

Научная статья
УДК: 004.056
DOI: 10.26583/bit.2025.1.03

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ В ПОСТГАРАНТИЙНЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Владимир Л. Евсеев¹, Игорь Ю. Жуков², Александр Ж. Низамов³

^{1,2}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское ш., 31, Москва, 115409, Россия,

³Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Ленинградский пр-кт, 49/2, Москва, 125167, Россия,

¹VLEvseev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3283-3106>

²i.zhukov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4429-8799>

³azhnizamov@fa.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4373-3597>

Аннотация. Рассматриваются проблемы постгарантийной эксплуатации автоматизированных систем охраны (АСО) объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Разработана статистическая модель изменения уровня надежности АСО объектов ТЭК при длительной эксплуатации, представляющая собой суперпозицию двух законов распределения интенсивности неисправностей: экспоненциального и Вейбулла. Данная модель позволяет выполнять оценку технического состояния систем охраны в период их длительной эксплуатации. Обосновывается выбор вероятности безотказной работы систем охраны в качестве показателя надежности, являющейся частью более широкого понятия – эффективность. Для оценки эффективности систем охраны выбран метод вероятностных ориентированных графов, позволяющий адекватно описывать логическую последовательность происходящих событий в сложном процессе функционирования систем охраны, учесть имеющуюся статистику по данному процессу и отразить взаимосвязь подсистем конкретного типа при выполнении задач охраны объектов. Оценена динамика изменения эффективности АСО объектов и объектов с большим периметром (ОБП) охраны при длительной эксплуатации. Разработана методика, позволяющая определять временные зависимости показателей эффективности АСО и по их изменению оценивать техническое состояние этих систем применительно к любому периоду эксплуатации. Расчеты показали, что точность оценок показателей эффективности систем охраны предложенным методом, на основе статистических данных полученных в ходе эксплуатации АСО объектов, составляет порядка 2,5...3,0%. При этом, разработанный аналитический метод, основанный на статистической модели изменения надежности элементов АСО, не требует накопления новой статистики и обеспечивает с приемлемой точностью прогноз изменения эффективности системы охраны для произвольного момента времени. Проведенное исследование показало, что значительное количество неисправностей в АСО происходит в период времени их эксплуатации, равным 1,5...2,0 гарантийных сроков. Приведены основные причины, приводящим к увеличению интенсивности неисправностей АСО объектов ТЭК, находящихся в период постгарантийной эксплуатации.

Ключевые слова: *постгарантийная эксплуатация, системы охраны, статистическая модель, показатели надежности систем охраны, период эксплуатации, метод вероятностных ориентированных графов, интенсивность неисправностей.*

Для цитирования: *Евсеев, Владимир Л.; Жуков, Игорь Ю.; Низамов, Александр Ж. Исследование надежности систем охраны объектов в постгарантийный период эксплуатации. Безопасность информационных технологий, [S.l.], т. 32, № 1, с. 54–67, 2025. ISSN 2074–7136. URL: <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1745>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2025.1.03>.*

Scientific article

STUDY OF THE RELIABILITY OF SECURITY SYSTEMS OF FACILITIES DURING THE POST-WARRANTY PERIOD OF OPERATION

Vladimir L. Evseev¹, Igor Y. Zhukov², Alexander Zh. Nizamov³

^{1,2}National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute),
Kashirskoe shosse, 31, Moscow, 115409, Russia

³Financial University under the Government of the Russian Federation, 49/2 Leningradsky Ave.,
Moscow, 125167, Russia

¹VLEvseev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3283-3106>

²i.zhukov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4429-8799>

³azhnizamov@fa.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4373-3597>

Abstract. The problems of post-warranty operation of automated security systems (ASO) of fuel and energy complex facilities are considered. The statistical model of change in the reliability level of ASO of fuel and energy complex facilities during long-term operation, which is a superposition of two laws of fault intensity distribution: exponential and Weibull, is developed. This model allows us to assess the technical state of security systems during their long-term operation. The choice of the probability of failure-free operation of security systems as an indicator of reliability, which is part of a broader concept - efficiency, is justified. The method of probabilistic oriented graphs is chosen to evaluate the efficiency of security systems, which allows to adequately describe the logical sequence of events in the complex process of functioning of security systems, to take into account the available statistics on this process and to reflect the interrelation of subsystems of a particular type in the performance of tasks of security objects. The changes dynamics in the effectiveness of ASO objects and objects with a large perimeter of protection during long-term operation is estimated. A methodology has been developed that allows to determine the time dependencies of ASO efficiency indicators and to estimate the technical state of these systems for any period of operation based on their changes. The calculations have shown that the accuracy of estimation of security systems efficiency indicators by the proposed method, based on statistical data obtained during the operation of ASO facilities, is about 2.5...3.0%. Thus, the developed analytical method, based on the statistical model of reliability change of ASO elements, does not require accumulation of new statistics and provides with acceptable accuracy of the change forecast of security system efficiency for an arbitrary moment of time. The conducted research has shown that a significant number of malfunctions in ASO occurs during the period of their operation equal to 1.5...2.0 warranty periods. The main reasons leading to the increase in the intensity of faults in ASO of fuel and energy complex facilities during the post-warranty operation period are given.

Keywords: *post-warranty operation, security systems, statistical model, reliability indicators of security systems, operation period, method of probabilistic oriented graphs, fault intensity.*

For citation: *Evseev, Vladimir L.; Zhukov, Igor Y.; Nizamov, Alexander Zh. Study of the reliability of security systems of facilities during the post-warranty period of operation. IT Security (Russia), [S.l.], v. 32, no. 1, p. 54–67, 2025. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1745>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2025.1.03>.*

Введение

Автоматизированные системы охраны (АСО) объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) представляют собой совокупность технических средств охраны (ТСО), автоматизированной системы управления, средств обнаружения, системы электропитания, систем передачи информации между участками периметра и постом охраны. ТСО – это территориально распределенные автоматизированные системы управления: вибрационные; проводноволновые; емкостные; оптико-электронные; радиолучевые; и другие. Основными составляющими АСО объектов являются элементы предупреждения, датчики (системы) обнаружения, элементы (системы) поражения и электроснабжения. Датчики (системы)

обнаружения используются различных типов: емкостные, оптические, радиоэлектронные и другие. Принцип их действия основан на изменении соответствующего параметра внешней среды (емкости, условий распространения оптических лучей, электромагнитных свойств) в районе расположения датчиков (систем) при приближении к ним движущегося объекта, фиксации этих изменений и передачи сигналов на пульт оператора. В период эксплуатации их характеристики ухудшаются. Элементы (системы) поражения применяют различного принципа действия: неуправляемые и управляемые минные поля; электризуемые заграждения; средства огневого поражения и т.д. На удаленных объектах ТЭК в системах охраны периметра используются различного рода инженерные заграждения, механические препятствия, предупредительные ограждения и заборы, которые составляют линейную часть системы охраны. Такие заграждения, в большинстве случаев, сочетаются с техническими средствами охраны.

Улучшение эффективности и качества составляющих ТСО невозможно без повышения надежности элементов АСО объектов. Недостаточная надежность элементов АСО приводит к значительному увеличению эксплуатационных затрат по сравнению с общими затратами на проектирование, производство и применение этих систем. В конечном счете, надежность АСО объектов, являющаяся важнейшим комплексным свойством системы охраны, определяется надежностью комплектующих элементов. Поэтому определение оценок показателей надежности элементов АСО объектов в процессе их эксплуатации является важнейшим этапом. Применяют два основных метода анализа надежности систем охраны: априорный, выполняющийся на стадии проектирования, и апостериорный, проводящийся на основании статистической обработки экспериментальных данных о работоспособности технических систем, полученных в процессе их эксплуатации, который и используют в постгарантийный период эксплуатации АСО. Целью апостериорного анализа является получение оценок показателей надежности систем охраны. В условиях ограниченных средств на поддержание систем охраны в работоспособном состоянии, требуется систематически оценивать их готовность к применению, особенно в период постгарантийной эксплуатации. В основе оценок лежат статистические данные по отказам и неисправностям АСО объектов ТЭК, зафиксированные при эксплуатации за определенный период, которые составляют исходные данные (ИД) для оценки текущего технического состояния систем охраны и его прогнозирования во времени. Указанные ИД поступают в центральную службу охраны от АСО объектов согласно принятому в службе сводному донесению по неисправностям оборудования АСО объектов ТЭК. Основным показателем надежности систем охраны является средняя частота появления неисправностей в них [1]. В результате обработки ИД по каждой подсистеме АСО достоверно становятся известны: среднее количество неисправностей; суммарные затраты времени на восстановление работоспособного состояния; общее число контролируемых подсистем. Оценкой интенсивности неисправностей является вероятность возникновения неисправностей за некоторый промежуток времени при условии, что до этого момента неисправностей не было [1, 2].

Поэтому актуальность разработки методики оценки эффективности функционирования АСО объектов ТЭК в постгарантийный период, на основе статистики их длительной эксплуатации, не вызывает сомнений.

1. Статистическая модель изменения уровня надежности АСО объектов ТЭК при длительной эксплуатации

Постгарантийному периоду эксплуатации АСО объектов ТЭК присущи отказы и неисправности, обусловленные процессами изнашивания и старения систем, что значительно снижает их функциональную готовность к применению.

Особенности эксплуатации АСО объектов ТЭК [1]:

- при эксплуатации систем охраны в их подсистемах и агрегатах происходят неисправности двух типов: внезапные, связанные с неисправностями элементов по причине скрытых в них производственных дефектов; и постепенные, вызванные старением и износом;
- элементы систем охраны функционируют и в помещениях, и на открытых площадках;
- в процессе эксплуатации систем охраны выполняются регламентные работы с заменой комплектующих, проводятся доработки, что приводит к неравномерности наработок различных систем охраны;

Все эти особенности эксплуатации АСО объектов ТЭК в интегрированном виде содержатся в сводных донесениях об отказах при обработке информации о неисправностях систем. Считается, что в постгарантийном периоде эксплуатации действуют и внезапные, и постепенные неисправности [1]. Основным показателем в модели неисправностей выступает показатель надежности.

Для определения плотности распределения показателя надежности АСО объектов используем выражение (1) и, по статистическим данным интенсивности возникновения неисправностей в подсистемах АСО для каждого промежутка времени, равного одному году, была построена гистограмма [1].

$$\lambda_{cp} = \frac{1}{T_{cp}} = \frac{\sum_{\varepsilon=1}^d n_{\varepsilon}}{\sum_{\varepsilon=1}^d \frac{n_{\varepsilon}}{\lambda_{\varepsilon}}} = \frac{\sum_{\varepsilon=1}^d n_{\varepsilon}}{\sum_{\varepsilon=1}^d N_{\varepsilon} \Delta t}, \quad (1)$$

- где: λ_{cp} – осредненная величина интенсивности возникновения неисправностей;
 T_{cp} – средний срок службы исследуемых однотипных подсистем;
 n_{ε} – неисправность какого-либо источника (ε) в однотипных подсистемах АСО;
 λ_{ε} – усредненная величина интенсивности возникновения неисправностей по d источникам информации;
 N – количество однотипных подсистем;
 Δt – заданное время испытаний.

Полученная гистограмма распределения интенсивности неисправностей подсистем АСО объектов ТЭК от времени эксплуатации была аппроксимирована кривой интенсивности неисправностей $\lambda_i(t)$, рис. 1.

В ходе проведенного исследования показано, что статистическая модель изменения уровня надежности АСО объектов ТЭК при длительной эксплуатации представляет собой суперпозицию двух законов распределения интенсивности неисправностей, а именно: экспоненциального закона распределения и закона распределения Вейбулла. Оценка параметров этих законов была осуществлена сочетанием графоаналитического метода и итерационной процедуры обработки интенсивности неисправностей в период эксплуатации. Были определены статистические оценки показателей надежности. Погрешность предложенного способа – порядка 1,5...2,0 % [1].

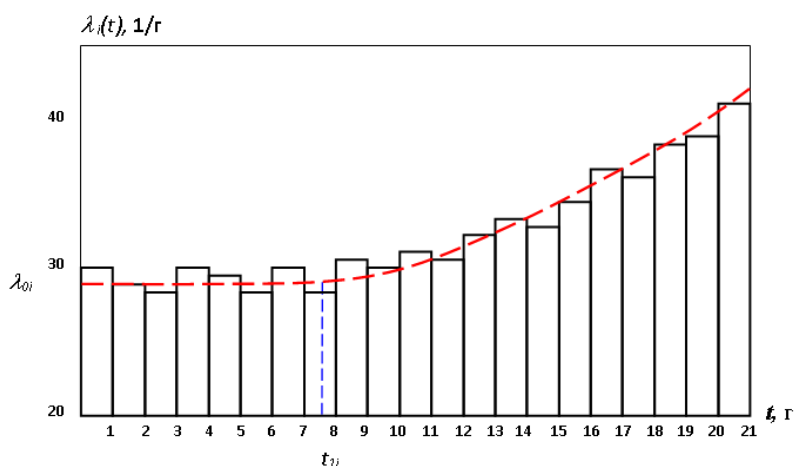


Рис. 1. Зависимость интенсивности неисправностей подсистем (агрегатов) АСО объектов ТЭК от времени эксплуатации

При длительной эксплуатации систем охраны параметры систем достигают предельных состояний, при которых их дальнейшая эксплуатация может быть прекращена из-за ухода заданных параметров за установленные пределы, или продлена. Следует отметить, что надежность является частью более широкого понятия – эффективность, как свойства систем охраны выполнять заданные функции с требуемым качеством.

Разработанная статистическая модель позволяет оценивать эффективность АСО объектов ТЭК в период их длительной эксплуатации.

2. Методика оценки эффективности функционирования АСО объектов ТЭК на основе статистических данных их длительной эксплуатации

Изменение интенсивности неисправностей, представленное на рис. 1, позволяет решать задачи определения текущего технического состояния АСО объектов ТЭК в постгарантийный период эксплуатации и оценивать возможности системы выполнять возложенные на нее функции с требуемым уровнем эффективности [2, 3].

Статистическая модель изменения уровня надежности АСО в условиях длительной эксплуатации, позволяет выполнять оценку технического состояния АСО объектов ТЭК [1, 3–5]. Целью данной оценки является проверка соответствия текущего значения эффективности ее заданному значению в тактико-техническом задании (ТТЗ) на разработку АСО.

Из выражения (1) следует, что для оценки показателя эффективности систем на различных этапах их эксплуатации требуется определить временные зависимости частных показателей элементов АСО и, в первую очередь, показателей надежности этих элементов. Последнее обусловлено тем, что длительная эксплуатация, приводящая к росту отказов и неисправностей, оказывает наиболее существенное влияние именно на эти показатели [4].

В качестве показателя надежности принята вероятность безотказной работы системы $R(t)$ за время несения службы (t_d) по охране одной сменой-караулом [1, 6]:

$$R(t) = e^{-\lambda t_d} \quad (2)$$

Применительно к рассматриваемым АСО объектов ТЭК указанное время составляет четверо суток (96 ч) или 0,011 года [1].

Следует отметить, что выбор $R(t)$ в качестве показателя надежности (а не другого параметра, например, наработки на отказ) обусловлен следующим: проверка на функционирование АСО объектов ТЭК при смене дежурных смен осуществляется в полном объеме с контролем основных параметров и устранением выявленных неисправностей, т.е.

новая смена заступает на дежурство с полностью исправной системой. Попытка же проникновения нарушителей на объект может быть предпринята в любой момент на интервале времени $\{0 < t < t_0\}$.

Интенсивность неисправностей для i -ой подсистемы АСО описывается в [1] выражением (15):

$$\lambda_i(t) = \lambda_{0i} + u(t - t_{1i}) \alpha_i \beta_i (t - t_{1i})^{\alpha_i - 1},$$

где:

$$u(t - t_{1i}) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_{1i}; \\ 1 & \text{при } t \geq t_{1i}. \end{cases}$$

В [1] выражение (15) описывает интенсивность отказов i -й подсистемы как функцию времени по характеру изменения, соответствующего графику на рис. 1. Подставляя данное выражение в уравнение (2), получим:

$$R_i(t_0) = e^{-[\lambda_{0i} + u(t - t_1) \alpha_i \beta_i (t - t_1)^{\alpha_i - 1}] t_0}. \quad (3)$$

В результате, получено значение вероятности безотказной работы любой из подсистем АСО в различные моменты времени их эксплуатации.

Ранее отмечалось, что надежность охватывает все стороны технической эксплуатации систем охраны и является частью более широкого понятия – эффективность.

Оценки динамики изменения эффективности АСО объектов ТЭК $\{\Phi_0(t)\}$ при длительной эксплуатации проведем для наиболее сложного случая – скрытого проникновения нарушителя (нарушителей) по земле к охраняемому объекту, при котором задействуются все подсистемы АСО. Следует отметить, что согласно ТТЗ эффективность систем охраны I-го и II-го типов должна составлять не менее 0,8 [1].

Проведенный анализ существующих методов оценки эффективности показал, что оценка эффективности может быть выполнена [7–9]:

- экспериментальным методом;
- методом стохастического моделирования случайных процессов функционирования систем;
- методами теоретико-игрового моделирования;
- экспертными методами оценки;
- аналитическим методом вероятностных ориентированных графов.

Экспериментальный метод отличается максимальной достоверностью и точностью оценки, но характеризуется значительными затратами, длительным временем получения показателя эффективности и, как следствие, сложностью в подготовке и исследовании варианта построения модернизируемой АСО. Отмеченные особенности ограничивают использование данного метода, делая возможным его применение на этапах методики выполнения измерений и государственных испытаний.

Метод стохастического моделирования требует значительного объема разнообразных статистических данных многомерного процесса функционирования АСО, а значит, также предполагает проведение дорогостоящих экспериментов по их накоплению.

Теоретико-игровые методы предназначены, в первую очередь, для исследования влияния воздействий нарушителей на эффективность функционирования АСО. При этом, главный для настоящего исследования вопрос влияния процессов старения и снижения надежности на эффективность АСО в рамках указанных методов становится второстепенным, а поэтому точность оценок с их помощью будет недостаточно высокой.

Применение экспертных методов всегда вносит элемент субъективизма и поэтому их использование сведено к минимуму. Это означает, что при наличии других методов оценки использование экспертных методов нецелесообразно.

Метод вероятностных ориентированных графов (орграфов) относится к числу аналитических методов оценки эффективности АСО, отличается наглядностью, приемлемым объемом вычислений и точностью оценки. Последнее обусловлено тем, что этот метод позволяет адекватно описать логическую последовательность происходящих событий в сложном процессе функционирования систем охраны, учесть всю имеющуюся статистику по данному процессу и отразить взаимосвязь подсистем АСО ТЭК конкретного типа при выполнении задач охраны объектов [10–12].

Воспользуемся методом вероятностных ориентированных графов для оценки эффективности АСО объектов ТЭК. Тогда орграф функционирования АСО I-го, II-го и III-го типов [1] будет иметь вид, приведенный на рис. 2.

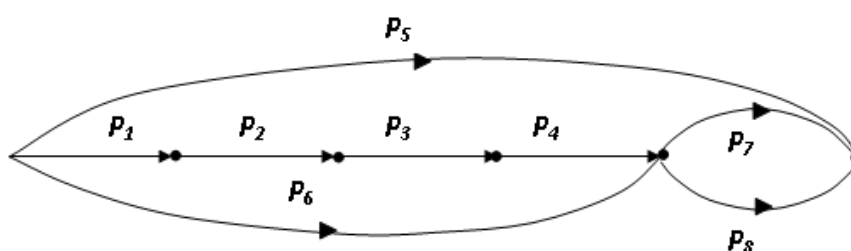


Рис. 2. Орграф АСО ТЭК I-го, II-го и III-го типов

Свертывая орграф, для оценки эффективности АСО, получим выражение:

$$\Phi_0 = P_5 + (1 - P_5) (P_1 P_2 P_3 P_4 + P_6 - P_1 P_2 P_3 P_4 P_6) (P_7 + P_8 - P_7 P_8). \quad (4)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$P_1 = R_{АЭП};$$

$$P_2 = R_{АУ};$$

$$P_3 = R_{ТСО1} P_{ТСО1} + R_{ТСО2} P_{ТСО2} - R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО2} P_{ТСО2} \text{ – для АСО I-го и II-го типов;}$$

$$P_3 = R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО2} P_{ТСО2} + R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО3} P_{ТСО3} +$$

$$+ R_{ТСО2} P_{ТСО2} R_{ТСО3} P_{ТСО3} - 2 R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО2} P_{ТСО2} R_{ТСО3} P_{ТСО3} \text{ – для АСО III-го типа;}$$

$$P_4 = P_0;$$

$$P_5 = R_{ЭЗ} P_{ЭЗ};$$

$$P_6 = P_{ОЛС};$$

$$P_7 = R_{БПУ} P_{БПУ};$$

$$P_8 = P_{ПЛС};$$

$R_{АЭП}$ – техническая надежность аппаратуры электропитания;

$R_{АУ}$ – техническая надежность аппаратуры управления;

$R_{ТСО1}$, $R_{ТСО2}$, $R_{ТСО3}$ – техническая надежность средств первого, второго и третьего рубежей обнаружения, включая электронные блоки и линейные части;

$P_{ТСО1}$, $P_{ТСО2}$, $P_{ТСО3}$ – вероятность обнаружения нарушителей первым, вторым и третьим рубежами ТСО;

P_0 – вероятность действий оператора системы в точном соответствии с инструкциями по охране объекта с АСО;

$R_{ЭЗ}$ – техническая надежность оборудования и линейной части электризуемого заграждения;

$P_{ЭЗ}$ – вероятность поражения нарушителей электризуемым заграждением;

$P_{ОЛС}$ – вероятность обнаружения нарушителей личным составом дежурной смены охраны (караулом) самостоятельно без сигналов тревоги, без средств обнаружения;

$R_{БПУ}$ – техническая надежность агрегатов башенной пулеметной установки;

$P_{БПУ}$ – вероятность поражения нарушителей огнем башенной пулеметной установки;

$P_{ПЛС}$ – вероятность поражения нарушителей дежурной сменой из личного оружия.

Значения вероятностей обнаружения нарушителей техническими средствами, вероятности поражения нарушителей электризуемым ограждением, огнем башенной пулеметной установки, вероятность точного выполнения инструкций составом дежурной смены получены по результатам полигонной отработки систем охраны и ее элементов, проведенных тренировок, учений [8–9, 13–15] и несения дежурства на АСО объектов ТЭК, а вероятность безотказной работы подсистем - из паспортов на технические средства и занесены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Значения показателей вероятности составных частей АСО I-го, II-го и III-го типов

| Обозначение параметра | $P_{ТСО1}$ | $P_{ТСО2}$ | $P_{ТСО3}$ | $P_{ЭЗ}$ | $P_{БПУ}$ | P_O | $P_{ОЛС}$ | $P_{ПЛС}$ |
|-----------------------|------------|------------|------------|----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| Значение параметра | 0,90 | 0,95 | 0,96 | 0,56 | 0,75 | 0,80 | 0,10 | 0,45 |

Таблица 2. Значения показателей надежности составных частей АСО I-го, II-го и III-го типов

| Обозначение параметра | $R_{ТСО1}$ | $R_{ТСО2}$ | $R_{ТСО3}$ | $R_{ЭЗ}$ | $R_{БПУ}$ | $R_{АУ}$ | $R_{АЭП}$ |
|-----------------------|------------|------------|------------|----------|-----------|----------|-----------|
| Значение параметра | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 0,96 | 0,97 |

Полученные по формуле (4) оценки показателя эффективности и динамика изменения эффективности АСО I-го типа при длительной эксплуатации системы представлены на рис. 3.

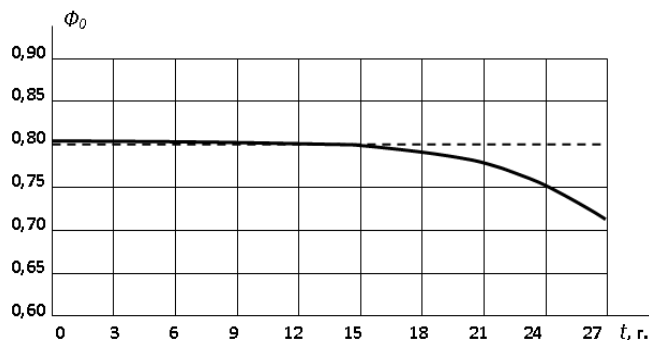


Рис. 3. Изменение эффективности АСО I-го типа при длительной эксплуатации системы

АСО ТЭК объектов с большим периметром (ОБП) построены по модульному принципу, имеющих несколько секторов охраны. Часть из них (например, 1-5) предназначена для охраны объекта по периметру территории и имеют идентичный состав средств и структуру построения рубежей охраны. В отдельные секторы выделяются зона въездных ворот на объект (6) и проходная потеря на территорию объекта под средствами охраны (7). В соответствии с этим [16, 17], эффективность АСО ОБП оценивается как среднее значение показателей эффективности всех секторов охраны:

$$\Phi_0(t) = \sum_{l=1}^m p_l \Phi_l(t), \quad (5)$$

где: m – число секторов в системе;

p_l – вероятность того, что нарушитель предпримет попытку проникновения на объект

в l -ом секторе системы $\sum_{l=1}^m p_l = 1$;

$\Phi_l(t)$ – эффективность l -го сектора системы.

В исследовании действия нарушителя учитываются в виде вектора математического ожидания его стратегии, поэтому вероятность p_l составит $p_l = 1/m$.

Как и ранее, оценка эффективности секторов $\Phi_l(t)$ и системы в целом проводится для случая скрытного проникновения нарушителей на объект по земле. При этом для первой группы секторов (1...5) оргграф имеет вид, приведенный на рис. 4 [1].

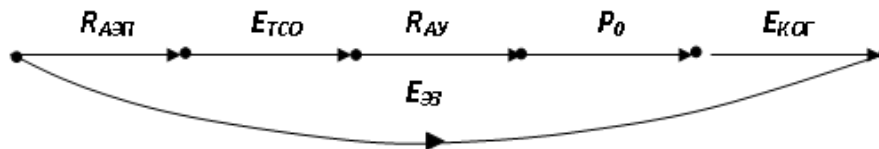


Рис. 4. Оргграф АСО ТЭК секторов (1...5)

Свертка оргграфа представляется выражением

$$\Phi_{0(1-5)} = R_{АЭП} E_{ТСО} R_{АУ} P_0 E_{КОГ} + E_{ЭЭ} - R_{АЭП} E_{ТСО} R_{АУ} P_0 E_{КОГ} E_{ЭЭ}, \quad (6)$$

где: $E_{ТСО} = R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО2} P_{ТСО2} + R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО3} P_{ТСО3} + R_{ТСО2} P_{ТСО2} R_{ТСО3} P_{ТСО3} - 2 R_{ТСО1} P_{ТСО1} R_{ТСО2} P_{ТСО2} R_{ТСО3} P_{ТСО3}$ – эффективность комплекса технических средств обнаружения в секторах (1-5);

$E_{КОГ} = P_{Пр} P_{З(У)}$ – эффективность действий контрольно-охранной группы дежурной смены;

$P_{Пр}$ – вероятность своевременного прибытия контрольно-охранной группы к месту нарушения;

$P_{З(У)}$ – вероятность задержания (уничтожения) контрольно-охранной группой нарушителя (нарушителей);

Для сектора ворот оргграф представлен на рис. 5.

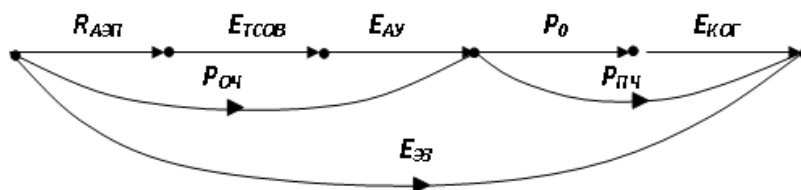


Рис. 5. Оргграф АСО ТЭК в секторе въездных ворот

Свертывая оргграф, получим:

$$\Phi_{0(6)} = (R_{АЭП} E_{ТСОВ} R_{АУ} + P_{ОЧ} - R_{АЭП} E_{ТСОВ} R_{АУ} P_{ОЧ})(P_0 E_{КОГ} + P_{ПЧ} - P_0 E_{КОГ} P_{ПЧ}) + E_{ЭЭ} - (R_{АЭП} E_{ТСОВ} R_{АУ} + P_{ОЧ} - R_{АЭП} E_{ТСОВ} R_{АУ} P_{ОЧ}) \times (P_0 E_{КОГ} + P_{ПЧ} - P_0 E_{КОГ} P_{ПЧ}) E_{ЭЭ}, \quad (7)$$

где: $E_{ТСОВ} = R_{ТСОВ} P_{ТСОВ}$ – эффективность средства обнаружения для блокирования ворот;

$R_{ТСОВ}$ – техническая надежность средства;

$P_{ТСОВ}$ – вероятность обнаружения нарушителей средством;

$P_{ОЧ}$ – вероятность обнаружения нарушителей в зоне ворот часовым огневого сооружения караульного помещения;

$P_{ПЧ}$ – вероятность поражения нарушителей часовым.

Для сектора проходной потерны оргграф показан на рис. 6.

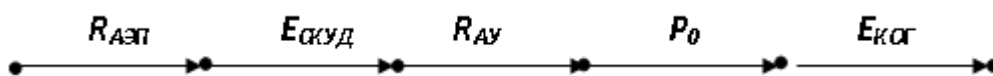


Рис. 6. Оргграф АСО ТЭК в секторе (7)

Свертывая оргграф, получим:

$$\Phi_{0(7)} = R_{АЭП} E_{СКУД} P_0 E_{КОГ}, \quad (8)$$

где: $E_{СКУД} = R_{СКУД} P_{СКУД}$ – эффективность системы контроля и управления доступом;
 $R_{СКУД}$ – техническая надежность систем контроля и управления доступом (СКУД);
 $P_{СКУД}$ – вероятность формирования СКУД сигнала тревоги при несанкционированном или неправильном наборе кода.

Как отмечалось ранее в [1], для систем охраны ОБП, также, как и для АСО III-го типа, в качестве основной характеристики в технических заданиях на разработку задается коэффициент сохранения эффективности:

$$K_{\Phi} = \Phi_{ОР} / \Phi_{ОИ}, \quad (9)$$

где: $\Phi_{ОР}$ – значение эффективности АСО с учетом реальной технической надежности ее подсистем (составных частей);

$\Phi_{ОИ}$ – значение эффективности АСО при абсолютной (идеальной) надежности ее элементов.

Для АСО ОБП коэффициент сохранения эффективности равен 0,98, а для АСО III-го типа – 0,96 [2].

Исходные значения параметров [8, 9, 13, 14] для расчетов показателей эффективности с помощью формул (6) – (8) приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Значения показателей вероятности я составных частей АСО ОБП

| Обозначение | $P_{ТСО1}$ | $P_{ТСО2}$ | $P_{ТСО3}$ | $P_{ТСОБ}$ | $P_{СКУД}$ | $P_{ЭЗ}$ | $P_{Пр}^{1,5}$ | $P_{Пр}^{2,4}$ | $P_{Пр}^3$ | $P_{Пр}^{6,7}$ | $P_{З(У)}$ | P_0 | $P_{ОЧ}$ | $P_{ПЧ}$ |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|----------------|----------------|------------|----------------|------------|-------|----------|----------|
| Значение | 0,95 | 0,9 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,65 | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,97 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,7 |

Примечание: Индексы при $P_{Пр}$ обозначают номера секторов в АСО ОБП.

Таблица 4. Значения показателей надежности составных частей АСО ОБП

| Обозначение параметра | $R_{ТСО1}$ | $R_{ТСО2}$ | $R_{ТСО3}$ | $R_{ТСОВ}$ | $R_{ЭЗ}$ | $R_{СКУД}$ | $R_{АУ}$ | $R_{АЭП}$ |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|----------|-----------|
| Значение параметра | 0,89 | 0,91 | 0,94 | 0,98 | 0,93 | 0,98 | 0,92 | 0,97 |

Результаты расчетов изменения коэффициента сохранения эффективности в зависимости от продолжительности эксплуатации АСО ОБП представлены на рис. 6.

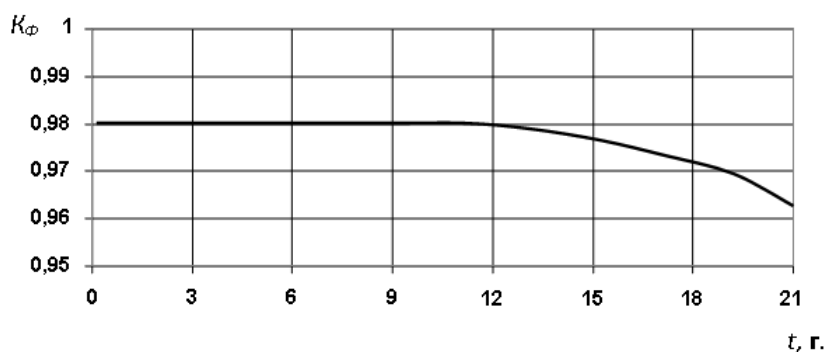


Рис. 6. Изменение коэффициента сохранения эффективности при длительной эксплуатации АСО ТЭК

Из вышеизложенного следует, что разработанная методика позволяет определять временные зависимости показателей эффективности АСО и по их изменению оценивать техническое состояние этих систем применительно к любому периоду эксплуатации.

Проведенные расчеты показали, что точность оценок показателей эффективности систем охраны предложенным методом и на основе статистических данных, полученных в ходе эксплуатации АСО объектов, составляет порядка 2,5...3,0%. При этом, разработанный аналитический метод, основанный на статистической модели изменения надежности элементов АСО [1], не требует накопления новой статистики и обеспечивает с приемлемой точностью прогноз изменения эффективности системы охраны для произвольного момента времени.

Как отмечалось ранее [1], снижение значений эффективности систем охраны при их длительной эксплуатации связано с ростом интенсивности неисправностей в АСО объектов ТЭК преимущественно в период постгарантийной эксплуатации.

Проведенное исследование показало, что значительное количество неисправностей в АСО происходит в период времени их эксплуатации, равным 1,5...2,0 гарантийных сроков. К основным причинам, приводящим к увеличению интенсивности неисправностей АСО объектов ТЭК, находящихся в период постгарантийной эксплуатации, следует отнести:

- практически полное израсходование запасных инструментов и принадлежностей (ЗИП) и невозможность его пополнения в связи с прекращением производства ряда комплектующих элементов и распадом ранее действующей кооперации предприятий-изготовителей АСО;
- использование в качестве ЗИП бывшего в эксплуатации оборудования АСО после их замены на новые или с ликвидируемых объектов;
- только аварийная замена комплектующих элементов и устройств подсистем АСО, включая и те, срок эксплуатации которых меньше срока эксплуатации систем;
- неполная укомплектованность штата подразделений эксплуатации АСО ТЭК и пополнение его по остаточному принципу;
- недостаточная глубина диагностирования подсистем АСО и снижение квалификации обслуживающего персонала при эксплуатации систем, не позволяющих предупреждать и выявлять неисправности при проведении регламентированных работ;
- сокращение финансирования поддержания систем в готовности к применению и поставок технических материальных средств для выполнения ремонтно-восстановительных работ на АСО.

Из вышеизложенного следует – предусмотренные системой эксплуатации АСО объектов ТЭК компенсационные меры, в период постгарантийной эксплуатации, не могут полностью обеспечить поддержание их в готовности к применению. Требуется значительная модернизация АСО объектов ТЭК в постгарантийный период эксплуатации.

Заключение

Основные выводы:

1. Исходными данными в методике оценки эффективности функционирования АСО объектов ТЭК на основе статистических данных их длительной эксплуатации, являются зависимости изменения интенсивностей неисправностей систем охраны при их эксплуатации.

2. Разработанная методика позволяет определять временные зависимости показателей эффективности АСО объектов ТЭК и по их изменению оценивать техническое состояние этих систем применительно к любому периоду эксплуатации. Новизна полученного результата состоит в том, что удалось корректно связать показатель эффективности с временем эксплуатации системы охраны. Предложенная методика характеризуется относительной погрешностью порядка 2,5...3,0%.

3. Определена тенденция изменения эффективности АСО объектов ТЭК с учетом изменения надежности (вероятности безотказной работы) ее подсистем. Показано, что снижение показателей эффективности систем охраны начинается при продолжительности ее эксплуатации свыше 1,5...2,0 гарантийных сроков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Арифиллин Марат В.; Евсеев Владимир Л. Анализ технического состояния автоматизированных систем охраны и мероприятий по поддержанию их в готовности к применению. Безопасность информационных технологий, [S.l.], т. 21, № 2, 2014. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/211> (дата обращения: 15.10.2024). – EDN: ZUYSVW.
2. Израилов К.Е., Буйневич М.В., Котенко И.В., Десницкий В.А. Оценивание и прогнозирование состояния сложных объектов: применение для информационной безопасности. Вопросы кибербезопасности. 2022, т. 52, № 6, с. 2–21. DOI: 10.21681/2311-3456-2022-6-2-21. – EDN: MXLFNB.
3. Бакшеев А.С., Лившиц И.И., Разработка методики контроля уровня защищенности информации объектов критической информационной структуры. Вопросы кибербезопасности. 2023, т. 54, № 2, с. 85–98. DOI:10.21681/2311-3456-2023-2-85-98. – EDN: KQLCWV.
4. Тихонов М.Р., Акуленок М.В., Шикун О.С. Разработка способов учета элементов технологического процесса при оценке его показателя безотказности. Современные наукоемкие технологии. 2024, № 9, с. 57–61. DOI: <https://doi.org/10.17513/snt.40148>. – EDN: CKNBOK.
5. Тихонов М.Р. Разработка математической модели экспертной системы обнаружения предвестников отказов на основе показателей надежности. Современные наукоемкие технологии. 2024, № 2, с. 26–31. DOI: 10.17513/snt.39927. – EDN: FVNURV.
6. Тихонов М.Р., Акуленок М.В., Шикун О.С. Разработка алгоритма расчета апостериорной вероятности безотказной работы оборудования в технологическом процессе. Современные наукоемкие технологии. 2024, № 7, с. 55–59. DOI: 10.17513/snt.40085. – EDN: KVPRXA.
7. Атакищев О.И., Грибунин В.Г., Борисенков И.Л., Лысачев М.Н. Метаграмматический подход анализа иерархий для синтеза систем безопасности атомных электростанций. Вопросы кибербезопасности. 2023, т. 53, № 1, с. 82–92. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-1-82-92. – EDN: XVBJDM.
8. Титов Д.В., Филипова Е.Е. Использование метода экспертных оценок при определении уровня защищенности информационной системы. Вопросы защиты информации. 2022, т. 137, № 2, с. 51–53. DOI: 10.52190/2073-2600-2022-2-51. – EDN: KYSIHX.
9. Астраханцева И.А., Горев С.В., Астраханцев Р.Г. Фрактальный анализ в оценке эффективности и надежности сложных технических систем. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2023, т. 76, № 46, с. 60–68. DOI: 10.6060/snt.20237604.0008. – EDN: NBDYHR.
10. Sang J., Wang Y. Graph convolution with topology refinement for automatic reinforcement learning in 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126621>.

11. Ma Y, Hao J, Yang Y, Li X, Jin J, Chen G. Spectral graph convolutional network for oriented graphs (2019). Spectral-based Graph Convolutional Network for Directed Graphs Preprint arXiv:1907.08990. arXiv:1907.08990v1 [cs.LG] 21 Jul 2019. DOI: <https://arxiv.org/pdf/1907.08990>.
12. Попов В.А., Чеповский А.А. О моделях построения графа взаимодействующих объектов в сети Telegram-каналов. Вопросы кибербезопасности. 2024, т. 61, № 3, с. 105–112. DOI: 10.21681/2311-3456-2024-3-105-112. – EDN: XKQYAS.
13. Любич И.И., Ковтун И.А. Научно-методический подход к оптимизации ошибки оценки скрытности объекта на монохромном телевизионном изображении. Вопросы защиты информации. 2023, т. 143, № 4, с. 42–45. DOI: 10.52190/2073-2600-2023-4-42. EDN: XFBFMP.
14. Александров А.Е., Клешнин Н.Г. Математическое моделирование кривых распределения вероятности обнаружения дефектов энергетики. Современные наукоемкие технологии. 2024, № 8, с. 10–21. DOI 10.17513/snt.40106. – EDN: ASLPIF.
15. Соловьев С.В., Язов Ю.К., Теплинских А.А. Математические модели для оценки показателей качества информационного обеспечения деятельности по технической защите информации. Вопросы кибербезопасности. 2023, т. 58, № 6, с. 81–95. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-81-95. – EDN: YPHFD.
16. Бондаренко Ю.А., Явурик О.В., Ломакин В.В. Применение инструментов предиктивной аналитики для прогноза восстановления крупногабаритного оборудования. Научный результат. Информационные технологии. 2024, т. 9, № 3, с. 10–18. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-3-0-2. – EDN: UOTIEW.
17. Прохоренков П.А., Репер Т.В., Елисеенков А.С. Модель многокритериальной оптимизации на основе равенства потерь критериев. Современные наукоемкие технологии. 2024, № 3, с. 76–81. DOI: 10.17513/snt.39949. – EDN: YVXMQJ.

REFERENCES:

- [1] Arifullin Marat V.; Yevseyev Vladimir L. The Analysis of Technical Condition of the Automated Systems of Protection and Actions for Their Maintenance in Readiness for Application. IT Security (Russia), [S.l.], v. 21, no. 2, 2014. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/211> (accessed: 15.10.2024). – EDN: ZUYSVW (in Russian).
- [2] Izrailov K., Buinevich M., Kotenko I., Desnitsky V. Assessment and prediction of the complex objects state: application for information security. Cybersecurity issues. 2022, v. 52, no. 6, p. 2–21. DOI:10.21681/2311-3456-2022-6-2-21. – EDN: MXLFNB (in Russian).
- [3] Bakshev A.S., Livshits I.I., Development of a methodology for monitoring the level of information security of objects of critical information objects. Cybersecurity issues. 2023, v. 54, no. 2, p. 85–98. DOI:10.21681/2311-3456-2023-2-85-98. – EDN: KQLCWV (in Russian).
- [4] Tikhonov M.R., Akulenok M.V., Shikula O.S. Development of methods for taking into account the elements of the technological process in assessing its reliability index. Modern high-tech technologies. 2024, no. 9, p. 57–61. DOI: <https://doi.org/10.17513/snt.40148>. – EDN: CKNBOK (in Russian).
- [5] Tikhonov M.R. Development of a mathematical model of an expert system for detecting precursors of failures based on reliability indicators. Modern high-tech technologies. 2024, no. 2, p. 26–31. DOI: 10.17513/snt.39927. – EDN: FVNURV (in Russian).
- [6] Tikhonov M.R., Akulenok M.V., Shikula O.S. Development of an algorithm for calculating the a posteriori probability of failure-free operation of equipment in the technological process. Modern high-tech technologies. 2024, no. 7, p. 55–59. DOI: 10.17513/snt.40085. – EDN: KVPRXA (in Russian).
- [7] Atakishchev O.I., Gribunin V.G., Borisenkov I.L., Lysachev M.N. Metagrammatic approach of hierarchy analysis for the synthesis of safety systems of nuclear power plants. Cybersecurity issues. 2023, v. 53, no. 1, p. 82–92. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-1-82-92. – EDN: XVBJDM (in Russian).
- [8] Titov D.V., Filipova E.E. The use of the method of expert assessments in determining the level of security of an information system. Information security issues. 2022, v. 137, no. 2, p. 51–53. DOI: 10.52190/2073-2600-2022-2-51. – EDN: KYSIHX (in Russian).
- [9] Astrakhantseva I.A., Gorev S.V., Astrakhantsev R.G. Fractal analysis in evaluating the effectiveness and reliability of complex technical systems. Modern high-tech technologies. Regional application. 2023, v. 76, no. 46, p. 60–68. DOI: 10.6060/snt.20237604.0008. EDN: NBDYHR (in Russian).
- [10] Sang J., Wang Y. Graph convolution with topology refinement for automatic reinforcement learning in 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126621>.
- [11] Ma Y, Hao J, Yang Y, Li X, Jin J, Chen G. Spectral graph convolutional network for oriented graphs (2019). Spectral-based Graph Convolutional Network for Directed Graphs Preprint arXiv:1907.08990. arXiv:1907.08990v1 [cs.LG] 21 Jul 2019. DOI: <https://arxiv.org/pdf/1907.08990>.
- [12] Popov V.A., Chepovsky A.A. About models to construct a graph of interacting objects in a network of telegram channels. Cybersecurity issues. 2024, v. 61, no. 3, p. 105–112. DOI: 10.21681/2311-3456-2024-3-105-112. – EDN: XKQYAS (in Russian).

- [13] Lyubchich I.I., Kovtun I.A. Scientific and methodological approach to optimizing the error in assessing the secrecy of an object on a monochrome television image. Information security issues. 2023, v. 143, no. 4, p. 42–45. DOI: 10.52190/2073-2600-2023-4-42. – EDN: XFBFMP (in Russian).
- [14] Alexandrov A.E., Kleshnin N.G. Mathematical modeling of probability distribution curves for detecting energy defects. Modern high-tech technologies. 2024, no. 8, p. 10–21. DOI: 10.17513/snt.40106. – EDN: ASLPIF (in Russian).
- [15] Solovyov S.V., Yazov Yu.K., Teplinskikh A.A. Mathematical models for assessing the quality indicators of information support for technical information protection activities. Cybersecurity issues. 2023, v. 58, no. 6, p. 81–95. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-81-95. – EDN: YHPHFD (in Russian).
- [16] Bondarenko Yu.A., Yavurik O.V., Lomakin V.V. Application of predictive analytics tools for predicting the recovery of large-sized equipment. Scientific result. Information technology. 2024, v. 9, no. 3, p. 10–18. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-3-0-2. – EDN: UOTIEW (in Russian).
- [17] Prokhorenkov P.A., Reger T.V., Eliseenkov A.S. Multicriterial optimization model based on equality of criteria losses. Modern high-tech technologies. 2024, no. 3, p. 76–81. DOI: 10.17513/snt.39949. – EDN: YVXMJQ (in Russian).

*Статья поступила в редакцию 06.11.2024; одобрена после рецензирования 25.12.2024;
принята к публикации 15.01.2025*

*The article was submitted 06.11.2024; approved after reviewing 25.12.2024;
accepted for publication 15.01.2025*