyrianov@secnrs.ru.

Smirnov Vladimir Vladimirovich, Senior Scientific Researcher of Department of Accounting, Control and Physical Protection of Nuclear and Radioactive Material, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 building 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: vsmirnov@secnrs.ru.

Для цитирования

Гареев М. Д., Егоров А. А., Зырянов Д. К., Смирнов В. В. Применение различных критериев эффективности физической защиты ядерных объектов // Ядерная и радиационная безопасность. 2022. № 3 (105). С. 5–14. DOI: 10.26277/SECNRS.2022.105.3.001.

For citation

Gareev M. D., Egorov A. A., Zyrianov D. K., Smirnov V. V. Application of various criteria for the effectiveness of physical protection of nuclear facilities. Nuclear and Radiation Safety Journal, 2022, no. 3 (105), pp. 5–14. DOI: 10.26277/SECNRS.2022.105.3.001 [in Russian].

