

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ
К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭВЕНТУАЛЬНЫХ УГРОЗ**

**METHODOLOGICAL PRINCIPLES FOR ASSESSING OF OBJECTS
TO THE IMPACT OF EVENTUAL THREATS**

*Д-р техн. наук, С.И. Шабунин, канд. техн. наук А.Ю. Кондратьев,
канд. техн. наук П.А. Лапшин, С.С. Рогожин*

D.Sc. S.I. Shabunin, Ph.D. A.Yu. Kondratyev, Ph.D. P.A. Lapshin, S.S. Rogozhin

В статье представлены методические принципы оценки устойчивости ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) к воздействию эвентуальных угроз. Определен подход к оценке устойчивости объектов к воздействию эвентуальных угроз на основе расчета показателей устойчивости функциональных объектов. В качестве показателя устойчивости функциональных объектов предложено рассматривать потенциал реализации угроз, отражающий функциональную зависимость между вероятностью реализации угрозы и ущербом от реализации данной угрозы — временем необходимым для восстановления ЯРОО (ликвидации последствий) после реализации угрозы. Для оценки уровня комплексной безопасности (устойчивости ЯРОО в целом к воздействию всего спектра угроз) разработаны подходы к агрегированию (свертке) значений показателей устойчивости на всех уровнях иерархической структуры. Определены критерии уровня устойчивости объектов. Изложенный методический подход позволяет успешно решать задачи по оценке достигнутого, мониторингу текущего и прогнозированию возможного уровня устойчивости функциональных объектов при воздействии угроз.

Ключевые слова: система комплексной безопасности, эвентуальные угрозы, опасности, вызовы, функциональные объекты, классификатор угроз.

The article presents methodological principles for assessing the stability of nuclear and radiation-hazardous facilities to the impact of eventual threats. An approach to assessing the stability of objects to the impact of eventual threats is defined based on the calculation of the stability indicators of functional objects. As an indicator of the stability of functional objects, it is proposed to consider the potential for the implementation of threats, reflecting the functional dependence between the probability of the implementation of the threat and the damage from the implementation of this threat — the time required for the restoration of the nuclear power plant (elimination of consequences) after the implementation of the threat. To assess the level of integrated security (the resistance of the NAR as a whole to the impact of the entire spectrum of threats), approaches to aggregation (convolution) of the values of stability indicators at all levels of the hierarchical structure have been developed. The criteria for the level of stability of objects are defined. The described methodological approach allows us to successfully solve the tasks of assessing what has been achieved, monitoring the current and predicting the possible level of stability of functional objects under the influence of threats.

Keywords: integrated security system, eventual threats, hazards, challenges, functional objects, threat classifier.

Вводная часть

Методика оценки устойчивости ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) к воздействию эвентуальных угроз разработана в рамках развития методологии обеспечения комплексной безопасности ЯРОО [1].

Под устойчивостью ЯРОО к воздействию эвентуальных угроз понимается способность выполнения объектом задач по предназначению как в обычных условиях, так и с учетом возможности реализации различных угроз, а также проведения восстановительных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий реализации угрозы [3–5].

Перечень потенциальных угроз функционированию ЯРОО определяется на основе анализа условий их функционирования, возможных техногенных, природных и других видов внешних воздействий, совокупности подлежащих контролю (мониторингу, инспектированию, измерению и т.д.) параметров, характеризующих состояние функциональных подсистем и выявлению тех из них, критические значения которых могут привести к реализации соответствующих угроз [6–9].

Для систематизации угроз в [2] разработан классификатор, имеющий многоуровневую структуру и состоящий из классов, подклассов, групп, подгрупп и элементов угроз безопасности ЯРОО.

Основная часть

В рамках разработки методического аппарата оценки комплексной безопасности ЯРОО введено понятие «Потенциал реализации угрозы»: произведение вероятности реализации угрозы на значение определяющего параметра с учетом тяжести последствий реализации угрозы. Используя данный подход, в качестве показателя устойчивости функциональных объектов H примем значение потенциала реализации угроз, воздействующих на объект, где в качестве определяющего параметра используем математическое ожидание времени необходимого для восстановления способности ЯРОО к выполнению задач после реализации угрозы (времени проведения мероприятий по ликвидации последствий). Тогда выражение для нахождения показателя устойчивости функциональных объектов H_{ijk} при реализации k -ой угрозы в ходе выполнения j -го

мероприятия в рамках i -го вида деятельности запишется в виде:

$$H_{ijk} = P_{ijk} M_{TB_{jk}}(U_{ЯРОО}), \quad (1)$$

где P_{ijk} — вероятность реализации k -ой угрозы в ходе выполнения j -ого мероприятия в рамках i -ого вида деятельности;

$M_{TB_{jk}}$ — математическое ожидание времени необходимого для восстановления способности ЯРОО к выполнению задач после реализации k -ой угрозы в ходе выполнения j -ого мероприятия в рамках i -ого вида деятельности (определяющий параметр);

$U_{ЯРОО}$ — ущерб от реализации угрозы (тяжесть последствий реализации угрозы).

Перечень видов деятельности ЯРОО определяется на основе анализа процессов функционирования объекта и их декомпозиции.

Значение P_{ijk} вычисляется по формуле Пуассона [10]:

$$P_{ijk} = 1 - e^{-\lambda_{ijk}}, \quad (2)$$

где λ_{ijk} — частота реализации k -ой угрозы в ходе выполнения j -ого мероприятия в рамках i -ого вида деятельности (в течение года);

t — период времени, в течение которого наблюдается реализация угроз, год (лет).

Для расчетов значений вероятности реализации угрозы по формуле (2) необходимо проведение сбора и обобщения статистических данных по реализации данных угроз, либо проведение экспериментов с использованием инструмента имитационного моделирования.

Значение M_{TB} времени, необходимого для восстановления способности ЯРОО к выполнению задач после реализации угрозы определяется:

- на основе статистических данных по результатам учений либо ликвидации последствий реальных аварий (нештатных ситуаций);
- на основе нормативов, определенных в нормативных документах;
- по результатам имитационного моделирования различных сценариев по реализации угроз и ликвидации их последствий.

Ущерб от реализации угрозы (тяжесть последствий реализации угрозы) $U_{ЯРОО}$ зависит от объектов воздействия угроз и может быть следующих видов:

U_{ϕ} — функциональный ущерб — снижение возможности ЯРОО выполнять задачу по предназначению;

U_M — материальный ущерб — ущерб от уничтоженных элементов ЯРОО и затраты на восстановление поврежденных элементов ЯРОО;

U_{Π} — ущерб персоналу — определяется количеством раненного и погибшего в результате воздействия угрозы и ликвидации ее последствий персонала.

Таким образом, показатель устойчивости функциональных объектов H отражает функциональную зависимость между вероятностью реализации угрозы и ущербом от реализации данной угрозы — временем необходимым для восстановления ЯРОО (ликвидации последствий) после реализации угрозы. Следовательно, значение потенциала реализации угрозы может применяться в качестве показателя устойчивости ЯРОО к воздействию угроз.

Как было отмечено, показатель устойчивости функциональных объектов H_{ijk} соответствует k -ой угрозе в ходе выполнения j -ого ме-

роприятия в рамках i -ого вида деятельности, т.е. принадлежит многоуровневой иерархической структуре. Для определения уровня комплексной безопасности (устойчивости ЯРОО в целом к воздействию всего спектра угроз) необходимо проведение агрегирования (свертки, обобщения) значений показателей устойчивости.

Агрегирование (обобщение) значений H_{ijk} осуществляется отдельно для каждой компоненты формулы (1) на каждом уровне иерархии (на k -ом уровне угроз, на j -ом уровне мероприятий и на i -ом уровне видов деятельности). В частности, значения вероятностей реализации угрозы агрегируются с помощью частного случая формулы Бернулли, обеспечивающей вычисления по схеме «ИЛИ», т.е. предполагается, что любая угроза на любом уровне иерархии может быть реализована. В свою очередь, агрегированные значения математического ожидания времени необходимого для восстановления способности ЯРОО к выполнению задач после реализации угрозы определяются как среднее арифметическое на каждом уровне иерархии ЯРОО. В табл. 1 приведены зависимости, используемые

Таблица 1

Зависимости, используемые для агрегирования (обобщения) значений H_{ijk} на каждом уровне иерархии ЯРОО

Уровни иерархии ЯРОО	Зависимости для расчета агрегированных значений		
	H	P	M_{TB}
j -ый уровень мероприятий в рамках i -ого вида деятельности ЯРОО	$H_{ij} = P_{ij} M_{TB_{ij}}$	$P_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^N (1 - P_{ijk})$	$M_{TB_{ij}} = \frac{\sum_{k=1}^N M_{TB_{ijk}}}{N}$ N — количество угроз, реализующихся в ходе выполнения j -ого мероприятия в рамках i -ого вида деятельности ЯРОО
i -ый уровень видов деятельности ЯРОО	$H_i = P_i M_{TB_i}$	$P_i = 1 - \prod_{j=1}^M (1 - P_{ij})$	$M_{TB_i} = \frac{\sum_{j=1}^M M_{TB_{ij}}}{Q}$ Q — количество мероприятий в рамках i -ого вида деятельности ЯРОО
ЯРОО в целом (показатель, определяющий уровень устойчивости ЯРОО к воздействию угроз)	$H_{ЯРОО} = P_{ЯРОО} M_{TB_{ЯРОО}}$	$P_{ЯРОО} = 1 - \prod_{i=1}^L (1 - P_i)$	$M_{TB_{ЯРОО}} = \frac{\sum_{i=1}^L M_{TB_i}}{L}$ L — количество видов деятельности ЯРОО

Значения показателя устойчивости для оценки уровня устойчивости ЯРОО

Значение потенциала реализации угроз	Уровень КБ ЯРОО	Уровень устойчивости ЯРОО
$H < 10^{-6}$	НОРМА	УСТОЙЧИВ
$10^{-6} \leq H < 10^{-5}$	ВЫЗОВ	УСТОЙЧИВ
$10^{-5} \leq H < 10^{-4}$	ОПАСНОСТЬ	ЧАСТИЧНО УСТОЙЧИВ
$H \geq 10^{-4}$	УГРОЗА	НЕУСТОЙЧИВ

для агрегирования (обобщения) значений H_{ijk} на каждом уровне иерархии ЯРОО.

Диапазоны значений потенциалов реализации угроз используются для оценки уровня комплексной безопасности ЯРОО, который может находиться в одном из состояний: «НОРМА», «ВЫЗОВ», «ОПАСНОСТЬ», «УГРОЗА». Для нормирования уровня устойчивости функциональных объектов необходимо определить критерии соответствующие каждому уровню. Исходя из предложенного подхода по оценке уровня комплексной безопасности ЯРОО, в качестве таких критериев целесообразно использовать значения показателя устойчивости ЯРОО представленные в табл. 2.

Выводы

Задачей дальнейших исследований является уточнение критериев оценки устойчивости ЯРОО к воздействию всех видов возможных угроз.

Проведение изложенных выше оценок может служить для оценки эффективности организационно-технических мер, направленных на нейтрализацию угроз. Анализ формулы (1) показывает, что повышение уровня устойчивости объектов может быть достигнуто:

- снижением значения вероятности реализации угроз путем реализации мер (организационно-технических мероприятий), направленных на устранение причин (предупреждение) реализации угроз;

- снижением времени ликвидации последствий реализации угроз (нахождения объекта в состоянии, не позволяющем выполнять задачи по предназначению) путем совершенствования планирования мероприятий по ликвидации последствий реализации угроз;

- снижением ущерба от реализации угроз путем применения дополнительных защитных

мер в отношении персонала и объектов реализации угроз.

Литература

1. Кондратьев А.Ю., Шабунин С.И., Рябов В.В., Рогожин С.С. Методологические принципы формирования и функционирования системы комплексной безопасности структурных подразделений Министерства обороны Российской Федерации, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты. Вопросы обороной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: НТЦ «Информтехника». — СПб.: Любавич. 2020. № 3–4 (141–142). С. 85–91.

2. Кондратьев А.Ю., Томашевский Л.Г. Методические аспекты деятельности по выявлению, систематизации и классификации угроз структурным подразделениям Министерства обороны Российской Федерации, эксплуатирующим ядерно и радиационно опасные объекты. Вопросы обороной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: НТЦ «Информтехника». — СПб.: Любавич. 2018. № 11–12 (125–126). С. 36–45.

3. Рябов В.В., Подкорытов Ю.А. Математическая модель динамики макроскопических характеристик систем однотипных военных объектов // Стратегическая стабильность. № 3. 2017. С. 32–38.

4. Рябов В.В., Подкорытов Ю.А., Ложкин Е.В., Ольхов О.В. Метод сравнительной оценки эффективности систем охраны и обороны военных объектов на основе концепций безопасности, риска, полезности и прогнозирования катастрофических событий // Стратегическая стабильность. № 3. 2017. С. 39–46.

5. Рябов В.В., Подкорытов Ю.А. Метод обновления критериев устойчивости функциони-

рования систем военных объектов // Стратегическая стабильность. № 4. 2017. С. 2–6.

6. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. — М.: Наука. 1986. 494 с.

7. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты. — М.: Мир. 2003. 386 с.

8. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска. — М.: Физматлит. 2011. 591 с.

9. Малинецкий Г.Г. Управление риском и редкие катастрофические события // Математическое моделирование. Т. 14. № 8. 2002. С. 107–112.

10. Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А. Справочник по вероятностным расчетам. — М.: Воениздат. 1970. 536 с.

References

1. Kondratiev A.Yu., Shabunin S.I., Ryabov V.V., Rogozhin S.S. Methodological principles of the formation and functioning of the integrated security system of structural units of the Ministry of Defense of the Russian Federation, operating nuclear and radiation hazardous facilities. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu.* — М.: NTTs «Informtekhnika». — SPb: Lyubavich. 2020. № 3–4 (141–142). P. 85–91.

2. Kondratiev A.Yu., Tomashevsky L.G. Methodical aspects of activities to identify, systematize and classify threats to structural units of the Ministry of Defense of the Russian

Federation operating nuclear and radiation hazardous facilities. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu.* — М.: NTTs «Informtekhnika». — SPb: Lyubavich. 2018. № 11–12.(126–127). P. 36–45.

3. Ryabov V.V., Podkorytov Y.A. Mathematical model of the dynamics of macroscopic characteristics of systems of the same type of military objects // *Strategic stability.* № 3. 2017. P. 32–38.

4. Ryabov V.V., Podkorytov Y.A., Lozhkin E.V., Olkhov O.V. Method for comparative evaluation of the effectiveness of systems for the protection and defense of military facilities on the basis of security concepts, risk, usefulness and forecasting catastrophic events // *Strategic stability.* № 3. 2017. P. 39–46.

5. Ryabov V.V., Podkorytov Y.A. Method of justification criteria of stability of functioning of systems of military objects // *Strategic stability.* № 4. 2017. P. 2–6.

6. Roberts F.S., Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems. — М.: Nauka. 1986. 494 p.

7. Garcia M. Design and evaluation of physical protection systems. — М.: Mir. 2003. 386 p.

8. Korolev V.Yu., Bening V.E., Shorgin S.J. Mathematical foundations of the theory of risk. — М.: Физматлит. 2011. 591 p.

9. Malinetskii G.G. Risk Management and rare catastrophic events // *Mathematical Modeling.* Vol. 14. № 8. 2002. P. 107–112.

10. Abezgaуз G.G., Tron A.P., Kopenkin Yu.N., Krovina I.A. Handbook of probabilistic calculations. — Moscow: Voениzdat. 1970. 536 p.