УДК: 623.4.017 DOI: 10.53816/23061456_2021_7–8_3

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЕКТНОЙ ГОТОВНОСТИ ИЗДЕЛИЙ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

METHODOLOGY FOR DESIGN READINESS ESTIMATION OF ARMOURED VEHICLES

Д-р техн. наук Ю.Л. Вященко, д-р техн. наук К.М. Иванов, Д.Ю. Семизоров, канд. техн. наук И.Л. Ящук

D.Sc. Y.L. Vyashchenko, D.Sc. K.M. Ivanov, D.Y. Semizorov, Ph.D. I.L. Yaschuk

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В статье представлена методика оценки проектной готовности модернизируемого изделия бронетанковой техники. Для проведения такой оценки используются данные о структуре, составе и конструктивных параметрах изделия. Приведен пример получения проектной оценки готовности и предварительный расчет показателей надежности на этапе рабочего проекта с привлечением моделей оценки надежности механических компонентов и вероятностного моделирования по методу Монте-Карло. Объединение результатов оценки безотказности механических компонентов и оценки ремонтопригодности средствами моделирования системы эксплуатации через Марковские диаграммы с учетом множества режимов и состояний изделия позволяют получить достоверную оценку проектной готовности и сократить возможные риски невыполнения требований по готовности на этапе эксплуатации изделий бронетанковой техники.
Ключевые слова: готовность, марковский процесс, надежность, интенсивность отказов, метод Монте-Карло.

The article presents a methodology for assessing the design availabilityof a modernized armored vehicle product. To carry out such an assessment, data on the structure, composition and design parameters of the product are used. An example of obtaining a design availability assessment and a preliminary calculation of reliability indicators at the stage of a working design using models for assessing the reliability of mechanical components and probabilistic modeling using the Monte Carlo method is given. Combining the results of assessing the reliability of mechanical components and assessing the maintainability by means of modeling the operating system through Markov diagrams, taking into account a variety of modes and states of the product, allows you to obtain a reliable assessment of the design availability and reduce possible risks of non-compliance with the availability requirements at the stage of operation of armored vehicles.
Keywords: availability, markov process, reliability, failure rate, Monte-Carlo method.

Введение

При создании изделий бронетанковой техники по окончании стадии проектирования до начала производства и проведения испытаний существует необходимость анализа полученной конструкции на предмет подтверждения достигнутых эксплуатационных характеристик. Ключевой комплексной эксплуатационной характеристикой для изделий бронетанковой техники является го-

товность [1–3]. В статье представлена методика оценки проектной готовности модернизируемого изделия бронетанковой техники на основании данных, которыми располагает конструкторское бюро (КБ) на этапе рабочего проекта.

Комплексная характеристика оценки проектной готовности строится на результатах решения задач оценки надежности и восстанавливаемости конструкции изделия бронетанковой техники (ИБТ), а также с привлечением информации о требованиях к решению типовой боевой задачи, выраженных в виде интенсивности применения образца изделия бронетанковой техники. Методика предполагает наличие ограниченного числа возможных состояний, в которых может находиться эксплуатируемый образец ИБТ [4].

Алгоритм оценки проектной готовности

В общем случае последовательность шагов при оценке проектной готовности в соответствии со схемой (рис. 1) можно представить в следующей форме:

1. Сбор, обобщение и анализ исходных данных. Исходные данные подразделяются на 3 группы:

1) данные о структуре, конструкции, топологии, режимах эксплуатации модернизируемого ИБТ. Источником исходных данных выступает информация о текущем представлении модернизируемого ИБТ;

2) данные о конструкции, топологии, режимах работы, выходных характеристиках надежности и ремонтопригодности прототипа. Источником исходных данных служит информация о прототипе разрабатываемого ИБТ;

3) тактико-техническое задание и требования к образцу ИБТ, связанные с решением типовой боевой задачи, в том числе при проведении контртеррористической операции.

2. На втором этапе оценки проектной готовности следует определить дискретные состояния изделия в соответствии с регламентированными режимами эксплуатации. Режимы эксплуатации сочетаются с понятиями «ожидания применения» и «применения» изделия бронетанковой техники по назначению. Представление функционирования ИБТ в виде процесса с конечным числом состояний и непрерывным временем дает возможность привлекать для оценки проектной готовности изделий бронетанковой техники аппарат марковских процессов.

Марковские процессы с непрерывным временем связаны с пуассоновскими потоками. Если все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, являются пуассоновскими,

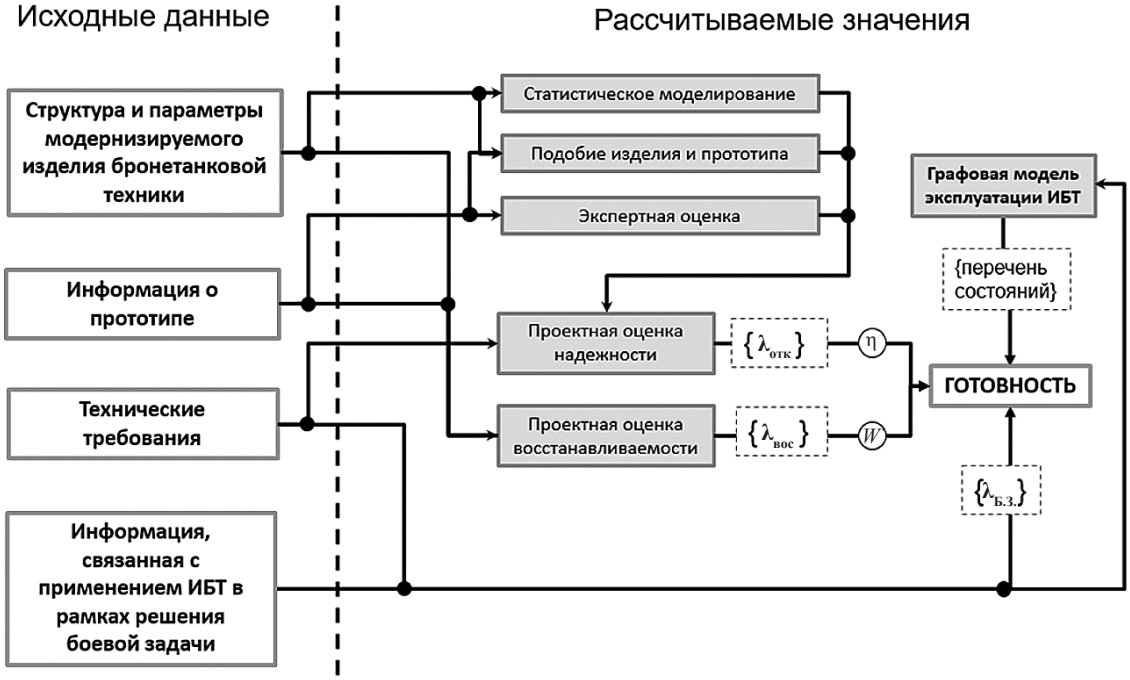


Рис. 1. Оценка проектной готовности модернизируемого ИБТ

то случайный процесс, протекающий в системе, будет марковским с непрерывным временем (пуассоновский процесс):

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

где λ — интенсивность потока.

Описание процесса эксплуатации изделия в виде марковских процессов позволяет раскрыть комплексность готовности изделия бронетанковой техники, объединив в единый показатель характеристики безотказности, ремонтопригодности, логистической поддержки изделия и требования к решению боевой задачи.

На рис. 1 введены следующие обозначения:

$\boldsymbol{\lambda}_{\text{отк}}$ — вектор интенсивностей, в общем случае характеризующий безотказность и долговечность конструкции ИБТ;

$\boldsymbol{\lambda}_{\text{вос}}$ — вектор интенсивностей, в общем случае характеризующий восстанавливаемость конструкции ИБТ с учетом возможностей интегрированной логистической поддержки;

$\boldsymbol{\lambda}_{\text{Б.З.}}$ — вектор показателей, характеризующий режимы эксплуатации и требования к выполнению боевой задачи изделием бронетанковой техники;

η — коэффициент информационной адекватности проектной оценки надежности по отношению к надежности готового изделия, соответствующего требованиям технического задания [1];

W — коэффициент логистической воспроизводимости конструкции ИБТ в интегрированной логистической поддержке, характеризующий степень учета ремонтопригодности конструкции при анализе логистической поддержки с целью поддержания готовности, соответствующей требованиям технического задания [1];

ГОТОВНОСТЬ — коэффициент готовности ИБТ, определяемый в следующем виде:

$$\gamma\left(K_{\Gamma} \in \left[\underline{K_{\Gamma}}; \overline{K_{\Gamma}}\right]\right); \gamma \Big|_{W}^{\eta},$$

то есть в интервальном виде с достоверностью интервальной оценки γ, которая зависит от значения коэффициента информационной адекватности η и показателя логистической воспроизводимости W.

3. Для определения переходов между состояниями на основании анализа моделей работоспособности, отказов, требований к решению боевой задачи составляется графовая модель системы эксплуатации, включающая перечень состояний, в которых может пребывать образец изделия бронетанковой техники в процессе эксплуатации и переходы между состояниями, наличие которых обусловлено возможностями системы эксплуатации. Связи между дискретными состояниями определяют возможные переходы из режима в режим и характеризуются конкретными числовыми значениями (интенсивностями переходов). Совокупность состояний и переходов определяет облик графовой модели функционирования (эксплуатации) изделия бронетанковой техники.

4. На четвертом шаге (этапе) процесса производится определение количественных значений интенсивностей переходов между состояниями. На данном этапе определяются количественные значения интенсивностей отказа и ремонта. Кроме того, определяются параметры системы эксплуатации, характеризующиеся интенсивностью перехода в состояние применения по назначению в соответствии с требованиями к решению боевой задачи.

5. На основании анализа моделей работоспособности, отказов, требований к решению боевой задачи составляется графовая модель системы эксплуатации, включающая состояния, в которых может пребывать образец изделия бронетанковой техники в процессе эксплуатации и переходы между состояниями, наличие которых обусловлено возможностями системы эксплуатации.

6. На следующем шаге производится определение нахождения изделия в каждом из состояний. Графовую модель функционирования изделия бронетанковой техники описывает система дифференциальных уравнений Колмогорова, параметрами которой выступают интенсивности отказов, восстановлений, применений ИБТ и тому подобные величины, характеризующие жизненный цикл изделия. Уравнение Колмогорова в общем виде представляется в виде:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=0}^{n} \lambda_{ij} P_i(t) + \sum_{j=0}^{n} \lambda_{ji} P_j(t),\ i = \overline{0,n.},$$

где $P_i(t)$ — вероятность нахождения изделия бронетанковой техники в i-м состоянии в момент времени t;

λ_{ij} — интенсивность перехода из состояния i в состояние j;

n — количество дискретных состояний, соответствующих анализируемому режиму эксплуатации.

Количество уравнений в системе равно количеству состояний n. Знак «плюс» или «минус», с которым интенсивность перехода входит в уравнение, определяет направленность перехода (входящий или исходящий). Графовая модель описываемого процесса изображена на рис. 2.

7. Решение системы дифференциальных уравнений позволяет получить вероятность нахождения ИБТ в каждом из описанных состояний в заданный момент времени t. Арифметическое суммирование вероятностей нахождения в состояниях, которые характеризуются готовностью образца ИБТ, численно равно коэффициенту готовности образца ИБТ по состоянию на соответствующее время.

Таким образом, результатом применения описанной последовательности действий является зависимость значения коэффициента готовности от времени использования образца ИБТ. Актуальным является вопрос о соответствии полученного значения готовности требованиям тактико-технического задания (ТТЗ) в условиях контракта.

Для решения вопроса адекватности полученной оценки проектной готовности облику изделия бронетанковой техники, соответствующего требованиям ТТЗ, необходимо введение информационных критериев. Это позволит количественно сопоставить полученную оценку проектной готовности изделия готовности изделия на завершающем этапе разработки. Адекватность проектной оценки готовности зависит от состава и достоверности исходных данных для расчета безотказности, долговечности и ремонтопригодности изделия бронетанковой техники.

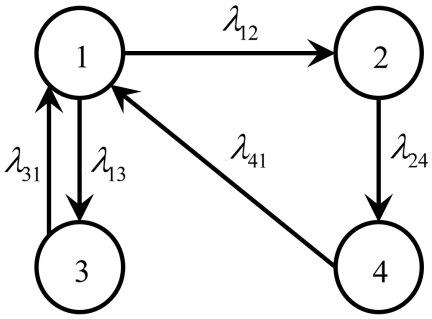


Рис. 2. Графовая модель функционирования САУ

Примеры применения разработанных алгоритмов и математических моделей

Описанная методика оценки проектной готовности изделий бронетанковой техники реализуется в приложении к оценке готовности реальным системам вооружения. В качестве объекта приложения выбрана самоходная артиллерийская установка. Выбор обусловлен спецификой конструкции и области применения данного изделия, которое представляет собой структурно-сложную техническую систему ответственного назначения.

Для объекта самоходной артиллерийской установки (САУ) 2С19 определены дискретные состояния и переходы между ними (рис. 2).

На рис. 2 обозначены следующие состояния и интенсивности переходов: 1 — состояние ожидания применения; 2 — состояние применения по назначению; 3 — состояние проведения технического обслуживания; 4 — состояние отказа; λ_{12} — интенсивность применения; λ_{24} — интенсивность отказов; λ_{41} — интенсивность восстановления; λ_{13} — интенсивность проведения технического обслуживания (ТО); λ_{31} — интенсивность завершения ТО.

Интенсивность применения λ_{12} задается в ТТЗ как условная вероятность «вызова» единицы САУ для проведения боевой операции. В представленном далее примере интенсивность применения принимается равной λ_{12} = 0,004 1/ч.

Интенсивность отказов для САУ в целом определяется как сумма интенсивностей отказов составных частей.

Для решения задачи оценки надежности конструкции САУ на первом этапе необходимо определить ее состав. Стоит отметить, что надежность соответствующей подсистемы САУ (самоходной части или артиллерийской части) определяется в зависимости от режима применения (пробег или стрельба). На рис. 3 представлен фрагмент декомпозиции артиллерийской части САУ 2С19.

На рис. 3 показатели надежности назначены экспертным методом [1]. Однако, учитывая оригинальность конструкции САУ, оценки показателей надежности, назначенные на основании имеющейся информации о надежности образцов-аналогов, обладают недостаточной достоверностью. Для уточнения показателей надежности модернизируемого изделия бронетанко-

Наименование	Интенсивность отказов, зада...
2С19	#.#
Механизм подачи	#.#
каркас со штангой	1,556245
транспортер снарядов	0,642385
лоток транспортера	1,266340
направляющий лоток	1,238540
досылатель	0,785230
механизм затвора и фиксации нар...	1,963158
электрооборудование	0,446934
Затвор	#.#
Запирающий механизм	#.#

Рис. 3. Фрагмент декомпозиции артиллерийской части САУ 2С19

вой техники необходим расчет интенсивности отказов элементов, для которых имеются достоверные и верифицированные математические модели функционирования.

Учет отличий конструкции САУ 2С19 от аналогичной базовой конструкции реализован в виде метода оценки надежности на основании стандартов/справочников расчета надежности. В качестве одного из возможных способов оценки интенсивности отказов оригинальных компонентов САУ на рис. 4 показан процесс оценки интенсивности отказов досылателя на основании модели отказов механической системы «поршень-цилиндр».

В качестве исходных данных используются конструктивные и нагрузочные характеристики досылателя. Результатом расчета является интенсивность отказов досылателя, которая составляет $\lambda_{досыл} = 512 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

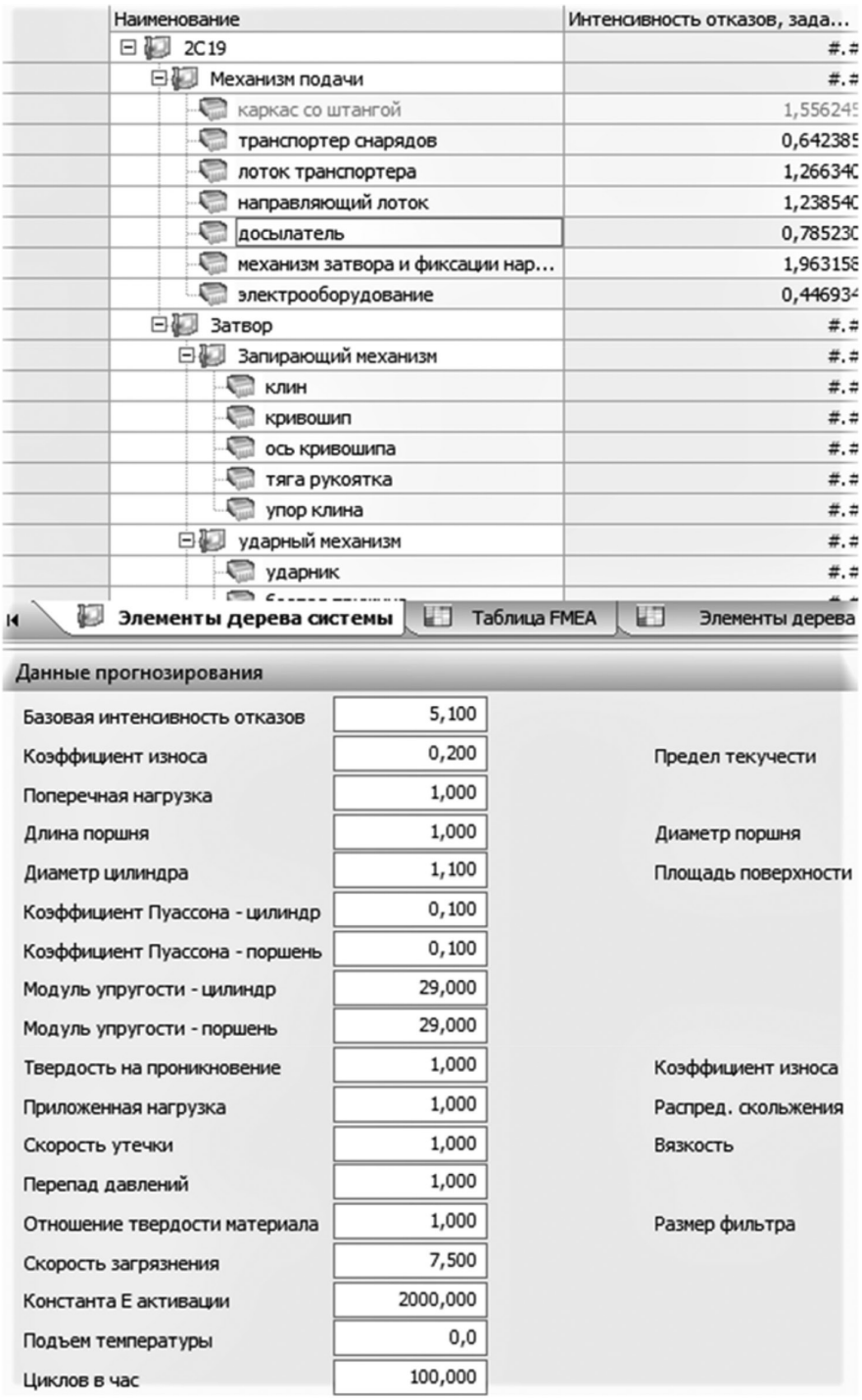
Оценка надежности отдельных компонентов возможна на этапе параметрического синтеза при использовании в качестве инструмента оценки стандартов [5, 6], позволяющих на основании прочностных и нагрузочных характеристик анализируемого компонента рассчитать прогнозируемую величину интенсивности отказов.

В качестве примера рассмотрена ситуация оценки вероятности отказа корпуса зарядного маятника – элемента автомата заряжания самоходной артиллерийской установки (рис. 5). При различных сочетаниях законов распределения несущей способности и нагрузки вычисляется вероятность разрушения корпуса зарядного маятника.

Событие отказа определено как механическое разрушение вследствие превышения нагрузкой запаса прочности. В основу расчета заложено то, что каждый элемент обладает определенной прочностью по отношению к нагрузкам. Конструктивные параметры являются, как правило, случайными величинами, поэтому расчетный метод учитывает вероятностный характер конструктивных параметров, что позволяет оценить надежность элемента на этапе проектирования. Конструктивные параметры, как случайные величины, определяются распределениями напряжения и прочности. Если оба распределения определены, можно оценить вероятность разрушения элемента.

В реальных ситуациях несущая способность элемента зависит от его конструктивных параметров и характеристик материала, которые сами являются случайными величинами с заданными законами распределения. Целесообразно использовать численные методы вероятностного моделирования, одним из которых является метод Монте-Карло [7, 8].

В данной ситуации расчет надежности проводится средствами программного комплекса ANSYS [9] и его подсистемы Probabilistic Design. Данная подсистема ориентирована на решение, так называемых, квазистатических задач надежности. Под квазистатическими задачами понимаются задачи, в которых случайные факторы описываются при помощи конечного числа случайных величин. Такие задачи часто встречаются при расчете реальных конструкций. Если случайные динамические нагрузки могут быть представлены в виде детерминированных функций времени, зависящих от конечного числа случайных величин, то методы решения квазистатических задач могут и здесь оказаться весьма эффективными.



Наименование	Интенсивность отказов, зада...
2С19	#.#
Механизм подачи	#.#
каркас со штангой	1,556245
транспортер снарядов	0,642385
лоток транспортера	1,266340
направляющий лоток	1,238540
досылатель	0,785230
механизм затвора и фиксации нар...	1,963158
электрооборудование	0,446934
Затвор	#.#
Запирающий механизм	#.#
клин	#.#
кривошип	#.#
ось кривошипа	#.#
тяга рукоятка	#.#
упор клина	#.#
ударный механизм	#.#
ударник	#.#

Элементы дерева системы | Таблица FMEA | Элементы дерева

Данные прогнозирования

Базовая интенсивность отказов	5,100	
Коэффициент износа	0,200	Предел текучести
Поперечная нагрузка	1,000	
Длина поршня	1,000	Диаметр поршня
Диаметр цилиндра	1,100	Площадь поверхности
Коэффициент Пуассона - цилиндр	0,100	
Коэффициент Пуассона - поршень	0,100	
Модуль упругости - цилиндр	29,000	
Модуль упругости - поршень	29,000	
Твердость на проникновение	1,000	Коэффициент износа
Приложенная нагрузка	1,000	Распред. скольжения
Скорость утечки	1,000	Вязкость
Перепад давлений	1,000	
Отношение твердости материала	1,000	Размер фильтра
Скорость загрязнения	7,500	
Константа Е активации	2000,000	
Подъем температуры	0,0	
Циклов в час	100,000	

Рис. 4. Расчет интенсивности отказов досылателя на основании стандарта NSWC-2006

Процесс вероятностного расчета в ANSYS состоит из следующих шагов.

1. Создание файла с расчетной схемой с использованием параметров для прочностного анализа.

2. Решение задачи прочностного анализа:

– разбиение модели на конечные элементы;

– задание нагрузок и граничных условий;

– решение прочностной задачи (рис. 6).

3. Вход в подсистему ANSYS Probabilistic Design.

4. Задание случайных входных и выходных переменных.

5. Выбор метода вероятностного анализа.

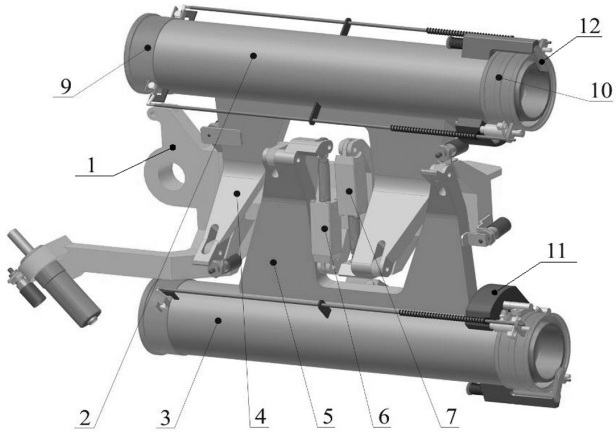


Рис. 5. Конструкция зарядного маятника:
1 — корпус; 2 — верхний лоток; 3 — нижний лоток; 4, 5 — рычаги; 6, 7 — цилиндры качания лотка; 9, 10 — уплотнительное устройство; 11 — ресивер; 12 — задний удержник

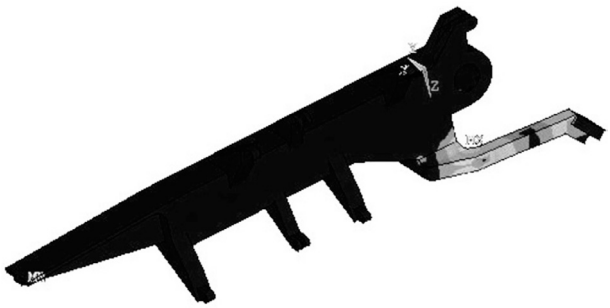


Рис. 6. Распределение напряжений

6. Выполнение цикла вероятностного анализа.

7. Анализ результатов вероятностного анализа. построение поверхностей отклика и функций распределения выходных переменных.

Необходимо определить закон распределения коэффициента запаса и вероятность отказа корпуса маятника. Отказом считается превышение эквивалентными напряжениями в корпусе значения предела текучести материала. Расчет показал, что вероятность разрушения корпуса зарядного маятника составляет 0,02486 за один цикл применения.

Таким образом, определяя интенсивности отказов отдельных элементов САУ и суммируя их, определяется интенсивность отказов λ_{24} и интенсивность проведения технического обслуживания λ_{13}. Для реализации методики оценки проектной готовности модернизируемой САУ по результатам расчетов принимаются значения $\lambda_{24} = 0,00051/\text{ч}$ и $\lambda_{13} = 0,0021/\text{ч}$.

Оценка интенсивности восстановления и завершения ТО конструкции проводится на основании экспертной оценки с привлечением информации о ремонтопригодности конструкции аналогичных изделий. По результатам экспертной оценки принимаются значения $\lambda_{41} = 0,0091/\text{ч}$ и $\lambda_{31} = 0,0071/\text{ч}$.

В начале численного моделирования определены все параметры, входящие в систему дифференциальных уравнений, и заданы начальные условия, соответствующие началу функционирования САУ, а именно: $P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0; P_4 = 0$.

При описании процесса эксплуатации ИБТ в пространстве состояний, коэффициент готовности определяется как сумма вероятностей нахождения в работоспособных состояниях [6]. Коэффициент готовности ИБТ определяется суммой вероятностей нахождения ИБТ в этих состояниях: $K_Г = P_1 + P_2$.

Для решения системы дифференциальных уравнений, записанных в форме

$$\begin{cases} \dfrac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 - \left(\lambda_{12} + \lambda_{13}\right)P_1, \\ \dfrac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1 + \lambda_{24}P_2, \\ \dfrac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{13}P_1 + \lambda_{31}P_3, \\ \dfrac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{24}P_2 + \lambda_{41}P_4, \end{cases}$$

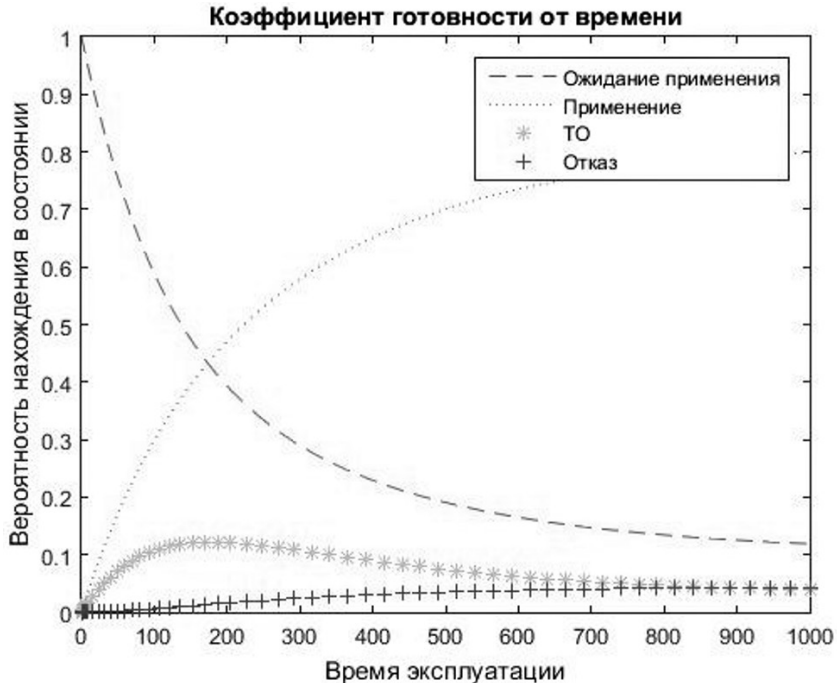


Рис. 7. Зависимости вероятности нахождения системы в каждом из дискретных состояний

необходимо привлечь средства автоматизации. В данном примере применен пакет математических расчетов MATLAB 2015 [10].

Графики зависимости вероятности нахождения в каждом из дискретных состояний от времени представлены на рис. 7. Для описанной схемы коэффициент готовности в «стационарном» состоянии на момент времени, соответствующий 1000 часам применения, составляет $K_Г = 0{,}92$.

Заключение

На примере расчета коэффициента готовности сложного изделия военного назначения продемонстрирована новая методика оценки проектной готовности бронетанковой техники. Описанная методика является законченным инженерным решением, позволяющим оценивать проектную готовность модернизируемого изделия на стадии проектирования.

Литература

1. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Системная инженерия, риски, надежность в разработке и производстве изделий военного назначения. — СПб: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова. 2018. 570 с.

2. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М. и др. Обеспечение контракта жизненного цикла изделий военного назначения. — Старый Оскол: ТНТ. 2021. 368 с.

3. Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Афанасьев А.С., Игнатенко В.В., Павлушкин Р.В. Информационные, информационно-энтропийные и эвентологические меры и шкалы в задачах управления рисками в процессах жизненного цикла систем оружия // Известия РАРАН. 2017. № 1 (96). С. 124–129.

4. Кравченко А.Ю. Модель системы технической эксплуатации вооружения и военной техники на основе анализа логистической поддержки / А.Ю. Кравченко, Е.В. Судов, В.Б. Артеменко // «Вооружение и экономика». — М.: Российская академия ракетных и артиллерийских наук. № 2 (39). 2017.

5. ЭРИ-2006. Справочник «Надежность электрорадиоизделий» — М.: МО РФ. 2006. 641 с.

6. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. NSWC. — West Bethesda, Maryland. 20817-5700. 2006. 414 p.

7. Шеннон К. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир. 1978. 418 с.

8. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Матвеев С.А. Оценка технических рисков (надежности) изделий авиакосмической техники в процессе проектирования и отработки // Известия вузов. Авиационная техника. 2019. № 4. С. 107–114.

9. Красковский Д.Г. ANSYS в примерах и задачах. — М.: Компьютер-Пресс. 1997. 224 с.

10. Ануфриев И.Е. Самоучитель Matlab 5.3/6.x: — СПб: БХВ–Петербург. 2003. 736 с.

11. Батьковский А.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Метод оценки готовности высокотехнологичной продукции к промышленному производству // Статистика и экономика. 2018. Т. 15. № 1. С. 70–76.

12. Головачев Г.И., Дулепа В.В. Методика оценки военно-экономической эффективности создаваемых (модернизируемых) образцов бронетанкового вооружения // Электронный научный журнал. Вооружение и экономика. 2019. № 4 (50). С. 21–30.

13. Филин О.А. Основные аспекты модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники как сложных технических систем / О.А. Филин // Молодой ученый. 2020. № 41 (331). С. 34–39. — URL: https://moluch.ru/archive/331/74090/ (дата обращения: 23.08.2021).

14. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основнеы положения. Надежность в технике: Сб. ГОСТов. — М.: ИПК Издательство стандартов. 2002. 138 с.

References

1. Afanas'ev A.S., Vyashchenko Y.L., Ivanov K.M., Matveev S.A. Systems engineering, risks, reliability in the development and production of military products. — SPb: BSTU «Voenmeh». 2018. 570 p.

2. Afanas'ev A.S., Vyashchenko Y.L., Ivanov K.M. and other. Providing a contract for the life cycle of military products. — Stary Oskol: TNT. 2021. 368 p.

3. Vyashchenko Yu.L., Ivanov K.M., Afanasyev A.S., Ignatenko V.V., Pavlushkin R.V. Information, information-entropy and eventological measures and scales in the problems of risk management in the processes of the life cycle of weapons systems // Izvestiya RARAN. 2017. Vol. 1 (96). P. 124–129.

4. Kravchenko A.Yu. Model of the system of technical operation of weapons and military equipment based on the analysis of logistic support / A.Yu. Kravchenko, E.V. Sudov, V.B. Artemenk // «Armament and Economy». — M.: Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Vol. 2 (39). 2017.

5. ERP-2006. Reference book «Reliability of electrical radio products» — M.: Ministry of Defense of the Russian Federation. 2006. 641 p.

6. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. NSWC. — West Bethesda, Maryland. 20817-5700. 2006. 414 p.

7. Shannon K. Systems Simulation — Art and Science. — M.: Mir. 1978. 418 p.

8. Afanas'ev A.S., Vyashchenko Y.L., Ivanov K.M., Matveev S.A. Assessment of Technical Risk (Reliability) of Aerospace Equipment in the Process of Design and Development // Russian Aeronautics. 2019. № 4. P. 107–114.

9. Kraskovsky D.G. ANSYS in examples and problems. — M.: Computer-Press. 1997. 224 p.

10. Anufriev I.E. Self-study guide Matlab 5.3/6.x: — SPb: BHV–Petersburg. 2003. 736 p.

11. Batkovsky A.M., Leonov A.V., Pronin A.Yu. Method for assessing the readiness of high-tech products for industrial production // Statistics and Economics. 2018. T. 15. № 1. P. 70–76.

12. Golovachev G.I., Dulepa V.V. Methodology for assessing the military-economic efficiency of the created (modernized) models of armored weapons // Electronic scientific journal. Armament and economy. 2019. № 4 (50). P. 21–30.

13. Filin O.A. Basic aspects of modernization of weapons, military and special equipment as complex technical systems / O.A. Owl // Young scientist. 2020. № 41 (331). P. 34–39. — URL: https://moluch.ru/archive/331/74090/ (date of access: 23.08.2021).

14. GOST 27.301-95 Reliability in technology. Reliability calculation. The main provisions. Reliability in technology: Sat. GOSTs. — M.: IPK Publishing house of standards. 2002. 138 p.