

Методы поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием и ремонтом техники

А.К. Беляев¹, Е.Г. Царькова²

¹ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет», Тверь*

² *Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1, Москва*

Аннотация: В работе рассматривается модель управления надежностью охранного оборудования с применением методов оптимального управления и интеллектуального анализа данных. Приводится алгоритм нахождения стратегии управления техническим обслуживанием и ремонтом, обеспечивающей поддержку принятия решений в широком диапазоне изменения параметров системы. Исследована возможность автоматизации поиска оптимальных решений задачи повышения надежности охранного оборудования на примере информационной системы анализа и предиктивной диагностики технических объектов ИС «Аналитик», а также рассмотрены перспективы применения нейроруавления в задачах повышения надежности сложных технических систем.

Ключевые слова: система охраны, надёжность технических систем, оптимальное управление, необходимые условия оптимальности, нейроруавление.

При эксплуатации систем безопасности охраняемых объектов, в том числе, в условиях террористической напряженности и ухудшения криминогенной обстановки, на ведущую позицию выходят вопросы обеспечения их надежности [1]. Согласно [2-4] надёжность отражает способность технической системы выполнять и обеспечивать во времени предусмотренные проектные функции в заданных режимах и условиях применения по назначению, а также в периоды технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Вопросы выработки принципов проектирования систем безопасности, в том числе, с учетом аспектов надежности охранного оборудования рассматривались в исследованиях В.И. Сумина, А.В. Мельникова, А.К. Крахмалева, А.М. Омелянчука, В.В. Волхонского, С.В. Кучумарова, А.В. Леуса, Г.Е. Шепитько, В.А. Дурденко, Э.И. Абалмазова и др. [4, 5]. В работах современников отсутствуют постановки процессов оптимизации надежности охранных систем в виде задачи оптимального управления, в то

же время разработка и применение методов диагностирования состояния охранного оборудования и оптимального управления его надежностью позволит создать эффективный механизм поддержки принятия решений в области осуществления технического обслуживания эксплуатируемой техники.

Рассмотрим модель непрерывно контролируемой в процессе эксплуатации охранной системы с периодическим техническим обслуживанием. Введем обозначения: 1 – работоспособное состояние (готовность к работе), 2 – техническое обслуживание, 3 – скрытый отказ (до проведения технического обслуживания) (рис. 1).

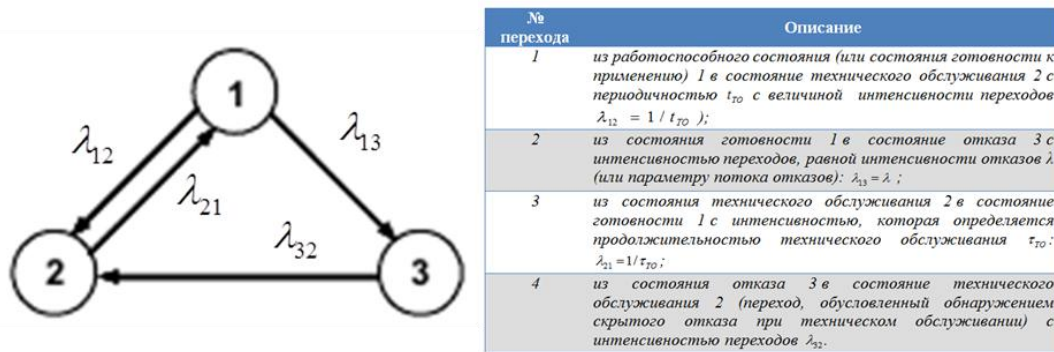


Рис. 1. – Граф состояний объекта

Единственное работоспособное состояние технического объекта – состояние готовности к работе 1, в связи с чем основной показатель надежности – вероятность данного состояния P_1 . При анализе технического риска основной параметр – вероятность отказа $Q = P_3$. Параметры $t_{TO}, \lambda, \tau_{TO}$, интенсивности переходов $\lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{21}$ могут быть определены по результатам испытаний либо задаваться регламентом технического обслуживания, в связи с чем при построении модели считаем их известными. Система дифференциальных уравнений, соответствующая графу состояний технической системы, представленному на рис. 1, имеет вид [4]:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\left(\lambda + \frac{1}{t_{TO}}\right)P_1(t) + \frac{1}{\tau_{TO}}P_2(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \frac{1}{t_{TO}}P_1(t) - \frac{1}{\tau_{TO}}P_2(t) + \frac{1 + \lambda t_{TO}}{\lambda t_{TO}^2}P_3(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - \frac{1 + \lambda t_{TO}}{\lambda t_{TO}^2}P_3(t). \end{cases} \quad (1)$$

В силу линейной зависимости системы (1) используем нормирующее условие: $P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1$ и дополняем систему начальными условиями: $P_1(0) = 1, P_2(0) = P_3(0) = 0$.

Вероятность нахождения системы в состоянии готовности зависит от периодичности технического обслуживания t_{TO} . Построим графики зависимости P_1 от значений параметра t_{TO} , задавая значения интенсивности отказов λ равными $10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, а значения длительности технического обслуживания τ_{TO} равными 5, 10, 20 ч., соответственно (рис. 2).

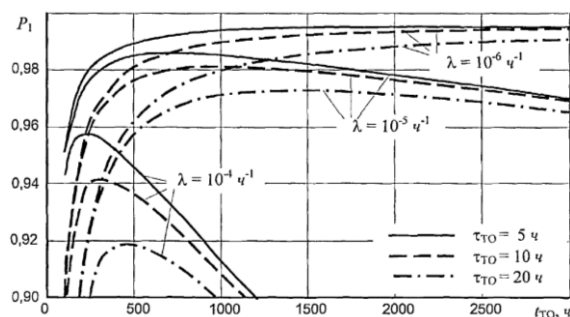


Рис. 2. – Зависимость вероятности состояния готовности охранной системы от периодичности технического обслуживания

С учетом наличия экстремума, существование которого отслеживается на графиках, заключаем, что при некоторых значениях λ и τ_{TO} существует периодичность технического обслуживания, которая является оптимальной, а также может быть найдено предельное максимальное значение вероятности состояния готовности объекта [6, 7].

Для установившегося режима эксплуатации охранной системы становится возможным решение задачи оптимизации надежности [8, 9]. Полагая, что при построения оптимальной стратегии управления надежностью охранной системы периодичность технического обслуживания τ_{TO} , выбранная в качестве управляющего параметра, может изменяться во времени, вводим следующие обозначения:

$$x_1(t) = P_1(t), \quad x_2(t) = P_2(t), \quad u(t) = \frac{1}{t_{TO}}, \quad t \in [0, T], \quad \mu = \frac{1}{\tau_{TO}}.$$

С учетом введенных обозначений приходим к задаче оптимального управления, где целью решения задачи является минимизация вероятности нахождения охранной системы в неработоспособном состоянии во временном промежутке от 0 до T.

Требуется минимизировать функционал:

$$I(u) = \int_0^T e^{-\delta t} (1 - x_1(t) - x_2(t)) dt \quad (2)$$

при динамических ограничениях:

$$\dot{x}_1 = -(\lambda + u(t))x_1(t) + \mu x_2(t), \quad t \in [0, T], \quad (3)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{\lambda} u^2(t) x_1(t) - \left(\mu + u(t) + \frac{1}{\lambda} u^2(t) \right) x_2(t) + \left(\frac{1}{\lambda} u(t) + 1 \right) u(t), \quad t \in [0, T],$$

с начальными условиями:

$$x_1(0) = X_1^0, \quad x_2(0) = X_2^0, \quad u(0) = Y^0, \quad (4)$$

при ограничении на управление:

$$0 \leq u(t) \leq Y_{\max}, \quad t \in [0, T]. \quad (5)$$

Заметим, что сложность математического аппарата, используемого при аналитическом моделировании процессов управления надежностью охранных систем, связана с фактором непредсказуемости, случайным характером внешних факторов (погодных условий, параметров эксплуатации, помеховой обстановки и др.), которые могут оказать влияние на

работоспособность охранной системы и не учтены в рассматриваемой модели. Для учета в модели управления надежностью таких стохастических явлений и их компенсации введем в модель нейроуправление – дополнительное управление процессом при помощи искусственной нейронной сети [10, 11]. Тем самым вводим в рассмотрение систему, в которой помимо классического управления используется нейроуправление, позволяющее корректировать управляющую стратегию при наличии помех, шумов, дополнительных случайных факторов, оказывающих влияние на построение оптимальной стратегии управления работоспособностью охранной системы. Используемый подход позволяет строить адаптивную систему управления, способную оперативно реагировать на возникновение случайных факторов, снижающих надежность системы и обеспечивающую возможность компенсировать случайные негативные явления для получения оптимальной стратегии управления техническим обслуживанием охранного оборудования.

С учетом ввода в процесс искусственной нейронной сети (ИНС) динамика рассматриваемого управляемого объекта может быть описана системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1 = -(\lambda + u(t))x_1(t) + \mu x_2(t) + G_1 \left(\sum_{j=1}^2 w_{1j}(t)x_j(t) - \psi_1 \right), \quad (6)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{\lambda} u^2(t)x_1(t) - \left(\mu + u(t) + \frac{1}{\lambda} u^2(t) \right) x_2(t) + \left(\frac{1}{\lambda} u(t) + 1 \right) u(t) + G_2 \left(\sum_{j=1}^2 w_{2j}(t)x_j(t) - \psi_2 \right),$$

где $w_{ij}(t)$ – весовые коэффициенты искусственной нейронной сети, ψ_1, ψ_2 – заданные величины, в общем случае зависящие от времени, $t \in [0, T]$.

В предложенной постановке задачи правая часть дифференциальных уравнений описывает как классическое управляющее воздействие, так и вводит управление динамической системой посредством ИНС с функцией

активации $G_i \left(\sum_{j=1}^2 w_{ij}(t)x_j(t) - \psi_i \right) = G_i(t, x(t), w(t))$, где ψ_i – величина сдвига аргумента, $i=1,2$.

Для решения данной задачи может быть применена ее дискретная аппроксимация с использованием явных разностных схем, введены сопряженные переменные p и построены приближенные траектории [9]. В результате дискретной аппроксимации из условий стационарности функции Лагранжа в дискретной задаче оптимального управления, с применением метода проекции градиента может быть построено приближенное решение задачи управления надежностью охранной системы. Для реализации алгоритма построения численного решения задачи автором разработан алгоритм численного метода (рис. 3).

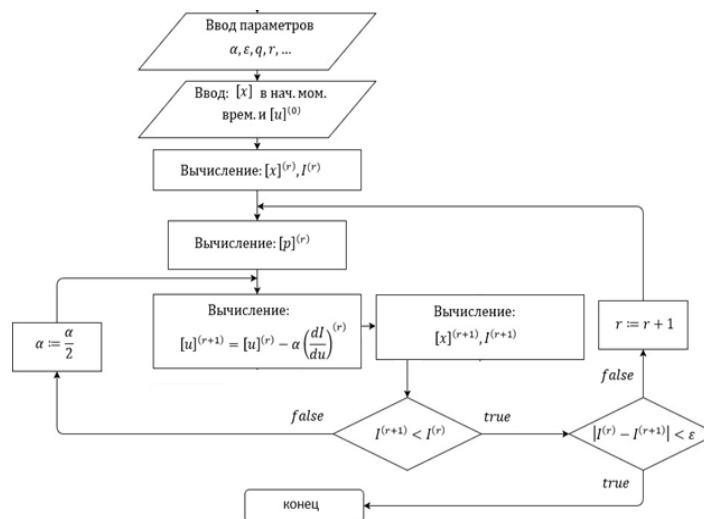
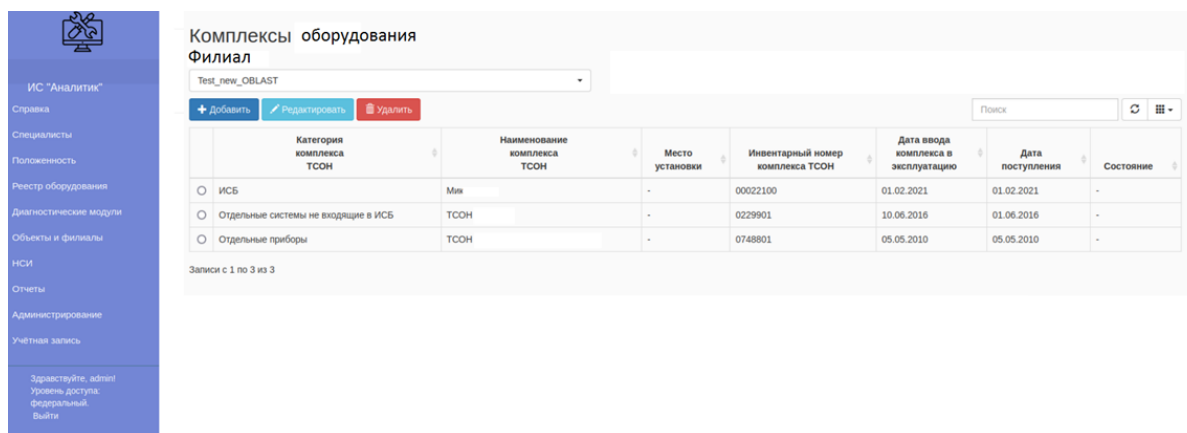


Рис. 3. – Блок-схема алгоритма градиентного метода решения задачи

Программная реализация алгоритма осуществлена в информационной системе анализа и предиктивной диагностики технических объектов ИС «Аналитик». Система состоит из приложения, разработанного на языке программирования C# с использованием фреймворка ASP .NET Core MVC. Для работы с данными используется СУБД PostgreSQL. Визуализация

статистических данных осуществляется с использованием Open Source BI системы Apache Superset. Графический пользовательский интерфейс ИС «Аналитик» представлен на рис. 4.



Категория комплекса ТСОИ	Наименование комплекса ТСОИ	Место установки	Инвентарный номер комплекса ТСОИ	Дата ввода комплекса в эксплуатацию	Дата поступления	Состояние
ИСБ	Мик	-	00022100	01.02.2021	01.02.2021	-
Отдельные системы не входящие в ИСБ	ТСОИ	-	0229901	10.06.2016	01.06.2016	-
Отдельные приборы	ТСОИ	-	0748801	05.05.2010	05.05.2010	-

Рис. 4. – Пользовательский интерфейс ИС «Аналитик»

Данное программное обеспечение представляет собой единую интеллектуальную платформу для сбора, хранения, отображения и анализа различной диагностической информации с целью повышения надежности эксплуатации и эффективности обслуживания и ремонта всего парка технологического оборудования на основании сведений о его фактическом и прогнозируемом техническом состоянии. Система реализует широкий спектр градиентных методов оптимизации, а также инструментов интеллектуального анализа данных. Использование в моделировании надежности охранных систем методов оптимального управления и их программная реализация в рамках единой интеллектуальной платформы ИС «Аналитик» является эффективным инструментом, позволяющим находить оптимальные стратегии управления надежностью в широком диапазоне изменения параметров. Нейроуправление позволяет создать адаптивную систему управления с возможностью компенсации случайных факторов с помощью предобученной искусственной нейронной сети. Предложенный в

работе программный продукт имеет широкие перспективы практического применения и может быть использован при проектировании и модернизации охранных систем как средство, позволяющее не только находить оптимальную стратегию управления техническим обслуживанием охранного оборудования, но и прогнозировать отказы системы охраны, а также формулировать обоснованные требования к используемым техническим средствам и осуществлять их рациональный подбор.

Литература

1. Иванов И.В. Охрана периметров. – 2. М.: Паритет Граф, 2000. 196 с.
2. Зенов А.Ю. Комплексный подход к обнаружению, классификации и распознаванию нарушителя на охраняемой территории // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2012, №2. С. 23-32.
3. Царькова Е.Г. Математическая модель оптимального управления надежностью в охранных системах с нейросетевыми контроллерами // Инженерный вестник Дона, 2022, № 4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_67__3_tsarkova.pdf_a231fe88d9.pdf.
4. Сугак Е.В., Василенко Н.В., Назаров Г.Г. Надежность технических систем. Красноярск: МГП Раско. 2001. 608 с.
5. Tsarkova E., Belyaev A., Lagutin Y., Matveev Y. Technical Diagnostics of Equipment Using Data Mining Technologies // Safety in Aviation and Space Technologies: Select Proceedings of the 9th World Congress «Aviation in the XXI Century». Cham: Springer, 2022. pp. 345-356. URL: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85057-9_30.
6. Саламатин А.А. Алгоритм поддержки принятия решений в задачах выбора элементов системы безопасности объектов недвижимости //



Инженерный вестник Дона, 2021, №5. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6999.

7. Дали Ф.А. Методологические аспекты обследования объектов защиты на соответствие требованиям пожарной безопасности в проблемно-ориентированных системах управления // Инженерный вестник Дона, 2021, № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7114.

8. Tsarkova E. Intellectualization of decision making in security systems of protected objects // Journal of Physics: Conference Series, Divnomorskoe, 2021. pp. 042004. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2131/4/042004.

9. Tsarkova E. Technical Diagnostics of Equipment Using Data Mining Technologies // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 402 LNNS. pp. 1613-1622.

10. Саламатин А.А. Алгоритм поддержки принятия решений в задачах выбора элементов системы безопасности объектов недвижимости // Инженерный вестник Дона, 2021. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6999.

11. Dubrovin A.S., Ogorodnikova O.V., Tsarkova E.G. Analysis and visualization in graph database management systems // Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, 2021. P.012059. doi:10.1088/1742-6596/1902/1/012059.

References

1. Ivanov I.V. Ohrana perimetrov - 2 [Perimeter security - 2]. М.: Paritet Graf, 2000. 196 p.

2. Zenov A.Yu. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki, 2012, №2. pp. 23–32.

3. Tsarkova E.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №4.
URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_67__3_tsarkova.pdf_a231fe88d9.pdf.



4. Sugak E.V., Vasilenko N.V., Nazarov G.G. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Krasnoyarsk: MGP Rasko. 2001. 608 s.
5. Tsarkova E., Belyaev A., Lagutin Y., Matveev Y. Safety in Aviation and Space Technologies: Select Proceedings of the 9th World Congress «Aviation in the XXI Century». Cham: Springer, 2022. URL: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85057-9_30.
6. Salamatin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6999.
7. Dali F.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7114.
8. Tsarkova E. Journal of Physics: Conference Series, Divnomorskoe, 2021. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2131/4/042004.
9. Tsarkova E. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022. Vol. 402 LNNS. pp. 1613-1622.
10. Salamatin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №5 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6999.
11. Dubrovin A.S., Ogorodnikova O.V. Tsarkova E.G. Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, 2021. P.012059. doi:10.1088/1742-6596/1902/1/012059.