

А. С. Корнев, Р. З. Хайруллин

К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ СРЕДНЕСРОЧНОГО И ДОЛГОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПАРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ОАО «РЖД»

Аннотация. Приводится обоснование необходимости разработки ряда моделей, используемых при формировании программ среднесрочного и долгосрочного развития парка средств измерений ОАО «РЖД». Представлены модели управления этапами жизненного цикла средств измерений ОАО «РЖД», включая модели создания научно-технического задела, разработки и производства средств измерений на основе использования дискретной полумарковской модели и логистической модели. Представлены результаты математического моделирования. Рассмотрены достоинства и недостатки предлагаемых математических моделей. Сделан вывод о дальнейших перспективах использования рассматриваемых полумарковских моделей при создании сложных технических систем и другой высокотехнологичной продукции.

Ключевые слова: средство измерений, жизненный цикл, вероятность, моделирование, программно-целевое планирование.

Для цитирования: Корнев, А. С. К разработке программ среднесрочного и долгосрочного планирования развития парка средств измерений ОАО «РЖД» / А. С. Корнев, Р. З. Хайруллин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2. – С. 206–216. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_206.

Введение

В декабре 2021 года дирекцией ОАО «РЖД» была утверждена Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года. В рамках стратегии сформированы основные целевые индикаторы и направления развития на длительную перспективу, а также акцентировано внимание на повышении эффективности функционирования «РЖД», в том числе на базе новых инновационных, технических и технологических решений.

Основное внимание требуется уделить развитию ОАО «РЖД» по трем ключевым направлениям: в сфере управления перевозочным процессом, в области содержания и модернизации инфраструктуры, в части развития локомотивного комплекса.

Миссия ОАО «РЖД» реализуется на основе программно-целевого планирования развития до 2030 года по ряду направлений, в том числе:

- создание и внедрение технических решений и форм организации грузового тяжеловесного и высокоскоростного движения;
- применение новейших материалов, форм, систем;
- использование новейших телекоммуникационных технологий;
- применение динамических систем управления с использованием искусственного интеллекта.

Реализация указанных направлений немыслима без широкого применения новейших измерительных комплексов, измерительных систем и средств измерений (СИ).

Развитие современных СИ связано с их непрерывным усложнением, расширением диапазонов измерений, уменьшением погрешности измерений и, как правило, увеличением стоимости разработки, производства и эксплуатации [1].

Реализация программ среднесрочного и долгосрочного развития парка СИ осуществляется с использованием методов программно-целевого планирования [2]. Методы и методические подходы, используемые при формировании предложений в долгосрочные программные документы для различных видов специальной техники, описаны в [3–6], в том числе в части СИ с метрологическим обеспечением – в [1, 7].

В данной статье представлен ряд моделей, используемых при формировании программ среднесрочного и долгосрочного развития парка СИ, а также применяемых в рамках научно-исследовательских работ по оптимизации парка СИ.

Представленные в статье модели позволяют моделировать процессы разработки, производства и эксплуатации СИ. Разработанные модели входят в состав научно-методического аппарата для сквозного моделирования основных этапов жизненного цикла (ЖЦ) СИ с тем или иным уровнем детализации. Отметим, полумарковская модель эксплуатации с учетом старения парка СИ, периодических проверок СИ и обновления парка СИ за счет закупок новых образцов и модернизации существующих образцов представлена в [7].

Описание структуры ЖЦ СИ

Жизненный цикл СИ, как, впрочем, и другой высокотехнологичной продукции, представим в виде последовательности следующих этапов ЖЦ: создание научно-технического задела (НТЗ), проведение научно-исследовательских работ (НИР), проведение опытно-конструкторских работ (ОКР), производство (ПРО), эксплуатация (ЭКС). Отметим, что указанные этапы могут реализоваться с некоторым наложением, то есть последующий этап может начинаться незадолго до окончания предыдущего этапа.

Анализ ретроспективных данных по разработке измерительной техники (СИ в частности) показал, что общая длительность первых двух этапов составляет примерно 10–15 % всего ЖЦ. Третий и четвертый этапы составляют в среднем 20–30 % ЖЦ. Процесс эксплуатации, как самый длительный этап ЖЦ, составляет 60–70 %.

Опишем методические подходы, методы, модели и критерии, используемые при подготовке предложений в программы долгосрочного развития парка СИ.

Методический подход к описанию динамики этапов ЖЦ СИ на основе дискретной полумарковской модели

Дискретный полумарковский процесс будем описывать графом $G(A, V, P)$ с узлами $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, характеризующими его состояние, и дугами $V = \{V_{ij}\}_{m \times m}$, являющимися переходами из одного состояния в другое. Определим $V_{ij} = 1$, если переход $A_i \rightarrow A_j$ возможен, и $V_{ij} = 0$, если данный переход невозможен. Зададим вероятности переходов из одного состояния в другое в виде матрицы $\Pi(t) = \{\pi_{ij}(t)\}_{m \times m}$, где $\pi_{ij}(t) = P(V_{ij} = 1 | \tau_i < t)$ – вероятность перехода $A_i \rightarrow A_j$ за время t , τ_i – стохастическое время пребывания процесса в состоянии A_i с заранее выявленным законом распределения [7–9].

Нормировку вероятностей переходов опишем в виде:

$$\sum_{j=1}^m \pi_{ij}(t) = 1, \quad (i=1, 2, \dots, m).$$

Переход из одного состояния в другое происходит с вероятностью $p_{ij}(t)$, которая зависит от времени пребывания в данном состоянии от управляющих воздействий $u_i \in U$:

$$\pi_{ij}(t) = P(V_{ij} = 1; u_i | \tau_i < t),$$

зависящих от времени t , здесь $U = \{u_i\}$ – конечное множество управлений.

Длительность ЖЦ образца СИ равна сумме длительностей его этапов:

$$T_{\text{жц}} = \tau_{\text{НТЗ}} + \tau_{\text{НИР}} + \tau_{\text{ОКР}} + \tau_{\text{ПРО}} + \tau_{\text{ЭКС}}.$$

Продолжительность этапов ЖЦ, как правило, является случайной величиной, поскольку процессы разработки СИ связаны с воздействием целого ряда случайных факторов.

Полумарковская модель процессов ЖЦ типовых образцов СИ

Представим процесс в виде последовательности вершин графа, характеризующих стадии ЖЦ (рис. 1).

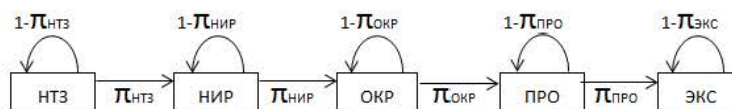


Рис. 1. Граф проектного процесса создания типовых образцов СИ

Началу проекта соответствует первая вершина графа – HT3. Завершению проекта соответствует последняя вершина графа – ЭКС. Будем предполагать, что с вероятностями $\pi_{ij}(t)$ в моменты времени $t = 1, 2, \dots, T$ осуществляются переходы между состояниями. Система уравнений для вероятностей нахождения в указанных состояниях имеет вид:

$$\begin{aligned}
 P_{HT3}(t+1) &= (1 - \pi_{HT3}) P_{HT3}(t); \\
 P_{NIR}(t+1) &= \pi_{HT3} P_{HT3}(t) + (1 - \pi_{NIR}) P_{NIR}(t); \\
 P_{OKP}(t+1) &= \pi_{NIR} P_{NIR}(t) + (1 - \pi_{OKP}) P_{OKP}(t); \\
 P_{PRO}(t+1) &= \pi_{OKP} P_{OKP}(t) + (1 - \pi_{PRO}) P_{PRO}(t); \\
 P_{ZKS}(t+1) &= \pi_{PRO} P_{PRO}(t) + (1 - \pi_{ZKS}) P_{ZKS}(t).
 \end{aligned} \tag{1}$$

При этом в каждый момент времени $t = 1, 2, \dots, T$ выполняется условие нормировки:

$$P_{HT3}(t) + P_{NIR}(t) + P_{OKP}(t) + P_{PRO}(t) + P_{ZKS}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T. \tag{2}$$

Начальные значения вероятностей состояний и условные вероятности переходов $\pi_{ij}(t)$ являются исходными данными модели.

Временная зависимость вероятностей реализации этапов представлена на рис. 2. Исходные данные, используемые в расчетах:

$\pi_{HT3}(t) = 0,8$; $\pi_{NIR}(t) = 0,7$; $\pi_{OKP}(t) = 0,65$; $\pi_{PRO}(t) = 0,5$; $\pi_{ZKS}(t) = 0$ – вероятности переходов;

$P_{HT3}(0) = 0,5$; $P_{NIR}(0) = 0,15$; $P_{OKP}(0) = 0,15$; $P_{PRO}(0) = 0,15$; $P_{ZKS}(0) = 0,05$ – начальные значения вероятностей состояний.

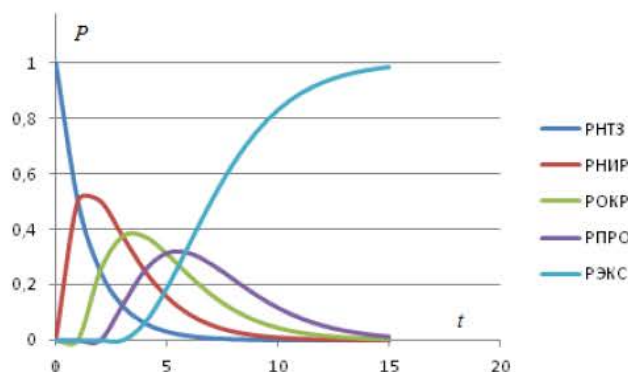


Рис. 2. Динамика вероятностей реализации этапов проекта

Уровень научно-технического задела и производственно-технологических возможностей характеризуется этими параметрами. Вероятность реализации проекта к моменту времени t описана итоговой функцией $P_{\text{ЭКС}}(t)$.

Проект реализуется практически достоверно при $P_{\text{ЭКС}}(15) = 0,98$ за $T = 15$ лет, – такой вывод можно сделать из приведенного рисунка (см. рис. 2).

Модель описывает динамику этапов ЖЦ при потоковой разработке типовых образцов СИ. Модель показывает в каждый момент времени объемы выполняемых работ по этапам ЖЦ.

По своей форме функция $P_{\text{ЭКС}}(t)$ напоминает функцию, которая уже используется в качестве модели рабочих процессов в производстве, технике и экономике [3]. Модели, основанные на использовании логистической функции, будут описаны ниже.

Полумарковская модель процессов ЖЦ уникального единичного образца СИ

Граф полумарковской модели приведен на рис. 3.

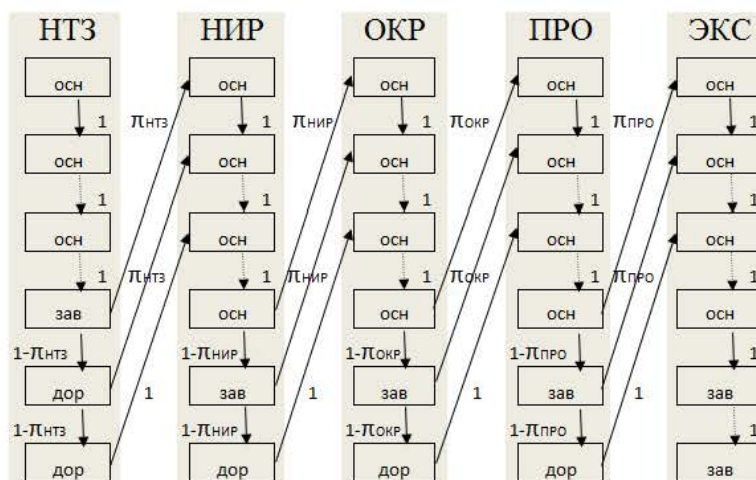


Рис. 3. Граф полумарковской модели

Опишем основные положения, положенные в основу этой модели:

1 Задается шаг продолжительности, равный 1 году, и задаются средние продолжительности этапов ЖЦ, кратные 1 году.

2 На каждом этапе ЖЦ выделяют основную («осн» на рис. 3) и завершающую («зав» на рис. 3) части работ, выполняемых на этапе.

3 На каждом этапе в процессе выполнения основных работ осуществляется переход к следующему шагу выполнения этапа с вероятностью 1. Переход от основной части к завершающей также осуществляется с вероятностью, равной 1.

4 Переходы от завершающей части этапов НТЗ, НИР, ОКР, ПРО к основной части этапов НИР, ОКР, ПРО, ЭКС осуществляется с вероятностями $\pi_{\text{НТЗ}}$, $\pi_{\text{НИР}}$, $\pi_{\text{ОКР}}$, $\pi_{\text{ПРО}}$, а переход от завершающей части этапа на доработку (без изменения этапа) – с вероятностями $(1 - \pi_{\text{НТЗ}})$, $(1 - \pi_{\text{НИР}})$, $(1 - \pi_{\text{ОКР}})$, $(1 - \pi_{\text{ПРО}})$ соответственно.

5 С каждого шага при доработке, за исключением последнего, осуществляется переход на очередной шаг следующего этапа ЖЦ с вероятностями $\pi_{\text{НТЗ}}$, $\pi_{\text{НИР}}$, $\pi_{\text{ОКР}}$, $\pi_{\text{ПРО}}$, а переход от следующего шага доработки (без изменения этапа ЖЦ) – с вероятностями $(1 - \pi_{\text{НТЗ}})$, $(1 - \pi_{\text{НИР}})$, $(1 - \pi_{\text{ОКР}})$, $(1 - \pi_{\text{ПРО}})$.

6 Переход с последнего шага доработки на последний шаг следующего этапа ЖЦ осуществляется с вероятностью 1.

7 Продолжительность этапа эксплуатации выбирается так, чтобы при его завершении вероятность отличалась от 1 на величину, не превосходящую γ .

На рис. 4 представлена динамика вероятностей реализации этапов проекта по разработке уникального единичного образца СИ.

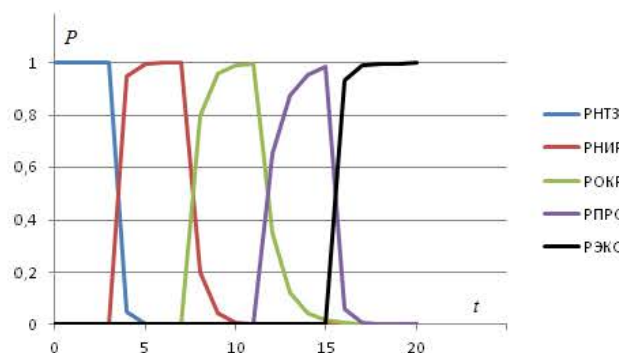


Рис. 4. Динамика вероятностей реализации этапов проекта по разработке уникального единичного образца СИ

Отметим последовательную реализацию этапов ЖЦ с некоторым наложением конца предыдущего этапа и начала следующего этапа. Вероятность реализации проекта к моменту времени t характеризуется функцией $P_{\text{ЭКС}}(t)$. За время $T = 17$ лет проект реализуется почти наверняка.

Отметим, что по своему виду функция $P_{\text{ЭКС}}(t)$ на отрезке времени эксплуатации, так же как и для полумарковской модели процессов ЖЦ типовых образцов СИ, напоминает логистическую функцию [3–5].

Описание динамики ЖЦ с использованием методического подхода на основе использования логистических функций

Стандартная логистическая модель описывается следующим нелинейным дифференциальным уравнением для неизвестной функции – вероятности готовности СИ [3]:

$$\frac{dp}{dt} = \mathfrak{P}p(1-p), \quad p(0) = p_0, \quad t \geq 0, \quad (3)$$

где $\mathfrak{P}(t)$ – интенсивность (темп) создания СИ; p_0 – начальный уровень готовности СИ, определяемый уровнем научно-технического и технологического задела.

Уравнение (3) является уравнением с разделяющимися переменными, его решение имеет вид:

$$p(t) = \frac{P_0}{P_0 + (1 - P_0) \cdot \exp\left(-\int_0^t \mathfrak{P}(\tau) d\tau\right)}. \quad (4)$$

Уравнение (3) принимает вид решения (4) при постоянном темпе создания СИ ($\mathfrak{P} = \text{const}$):

$$p(t) = \frac{P_0}{P_0 + (1 - P_0) \cdot \exp(-\mathfrak{P} \cdot t)}. \quad (5)$$

Логистические функции готовности СИ с разными начальными значениями уровней готовности представлены на рис. 5.

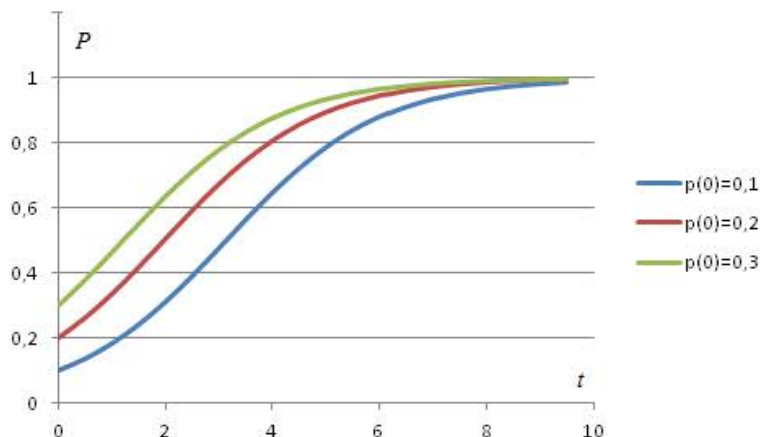


Рис. 5. Логистические функции готовности СИ с разными начальными значениями уровней готовности

Видно, что при увеличении начального уровня готовности СИ логистическая функция быстрее стремится к своему предельному значению.

Опишем динамику выполнения проектных работ в зависимости от обеспеченности ресурсами. Основные варианты ресурсного обеспечения и связанная с ними динамика готовности высокотехнологичной продукции исследованы в [6]. Предположим, что ресурсное обеспечение $S(t)$ пропорционально темпу $\mathcal{S}(t)$ создания образца СИ. Ресурсное обеспечение может быть постоянным по времени или, например, линейно нарастать по времени в процессе выполнения отдельного этапа проекта:

$$S(T) = S_0 + S_1 t, \quad (6)$$

здесь $S_0 > 0$ и $S_1 > 0$. Графики логистических функций готовности СИ (разработка) для различных вариантов ресурсного обеспечения (6) показаны на рис. 6.

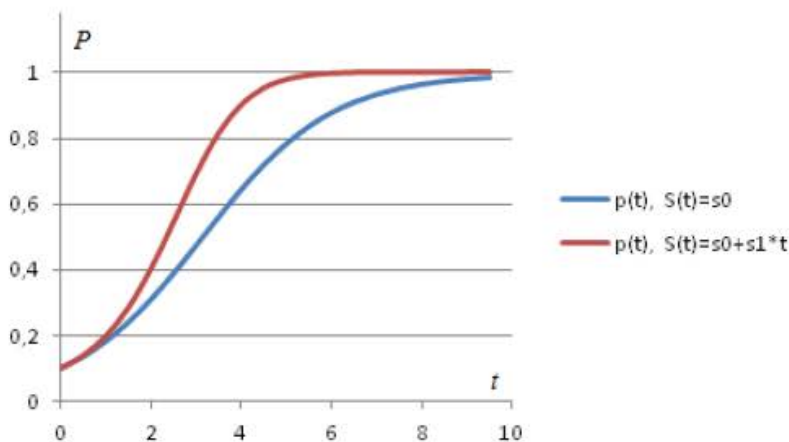


Рис. 6. Логистические функции готовности СИ при разных вариантах ресурсного обеспечения

Видно, что если ресурсное обеспечение возрастает с течением времени, то уровень готовности растет быстрее, чем в случае постоянства ресурсного обеспечения.

Способы достижения гарантированного уровня готовности разработки образца СИ

Задавая гарантированный уровень γ готовности СИ $P(t) = \gamma$ и используя (5), время готовности СИ с заданным уровнем достоверности [6] выразим в виде:

$$t_{\gamma} = -\frac{\ln\left(\frac{(1-\gamma)p_0}{\gamma(1-p_0)}\right)}{\vartheta}. \quad (7)$$

Требуемое значение времени готовности СИ $t_{\text{ТРЕБ}}$ можно задать, тогда из (5) необходимый темп выполнения проектных работ [6] примет вид:

$$\vartheta_{\gamma} = -\frac{\ln\left(\frac{(1-\gamma)p_0}{\gamma(1-p_0)}\right)}{t_{\text{ТРЕБ}}}. \quad (8)$$

Формулы (7), (8) позволяют вычислять время готовности и темп выполнения проектных работ, обеспечивающие гарантированное значение уровня готовности γ при разработке СИ.

Трансформация вариантов планирования этапов ЖЦ с применением логистической модели

Предположим, что процесс разработки нового СИ изначально запланирован на отрезке времени $0 \leq t \leq T$ с постоянным темпом производства $\vartheta_{\text{ПЛ}}$. Тогда с вероятностью $1 - \gamma$ в соответствии с (7):

$$T = -\left(\ln\left(\frac{(1-\gamma)p_0}{\gamma(1-p_0)}\right)\right) / (\vartheta_{\text{ПЛ}}). \text{ Рассмотрим варианты трансформации первоначального плана, которые}$$

возникают при необходимости ускорения создания СИ или недостаточности ресурсного обеспечения.

Первые три варианта трансформации реализуемы в случае достаточности ресурсного обеспечения. Первый вариант трансформации реализуем для производств, которые могут быть мгновенно перестроены от темпа $\vartheta_{\text{ПЛ}}$ до некоторого значения ϑ^* , причем $\vartheta_0 > \vartheta_{\text{ПЛ}}$. Примером такого вида производства может служить гибкая производственная система. Пусть в некоторый момент времени t^* , такой, что $0 < t^* < T$ возникает необходимость ускорения производства с целью завершения процесса создания нового СИ к моменту времени T^* , причем $t^* < T^* < T$. Тогда трансформированный вариант плана создания СИ необходимо реализовывать на отрезке времени $t^* < t \leq T^*$ с более высоким темпом

$$\vartheta = \vartheta_0 > \vartheta_{\text{ПЛ}}, \text{ равным: } \vartheta_0 = -\left(\ln\left(\frac{(1-\gamma)p_0^*}{\gamma(1-p_0^*)}\right)\right) / (T^* - t^*), \text{ где } p_0^* = p_0 / (p_0 + (1-p_0) \cdot \exp(-\vartheta \cdot t^*)) - \text{значение}$$

вероятности, достигнутой на момент времени $t = t^*$ при реализации первоначального плана создания СИ. При этом производственная функция будет иметь излом в момент времени $t = t^*$ (рис. 7, а).

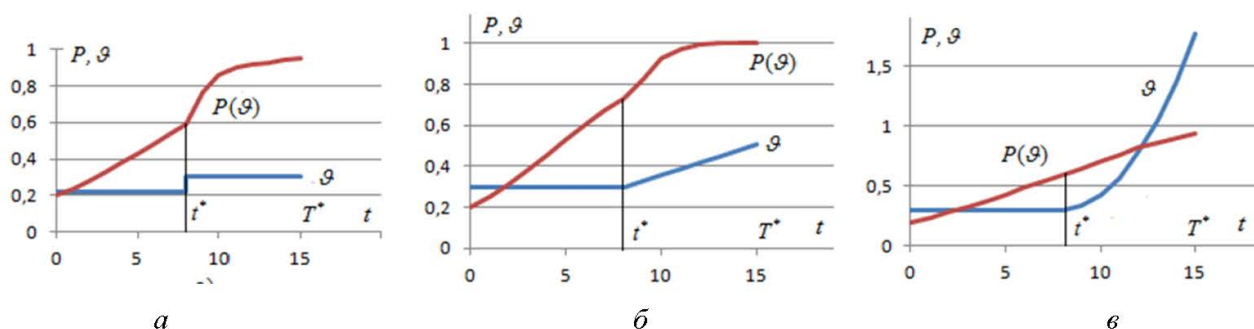


Рис. 7. Трансформация вариантов

Второй вариант трансформации может быть реализован в случае невозможности мгновенного изменения темпа производства. Предположим, что изменение темпа возможно по линейному закону:

$\vartheta = \vartheta_{\text{ПЛ}} + a_1(t - t^*)$ при $t^* < t \leq T^*$. Значение параметра a_1 , обеспечивающее выполнение плана с вероятностью $1 - \gamma$ равно: $a_1 = -2 \cdot \left(\ln \left(\frac{(1 - \gamma) p_0^*}{\gamma(1 - p_0^*)} \right) + \vartheta_{\text{ПЛ}} T^* \right) / (T^* - t^*)^2$. При этом производственная функция уже не будет иметь излома в момент времени $t = t^*$, а темп производства еще будет иметь излом в точке $t = t^*$ (рис. 7, б).

Третий вариант трансформации может быть применен для инерционных непрерывных производств в случае невозможности обеспечения излома для функции темпа производства. Зададим изменение темпа производства с помощью гладкой функции – квадратической параболы: $\vartheta = \vartheta_{\text{ПЛ}} + a_2(t - t^*)^2$ при $t^* < t \leq T^*$. Значение параметра a_2 , обеспечивающее выполнение плана с вероятностью $1 - \gamma$, равно: $a_2 = -3 \cdot \left(\ln \left(\frac{(1 - \gamma) p_0^*}{\gamma(1 - p_0^*)} \right) + \vartheta_{\text{ПЛ}} T^* \right) / (T^* - t^*)^3$. При этом и темп производства, и производственная функция будут в окрестности точки $t = t^*$ гладкими функциями (без изломов) (рис. 7, в).

Четвертый вариант трансформации первоначального плана возникает в случае недостаточности ресурсного обеспечения для его реализации в случае производств, которые могут быть мгновенно перестроены от темпа ϑ до ϑ^* . Предположим, что ресурса достаточно только для обеспечения интенсивности, равной ϑ^* , причем $0 < \vartheta^* < \vartheta_{\text{ПЛ}}$. Тогда оценка новой продолжительности T^* создания СИ с вероятностью $1 - \gamma$ имеет вид: $T^* = \left(\ln \left(\frac{(1 - \gamma) p_0^*}{\gamma(1 - p_0^*)} \right) \right) / \vartheta^*$, причем $T^* > T$, $p_0^* = p_0 / (p_0 + (1 - p_0) \cdot \exp(-\vartheta_{\text{ПЛ}} \cdot t^*))$ – значение вероятности, достигнутой на момент времени $t = t^*$ при реализации первоначального плана создания СИ.

Последовательное моделирование этапов ЖЦ с применением логистической модели

Результаты последовательного моделирования этапов ЖЦ с применением логистической модели для каждого этапа ЖЦ представлены на рис. 8. Предполагалось, что очередной этап ЖЦ начинается за 3 месяца до окончания предыдущего этапа ЖЦ.

Видно, что продолжительности этапов ЖЦ составляют: $t_{\text{НТЗ}} = 3$ года, $t_{\text{НИР}} = 3$ года, $t_{\text{ОКР}} = 2$ года и $t_{\text{ПРО}} = 3,5$ года. Процесс производства начинается через 8 лет, а процесс эксплуатации – через 13,5 года.

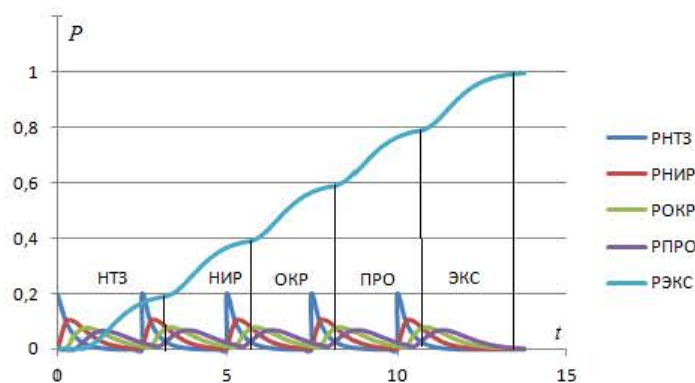


Рис. 8. Моделирование этапов ЖЦ с помощью логистической функции

Отметим, что достоинствами логистической модели являются сочетание ее простоты и достаточной адекватности реальным процессам, а также минимальные требования к наличию исходных данных, необходимых для практической реализации.

Уровень готовности СИ в процессе эксплуатации снижается по причине воздействия различных факторов (повреждений, естественного износа). Предельный срок эксплуатации достигается по мере возрастания частоты таких воздействий, как следствие, СИ подлежит только утилизации. Средний срок эксплуатации СИ – 10 лет – установлен в процессе разработки СИ.

Моделирование процесса эксплуатации СИ с учетом проведения текущего и восстановительного ремонта.

Поток отказов с интенсивностью $\lambda(t)$ с определенной вероятностью $p(t)$ переводит некоторые СИ в неисправное состояние – они подлежат текущему ремонту. Текущий ремонт (ТР) выполняется специалистами-ремонтниками поверочной организации или специалистами предприятия-изготовителя. ТР направлен на возвращение работоспособности СИ, т. е. при ТР происходит замещение воздействия потока отказов [1, 3].

Интенсивность отказов с течением времени постоянно увеличивается, это связано со деградацией и старением узлов и механизмов СИ. Зачастую используется упрощенная линейная зависимость интенсивности потока постепенных отказов от времени [3]:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \alpha t, \quad (9)$$

где λ_0 – интенсивность внезапных отказов изделия; α – скорость нарастания интенсивности постепенных отказов.

Параметры интенсивности постепенных отказов λ_0 и α (9) зависят от условий и режимов эксплуатации СИ и, как правило, могут быть рассчитаны с использованием паспортных СИ, в том числе с использованием средней наработки на отказ.

Средний и капитальный ремонт (СР и КР) проводится с целью недопущения и снижения действия постепенных отказов. Он включает в себя диагностику технического состояния, профилактические замены составных частей, регулировочные и наладочные работы. СР и КР осуществляются силами предприятий-изготовителей, при этом СИ восстанавливается до максимального уровня его готовности.

На рис. 9 представлена динамика коэффициента готовности K_A и средней готовности $K_A^{(сред)}$ образца СИ в процессе эксплуатации с проведением периодических проверок и восстановительных ремонтов.

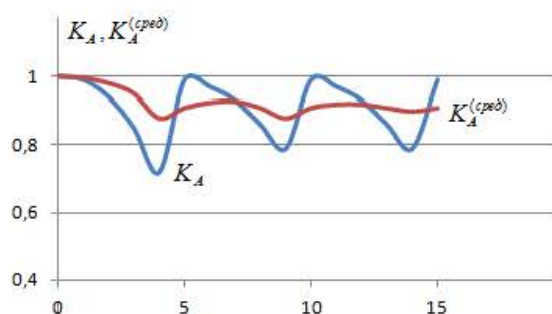


Рис. 9. Динамика коэффициента готовности образца СИ к применению

Отметим, что существуют оптимальные значения периодичности проверок и межремонтных интервалов [1, 7], которые обеспечивают в среднем максимальное значение коэффициента готовности.

Методика определения целесообразности продолжения эксплуатации.

Восстановление СИ требует соответствующих затрат материальных и временных ресурсов. В качестве критерия целесообразности проведения ремонта и продолжения эксплуатации [3] может служить превышение затрат на ремонт и последующую эксплуатацию в течение последующих двух-трех лет над затратами на приобретение нового образца СИ.

Выводы

Представленный в статье научно-методический аппарат используется при обосновании вариантов программ долгосрочного и среднесрочного развития средств метрологического обеспечения специальной техники. Он позволит решать широкий спектр задач, возникающих при подготовке предложений в среднесрочные и долгосрочные программы развития холдинга «РЖД». Низкая требовательность к исходным данным, необходимым для их реализации, и простота, а также достаточно высокое соответствие реальным процессам являются достоинствами предлагаемых математических моделей.

Представленные в статье полумарковские модели могут быть использованы для моделирования и анализа динамики выполнения проектных работ по созданию сложных технических систем и другой высокотехнологичной продукции.

Список литературы

1 Сычев, Е. И. Основы военной метрологии : монография / Е. И. Сычев, В. Н. Храменков, А. Д. Шкитин. – Москва : Воениздат, 1993. – 390 с.

2 Брезгин, В. С. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе / В. С. Брезгин. – Москва : Издательская группа «Граница», 2013. – 520 с. – ISBN 978-5-217-03458-1.

3 Буравлев, А. И. Вероятностные модели управления жизненным циклом вооружения и военной техники / А. И. Буравлев, Г. А. Еланцев // Вооружение и экономика. – 2021. – № 3(57). – URL: [http://www.viek.ru/57/vie_21_3\(57\)-045-065.pdf](http://www.viek.ru/57/vie_21_3(57)-045-065.pdf) (дата обращения 15.11.2022)

4 Буренок, В. М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники / В. М. Буренок // Вооружение и экономика. – 2014. – № 2(27). – URL: http://www.viek.ru/vie_14_2.pdf (дата обращения: 15.11.2022).

5 Клочков, В. В. Модель управления прикладными исследованиями и разработками в наукоемкой промышленности / В. В. Клочков, А. В. Дутов // Экономический анализ: теория и практика. – 2020. – № 35(290). – С. 9–17. – ISSN 2311-8725.

6 Буравлев, А. И. Модели управления ресурсным обеспечением проектов создания высокотехнологичной продукции / А. И. Буравлев // Вооружение и экономика. – 2019. – № 4(50). – URL: <http://www.viek.ru/50/62-71.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).

7 Хайруллин, Р. З. Оптимизация процессов эксплуатации и обновления парка измерительной техники / Р. З. Хайруллин // Измерительная техника. – 2022. – № 8. – С. 28–34. – ISSN 0368-1025.

References

1 Sychev, E. I. Fundamentals of metrology of military equipment : monograph / E. I. Sychev, V. N. Khramenkov, A. D. Shkitin. – Moscow : Voenizdat. 1993. – 390 p.

2 Brezgin, V. S. Methodology of program-target planning of the development of the weapons system at the present stage / V. S. Brezgin. – Moscow : Granica Publishing Group, 2013. – 520 p. – ISBN 978-5-217-03458-1.

3 Buravlev, A. I. Probabilistic life cycle management models of weapon and military equipment / A. I. Buravlev, G. A. Elantsev // Armament and Economics. – 2021. – No. 3. – URL: [http://www.viek.ru/57/vie_21_3\(57\)-045-065.pdf](http://www.viek.ru/57/vie_21_3(57)-045-065.pdf) (date of access: 11/15/2022).

4 Burenok, V. M. Problems of creating a control system for the full life cycle of weapons, military and special equipment / V. M. Burenok // Armament and Economics. – 2014. – No. 2(27). – URL: http://www.viek.ru/vie_14_2.pdf (date of access: 11/15/2022).

5 Klochkov, V. V. Management model of applied research and development in the high-tech industry / V. V. Klochkov, A. V. Dutov // Economic Analysis : Theory and Practice. – 2020. – No. 35(290). – С. 9–17. – ISSN 2311-8725.

6 Buravlev, A. I. Models of resource management of projects for the creation of high-tech products / A. I. Buravlev // Armament and Economics. – 2019. – No. 4 (50). – URL: <http://www.viek.ru/50/62-71.pdf> (date of access: 11/15/2022).

7 Khayrullin, R. Z. On optimizing operation and updating processes of measuring equipment fleet / R. Z. Khayrullin // Measurement Techniques. – 2022. – No. 8. – P. 28–34. – ISSN 0368-1025.

A. S. Kornev, R. Z. Khayrullin

TO FORMATION OF MEDIUM-TERM AND LONG-TERM PLANNING PROGRAMS DEVELOPMENT OF THE FLEET OF JSC “RUSSIAN RAILWAYS” MEASURING INSTRUMENTS

Abstract. This paper provides a justification for the need to develop a number of models used in the formation of programs for medium- and long-term development of the park of measuring instruments of JSC “Russian Railways”. Models for managing the stages of the life cycle of measuring instruments of the Russian Railways are presented, including models for

creating a scientific and technical reserve, development and production of measuring instruments based on the use of a discrete semi-Markov model and a logistic model. The results of mathematical modelling are presented. The advantages and disadvantages of the proposed mathematical models are considered. The conclusion is made about the future prospects of using the considered semi-Markov models in the creation of complex technical systems and other high-tech products.

Keywords: measuring instrument, life cycle, probability, modeling, program-target planning.

For citation: Kornev, A. S. To formation of medium-term and long-term planning programs development of the fleet of JSC "Russian Railways" measuring instruments / A. S. Kornev, R. Z. Khayrullin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 2. – P. 206–216. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_206.

Сведения об авторах

Корнев Алексей Сергеевич

ФГБУ «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации,

Донской государственной технической университет (ДГТУ),

кандидат технических наук,

начальник лаборатории,

e-mail: lexkorban@yandex.ru

Хайруллин Рустам Зиннатуллович

ФГБУ «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации,

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник,

e-mail: zrkzrk@list.ru

Information about the authors

Kornev Alexey Sergeevich

FSBE «Main Scientific Metrological Centre» of the Ministry of Defense of Russian Federation,

Don State Technical University (DSTU),

Candidate of Engineering Sciences,

Head of the Laboratory,

e-mail: lexkorban@yandex.ru

Khayrullin Rustam Zinnatulloevich

FSBE «Main Scientific Metrological Centre» of the Ministry of Defense of Russian Federation,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Leading Researcher,

e-mail: zrkzrk@list.ru