

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена проблема разработки методологических основ информационного обеспечения управления эксплуатацией сложных восстанавливаемых технических систем с учетом стадий их жизненного цикла. Описаны концепция и методы информационной поддержки принятия эксплуатационно-технических решений.

Введение

В различных областях практической деятельности человек управляет эксплуатацией сложных технических систем (ТС), стремясь обеспечить их высокую готовность к использованию путем принятия управленческих решений. В связи с этим возникает проблема информационно-методологической поддержки подготовки принятия эксплуатационно-технических решений (ЭТР). Основным направлением ее решения в современных условиях является разработка и реализация совокупности взаимосвязанных методов, моделей и алгоритмов, повышающих качество принимаемых ЭТР [1, 2].

Сущность принятой нами гипотезы состоит в следующем: человек выполняет управленческие действия не на основе непосредственного наблюдения за объектом управления, а в соответствии с воспринятой информационной моделью объекта через средства информационного обеспечения (СИО) подготовки принятия ЭТР.

В цепочке связей: управляемый объект – СИО – принятие ЭТР, – СИО занимает промежуточное положение. Такой взгляд способствует преодолению противоречия между сложностью ЭТР и неразвитостью имеющихся в распоряжении человека методов и способов подготовки решений, снижению неблагоприятного влияния субъективного фактора за счет оптимального проектирования СИО. Отсутствие в настоящее время фундаментальной теории принятия ЭТР не означает, что процесс разработки и применения СИО нельзя спланировать, упорядочить и контролировать на стадиях жизненного цикла (ЖЦ) ТС.

Можно дать следующее определение СИО управления эксплуатацией сложных ТС: интерактивные автоматизированные средства, использующие модели выработки ЭТР, обеспечивающие пользователю эффективный доступ к распределенной базе данных и предоставляющие ему разнообразные возможности по получению информации в диалоговом режиме.

В таком понимании СИО управления эксплуатацией сложных ТС представляет собой совокупность следующих средств: комплекса информационных и математических моделей, методик анализа состояний системы управления эксплуатацией (СУЭ), объектов эксплуатации и выработки ЭТР, баз данных, систем управления моделями, удобных для пользователя языков моделирования, средств обработки и отображения информации. Разработка такой совокупности средств возможна при реализации специальной программы интегрированной логистической поддержки управления эксплуатацией как составной части программ обеспечения надежности, технологичности и эр-

гономичности промышленных изделий. Для этого требуется решение ряда научных задач:

– разработка методологии анализа функций управления эксплуатацией сложных ТС для строгой формулировки концепции и методов их дальнейшего совершенствования;

– обоснование совокупности формализованных требований к синтезу описательных моделей структуры и свойств ТС, моделей их поведения в режимах эксплуатации, используемых для решения частных задач информационной поддержки управления эксплуатацией;

– разработка методов решения основных прикладных задач информационного обеспечения СУЭ, учитывающих ее многорежимность и многофункциональность;

– формирование инженерных методик решения основных задач информационной поддержки ЭТР, подтверждающих корректность и работоспособность предложенных методов.

1. Концепция информационно-методической поддержки управления эксплуатацией сложных технических систем

В СУЭ сложными ТС целенаправленно решаются задачи по обеспечению своевременного и успешного их применения по назначению. Цели функционирования реализуются принятием ЭТР, конкретный состав которых определяется функциями управления эксплуатацией ТС. Ввиду отсутствия в настоящее время единства во мнениях о трактовке и содержании функций управления эксплуатацией под ними будем понимать однородные виды деятельности, объективно необходимые для реализации целей функционирования СУЭ и выделяемые по определенному признаку – масштабу процессов, их специфике, формам организации.

При рассмотрении сущности объектно-ориентированного подхода: цель – функции – решения, – выделяются общие и специфические функции управления. К общим функциям управления эксплуатацией относятся: планирование эксплуатации, оперативное управление эксплуатационно-техническими процессами (ЭТП), контроль за эксплуатацией, учет показателей функционирования ТС и их анализ. Специфическими функциями управления являются функции подсистем СУЭ по обеспечению: поставок необходимого количества образцов и их исправности; установленного запаса технического ресурса образцов; определенного запаса материально-технических средств (МТС); требуемого уровня обученности исполнителей эксплуатации. Совокупность специфических и общих функций управления эксплуатацией ТС непосредственно формирует набор ЭТР.

Последовательность формирования состава ЭТР включает:

- 1) формирование системного образа функционирования ТС;
- 2) построение процессной модели управления эксплуатацией;
- 3) формирование набора специфических функций управления эксплуатацией;
- 4) выбор конкретной специфической функции управления для ее оценки;
- 5) исследование необходимости применения общих функций управления эксплуатацией в пределах выбранной специфической функции;
- 6) формирование конкретных функций в терминах управленческих ЭТР.

Принятие ЭТР характерно для каждого из типовых режимов эксплуатации ТС: освоения A_0 , ожидания или хранения A_1 , контроля технического состояния A_2 , технического обслуживания A_3 , ремонта A_4 , транспортирования A_5 , применения по прямому назначению A_6 . ЭТР принимаются для управления состоянием ТС в режимах эксплуатации и управления самими режимами эксплуатации. В обоих случаях технология принятия ЭТР представляет собой совокупность методов, способов и процедур информационного анализа ситуации, постановки гипотез, выработки решений, организации и контроля их выполнения.

Главный принцип функционирования описанной модели управления эксплуатацией ТС основывается на разделении процессов принятия управленческих решений и их специального информационного обеспечения. Полнота информационной поддержки принятия ЭТР зависит от стадий существования ТС, т.к. она связана с получением, обработкой и обслуживанием различных информационных потоков – данных о структуре, эксплуатационных свойствах, поведении ТС в различных режимах, надежности элементов, технологичности, восстанавливаемости, освоенности, безопасности и др. Это достигается информационной интеграцией в процессах разработки, производства и эксплуатации ТС.

Сформированная концепция интегрированной информационной поддержки функций управления эксплуатацией ТС имеет два уровня формализации предметной области:

- на первом уровне – описательное моделирование структуры и свойств ТС как объекта эксплуатации и моделирование поведения ТС в режимах эксплуатации;

- на втором уровне – формализация представления и визуализации данных о конструкции и эксплуатации ТС.

Концепция представляет собой систему совместного проектирования ТС и их интегрированной информационной поддержки на протяжении всего ЖЦ.

2. Единый методологический подход к описательному моделированию структуры и свойств технической системы

Для реализации сформулированной концепции необходимо выработать единый методологический подход к описательному моделированию структуры и свойств ТС. Анализ и оценка тенденций описательного моделирования позволяют сделать вывод о том, что из-за отсутствия системного подхода к формализации представления данных о конструкции при разработке ТС ряд их особенностей, таких как диагностическая структура, технологическая приспособленность к обслуживанию и восстановлению, необходимых для управления эксплуатацией, оказывается неучтенной при описании. Этому способствует и отсутствие единства в методических подходах к информационному моделированию структуры и свойств образцов.

Интеграция результатов взаимодействия разнородных систем проектирования, подготовки и управления производством, поддержки эксплуатации достигается при использовании интегрированных интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР). Задачи ИЭТР соответствуют общим и отличительным свойствам описательных моделей (ОМ). ОМ может быть рассмотрена как совокупность изображений системы, отдельные символы или сочетания символов которой находятся в некотором соответствии с опреде-

ленными элементами и состояниями системы $S = \langle N, K, O, P \rangle$, где N – множество элементов системы; K – множество отношений между элементами; O – множество реализуемых состояний элементов; P – множество реализуемых состояний системы. Исходя из вида пространства, порождающего модель, ОМ классифицируются по двум основным группам признаков, отражающих сущность предназначения ИЭТР как моделей систем, – по форме представления и степени подробности информации о моделируемой системе. Различаются трехмерные (объемные) и двухмерные (плоские) модели. Условия их оптимальности выражаются в виде отношений биективности отображения множеств N, K, O, P системы в соответствующих состояниях ОМ, минимизирующих количество информации в моделях (количество позиций и символов на каждой позиции).

В соответствии с принципами классификации и условиями оптимальности моделей методика разработки описательных моделей систем включает этапы формирования теоретической концепции, выбора вида ОМ и интеграции отображаемых элементов (ОЭ). В процессе построения ОМ установление уровня подобия модели и системы осуществляется выявлением числа и вида квалификационных категорий специалистов, взаимодействующих с объектом вооружения (ОВ) в процессе эксплуатации, ОЭ моделируемой системы определяются для каждой категории специалистов. В зависимости от целей и задач разработки ИЭТР отображаемыми элементами могут быть не только конструктивные элементы образца, но и процессы, отдельные технологические операции при контроле, обслуживании, восстановлении или учебные элементы (УЭ) при освоении. Детализированное представление формализуется при помощи графов, а их интеграция – методом обхода графа в глубину и последовательной декомпозицией ОЭ по уровням представления с отслеживанием связей от элементов верхнего уровня до терминальных узлов.

Методология оценки качества ИЭТР как ОМ систем должна быть основана на атрибутивном принципе концепции информации (информация – атрибут объективной действительности), категориях разнообразия и отражения, принципах снятия неопределенности, новизны, а также возможности в знаковой форме описывать реальный объект. На базе этого проведение сравнительной оценки различных вариантов средств представления информации о структуре и свойствах ОВ в ИЭТР возможно с использованием следующих аналитических зависимостей: если в качестве ИЭТР рассматривается идеографическая модель, то

$$I_{\Sigma} = |S_n| \sum_{i=1}^n \log_2 m_i + 2 \sum_{j=1}^{|S_n|} I_{ИЭ_j} + \sum_{\varepsilon=1}^E I_{\varepsilon} + I_{Б} B_{ТО}; \quad (1)$$

если естественная модель, то:

$$I_{\Sigma} = |S_n| \sum_{i=1}^n \log_2 m_i + 2 \sum_{j=1}^{|S_n|} I_{ИЭ_j} + \sum_{\varepsilon=1}^E I_{\varepsilon} + I_{Б} (B_{ТО} + B_{ИЭТР}), \quad (2)$$

где I_{Σ} – общее количество информации в ИЭТР; $I_{ИЭ}$ – количество информации в инструкциях ИЭТР; I_{ε} – количество информации в ε -м информацион-

ном элементе; E – количество информационных элементов в техническом описании; $B_{ТО}$ – количество букв в техническом описании; $B_{ИЭТР}$ – количество букв в инструкции ИЭТР; m – число символов в алфавите i -го элемента; S_n – количество программных состояний системы.

Использование зависимостей (1), (2) обеспечивает выбор рационального варианта ИЭТР для различных целей – повышения качества освоения, восстановления и уровня готовности ТС.

3. Информационно-методическое обеспечение оперативного управления эксплуатацией технических систем

Единый методологический подход к описательному моделированию структуры и свойств ТС позволяет решить частные задачи поддержки информационно насыщенных и продолжительных процессов при принятии ЭТР: технического диагностирования, восстановления, освоения исполнителями эксплуатации. Для этого требуется проведение декомпозиции описания структуры и свойств ТС по функциональному, конструкторскому, диагностическому, технологическому и обучающему аспектам и информационно-логическое моделирование процессов.

Информационное обеспечение диагностирования основывается на формализованных методах построения области нахождения неисправностей, определения истинного и наиболее вероятного характера восстановительных работ по статистической информации с использованием центральной базы данных (рис. 1).

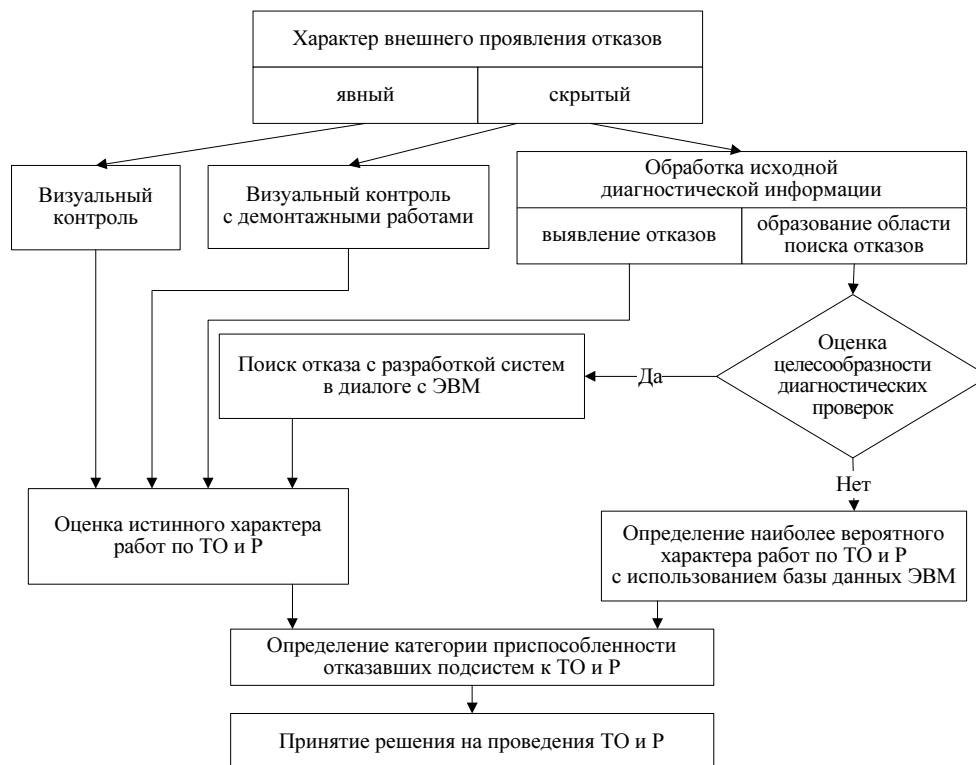


Рис. 1 Схема процесса принятия решения на проведение ТО и Р

Для формализации описания диагностический процесс целесообразно рассмотреть как процесс последовательного разрешения неопределенностей на основе сужденческой теории Е. К. Войшвилло, что отображает информационную сущность диалогового процесса выработки ЭТР.

Необходимые и достаточные условия для оценки технического состояния отказавшей ТС имеют вид

$$\sum_{z=1}^k \sum_{i=1}^m p(c_i) \sum_{j=1}^{m_k} p(\Delta y_j / c_i) \log \frac{p(\Delta y_i)}{p(c_i)} = - \sum_{i=1}^N p(c_i) \log p(c_i), \quad (3)$$

где N – число возможных состояний ТС; k – количество информационных точек; m, m_k – число диагностических интервалов параметров; $p(c_i)$ – априорная вероятность появления c_i -го состояния ($i = \overline{1, N}$); $p(\Delta y_j / c_i)$ – вероятность появления значения параметра y в Δy_j -м интервале при условии, что объект в c_i -м состоянии.

Исходя из выражения (3), процесс разрешения неопределенностей представляется в виде двух соподчиненных этапов:

– этап I – информационное взаимодействие между объектом и средствами диагностирования с целью локализации в структуре объекта минимальной совокупности элементов, отказ которых может создать зафиксированные диагностические признаки;

– этап II – информационное взаимодействие средств диагностирования с локализованной на первом этапе совокупностью элементов с целью выделения среди них отказавших.

Информационная поддержка I этапа диагностического процесса основывается на функционально-логическом моделировании конструкции ОБ с использованием граф-моделей и матричной фиксации структуры и взаимосвязей элементов. Проведенные алгоритмизация и автоматизация образования области поиска отказов для случаев моно- и полиотказов в диалоговом режиме работы специалиста с ЭВМ показали, что формализация действий на I этапе позволяет сократить время диагностирования до 1,5 раз, при этом вероятность выделения области за заданное время существенно возрастает. Анимационно-изометрический способ представления диагностической информации (ДИ) и ввод исходной ДИ в процессе диалога с помощью мнемочкода обеспечивают минимальные временные характеристики и число совершаемых ошибок.

Информационное обеспечение II этапа диагностического процесса наиболее эффективно реализуется с использованием метода минимального среднего времени поиска отказов и информационно-логической модели построения условной программы поиска по критерию

$$\min T_j^k = T_j(\alpha_1) + \sum_{S=2}^n Q_{1S}(\overline{\alpha, \alpha_S}) T_{1S}(\alpha_S) + \sum_{S=2}^n Q_{2S}(\overline{\alpha_S + 1, \beta_S}) T_{2S}(\beta_S), \quad (4)$$

где n – число испытаний, которые требуется выполнить, чтобы обнаружить k -й условно отказавший элемент в j -м варианте поиска; S – текущий номер испытания; $T_j(\alpha_1)$ – продолжительность первого (α_1) испытания в j -м до-

пустимом варианте поиска; Q_{1S} , Q_{2S} – вероятности положительного исхода последующих испытаний вслед за первым; α_S , β_S – номера элементов, проверяемых в последующих испытаниях.

Оптимизация процесса поиска производится методом динамического программирования. При этом условная программа строится не только в предположении об исходах испытаний, но и заранее помечается каждый элемент области поиска как отказавший, тем самым предопределяются состояния сигналов. Это позволяет вместо построения одной трудоемкой оптимальной программы построить сначала множество менее трудоемких программ поиска каждого из элементов, а затем «смонтировать» оптимальную программу для всех элементов. Эффективность такого подхода заключается в снижении трудоемкости вычислительных операций до 2 раз по сравнению с методом полного перебора.

Информационная поддержка управления восстановлением ОВ в условиях жестких временных ограничений, исключающих возможность организации диагностического процесса, достигается использованием информационно-справочной базы (ИСБ) для определения наиболее вероятного характера восстановительных работ [3]. Проведение пассивного эксперимента путем сбора и обработки статистической информации по случаям ремонта представительных образцов ТС показывает, что ИСБ с достаточной степенью достоверности может быть разработана на этапе испытаний опытных образцов и ранней стадии эксплуатации. По мере накопления данные в ИСБ уточняются по эмпирической байесовской процедуре. Оценка характера восстановительных работ при помощи ИСБ производится по исходной ДИ и критерию

$\max \frac{P^*(S_i)}{\tau_i}$, где $P^*(S_i)$ – статистическая вероятность S_i -го состояния ОВ,

τ_i – трудоемкость i -й восстановительной работы.

Формализация описания технологического процесса восстановления ТС осуществляется эвристическим методом формирования восстановительных операций, предусматривающим:

- 1) разбиение конструкции образца ТС на разборочные группы и подгруппы;
- 2) расчленение технологического процесса разборки выделенных групп (подгрупп) на технологически неделимые элементы (переходы);
- 3) определение содержания технологических приемов и переходов и установление последовательности их выполнения;
- 4) построение ориентированного графа процесса восстановления (ГПВ) на основе предшествования технологических переходов;
- 5) определение времени выполнения элементов восстановительных работ;
- 6) составление таблиц предшествования элементов восстановительных операций с учетом действующих производственных ограничений;
- 7) формирование операций восстановления с использованием эвристических правил образования допустимых множеств технологических приемов и переходов, удовлетворяющих условию

$$t_i \leq t_{\text{доп}} - r_k^{(t-1)},$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время восстановления (при организации работ методом универсальных постов) или такт (при методе специализированных постов); $r_k^{(t-1)}$ – суммарное время выполнения элементов операций, уже назначенных в допустимое множество к моменту t .

Проектирование описательной модели технологического процесса восстановления ТС с использованием указанного метода обеспечивает достижение минимальной трудоемкости выполняемых работ, учет действующих в условиях ремонта временных и производственных ограничений и ее адаптацию для использования при подготовке ЭТР.

Задача информационной поддержки процесса освоения ТС решается путем информационно-логического моделирования содержания и последовательности освоения, создания на этой основе средств освоения в ИЭТР. При этом в качестве отображаемых элементов ОМ рассматриваются учебные элементы и их логические взаимосвязи, представляемые в виде графа. Таким образом устанавливается четкая преемственность различных информационных блоков. Проведенная экспериментальная оценка экономической эффективности преобразования комплекта эксплуатационной документации ТС в электронный вид показывает, что данные о конструкции и эксплуатации ТС в виде текстовых и графических документов, размещаемые в 72 книгах на 6022 листах бумажного носителя в электронных публикациях ИЭТР, занимают объем в 2177,5 Мб и размещаются на трех CD-носителях, а при сжатии информации – на одном.

4. Информационно-методическое обеспечение управления многорежимной эксплуатацией технических систем

Информационно-методическая поддержка управления многорежимной эксплуатацией ТС при разработке ИЭТР вновь создаваемых ТС связана с обоснованием их программ эксплуатации (ПЭ). Для этого требуется оценка различных стратегий управления, формализация описания многорежимной эксплуатации с использованием единого подхода и обобщенного критерия оценки эффективности типа «стоимость–готовность». Традиционная система информационно-методического обеспечения разработки ПЭ этого не предусматривает, что является одной из причин существования противоречивых тенденций в сфере практической организации эксплуатации сложных ТС.

Для обоснования рациональных управляющих воздействий целесообразно моделирование поведения ТС в режимах эксплуатации $A_0 \dots A_6$. Этот процесс можно представить схемой блуждающей точки на ориентированном графе $G = (A, V)$, где множеству вершин $A = \{A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$ соответствует множество режимов эксплуатации, а множеству дуг V – множество направленных переходов при смене режимов (рис. 2). Наиболее типично для ТС чередование с определенной периодичностью двух фаз эксплуатации: кратковременного хранения (ожидания) и применения по прямому назначению. Базисными вариантами управления на граф-модели являются: $G_1 = (A_1, A_2, A_0)$; $G_2 = (A_1, A_2, A_1)$; $G_3 = (A_1, A_2, A_3, A_1)$; $G_4 = (A_1, A_2, A_4, A_1)$; $G_5 = (A_1, A_5, A_6, A_1)$; $G_6 = (A_1, A_2, A_5, A_6, A_1)$; $G_7 = (A_6, A_2, A_5, A_6)$; $G_8 = (A_6, A_2, A_3, A_5, A_6)$; $G_9 = (A_6, A_2, A_4, A_5, A_6)$; $G_{10} = (A_6, A_6)$. Они позволяют син-

тезировать 1023 различных сочетания вариантов $\left(\sum_{n=1}^{10} C_{10}^n = 2^{10} - 1 \right)$, являющихся альтернативными при формировании ПЭ.

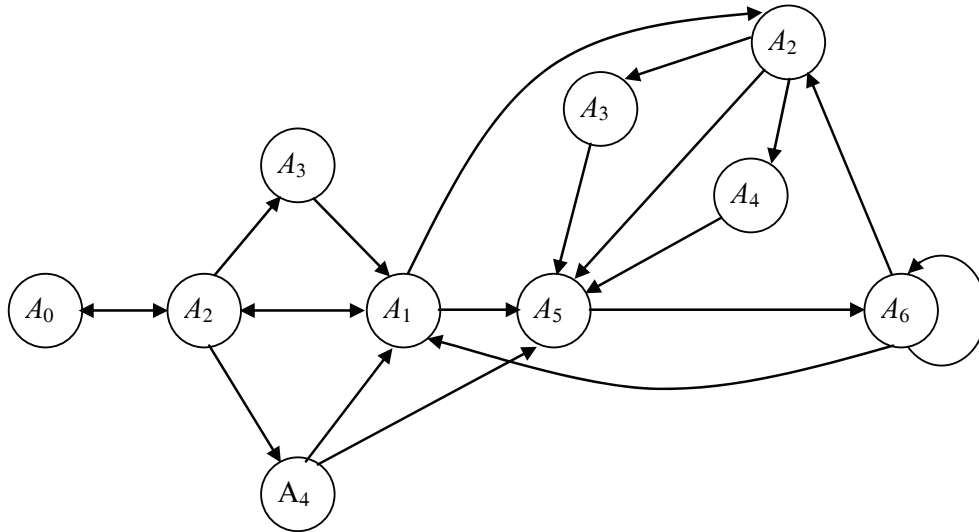


Рис. 2 Граф многорежимной эксплуатации образцов ТС

Так как направления переходов на граф-модели зависят главным образом от состояния образца ТС в данном режиме, а время пребывания в каждом режиме может быть как детерминированным, так и случайным, то для описания его поведения применим аппарат управляемых случайных ветвящихся процессов (УСВП).

Это двумерный дискретно-непрерывный скачкообразный процесс

$$z(t) = \{v(t), x(t)\} = \left\{ v(t), x(t) : t \in [\xi_n, \xi_{n+1}], \xi_n = \sum_{k=1}^n x_k, n = 0, 1, \dots \right\}$$

с фазовым пространством $H = I \times [0, \infty]$, $I = \{1, 2, \dots, m\}$, первая компонента которого $v_n = v(\xi_n) \in I$ характеризует номер состояния процесса после n -го скачка, а вторая компонента $x_n = x(\xi_n) \in [0, \infty]$ – время его пребывания в состоянии v_n до перехода в следующее состояние v_{n+1} .

По условным функциям распределения времени реализации событий $F_{ij}(t)$ и безусловной функции распределения времени пребывания УСВП в i -м состоянии получаются выражения для числовых характеристик – математического ожидания условного времени пребывания в состоянии i относительно перехода в состояние j τ_{ij} и математического ожидания безусловного времени пребывания ТС в состоянии i τ_i . Это позволяет определить комплексные показатели надежности через предельные вероятности состояний P_i . Для этого на граф-модели выделены два подграфа: $G^{(1)}$ с множеством

узлов $A^{(1)} = \{A_0, A_1, A_2, A_3, A_4\}$ и $G^{(2)}$ с множеством узлов $A^{(2)} = \{A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$, моделирующие соответственно эксплуатацию ТС при содержании их в готовности к применению и при применении по прямому назначению. Тогда для стационарного процесса эксплуатации сумма вероятностей пребывания ТС в состояниях фазы ожидания дает коэффициент простоя $K_{\text{п}}$, а вероятностей пребывания в состояниях фазы применения – коэффициент технического использования $K_{\text{ти}}$.

С использованием стационарного распределения вероятностей коэффициент готовности определяется для фазы ожидания как отношение $K_1 / \sum_{i \in I_A^{(1)}} P_i$, для фазы применения – $K_6 / \sum_{i \in I_A^{(2)}} P_i$, где $I_A^{(1)} = \{1, 2, 3, 4\}$, $I_A^{(2)} = \{0, 2, 3, 4, 5, 6\}$ – соответственно множество номеров режимов для фаз ожидания и применения. На основании этого вектор предельных вероятностей P_i рассматривается как вектор выходных показателей СУЭ.

Для оценки суммарных затрат на эксплуатацию ТС в течение определенного времени C_{Σ} используется подход, основанный на представлении процесса потребления ресурсов как стохастического стационарного процесса с постоянной интенсивностью потребления в каждом режиме и определении удельных суммарных стационарных затрат определенного ресурса на эксплуатацию.

На основе сформированной общей модели поведения ТС в многорежимной эксплуатации предлагаемый метод обоснования ПЭ обеспечивает учет возможных стратегий управления техническим состоянием: по ресурсу, по состоянию, по уровню надежности, по затратам. Формирование различных вариантов программ в зависимости от используемого принципа управления показано на рисунке 3.

Любая из синтезированных программ характеризуется вектором управляемых параметров X : периодом планового контроля, моментом проведения и полнотой непланового (инспекционного) контроля, видом и полнотой восстановления ресурса. Суть метода состоит в построении такой последовательности $X^0 \dots X^{\ell}(R_j)$, где R_j – индекс варианта реализации j -й компоненты вектора X ; $X^0(R_j)$ – вариант стратегии управления, при которой обеспечивается монотонно возрастающая (убывающая) последовательность значений системы показателей $\Xi(t) = \{K_{\Gamma}(t), C_{\Sigma}(t)\}$, характеризующих технико-экономическую эффективность ПЭ. Выбор оптимального варианта ПЭ из множества оцениваемых осуществляется по критерию минимума эксплуатационных затрат при выполнении целевых требований к коэффициенту готовности.

Обоснование управляемых показателей периодического контроля (ПК) с охватом всей совокупности мероприятий планового и непланового контролей проводится с учетом показателей инспекционного контроля должностными лицами различных уровней управления. Для этого синтез модели поведения ТС в режиме контроля A_2 осуществляется конкретизацией общесис-

темной модели и декомпозицией исходной модели на подмодели поведения ТС в фазах применения и ожидания. Обоснование выбора вида законов распределения вероятностей переходов в различные состояния позволяет получить расчетные соотношения для оценки показателей ПК в фазах применения и ожидания. Эти соотношения обеспечивают определение средней наработки до отказа контролируемой и неконтролируемой частей ТС как в режиме «работы», так и в режиме «отдыха» в течение межпроверочного интервала и системное обоснование допустимых вариантов и показателей ПК с учетом инспекционного контроля ДЛ различных уровней управления.

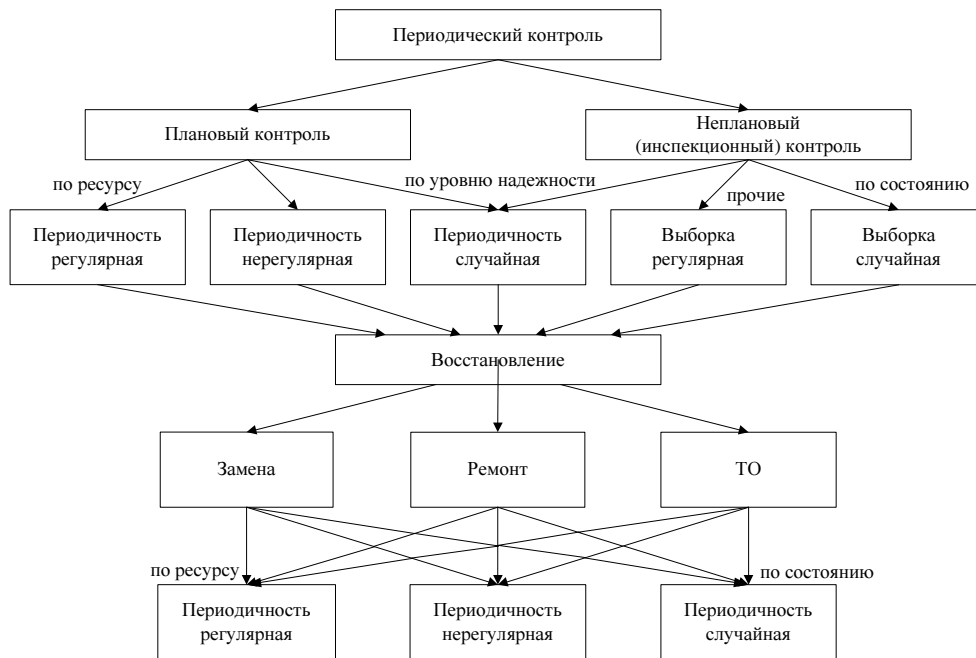


Рис. 3 Схема формирования программ управления ТО и Р

Практическая реализация описанных методов обоснования ПЭ, показателей ПК, моделей и алгоритмов управления восстановлением связана с имитационным моделированием эксплуатации ТС. Структурная схема имитационной модели (ИМ) представлена на рисунке 4.

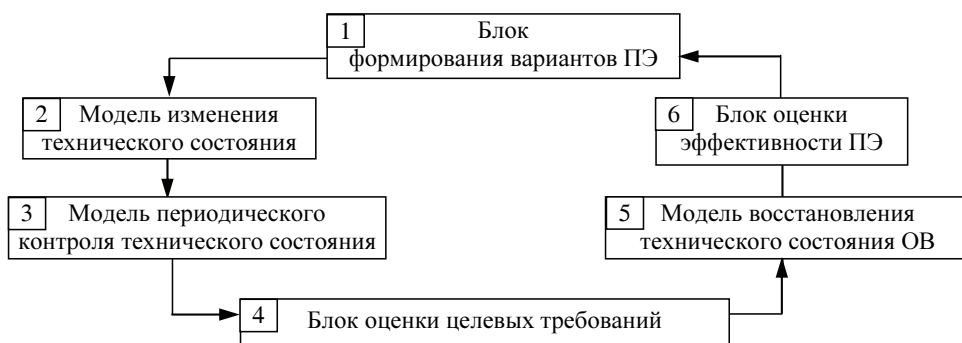


Рис. 4 Структурная схема имитационной модели управления

При моделировании эксплуатации ТС генерируются базовые варианты ПЭ, представленные в виде графа на рисунке 5. Он описывает практически все известные варианты управления техническим состоянием ТС. Имитационным моделированием получают результирующие показатели вариантов ПЭ в виде графических зависимостей $K_r(t)$ и $C_\Sigma(t)$.

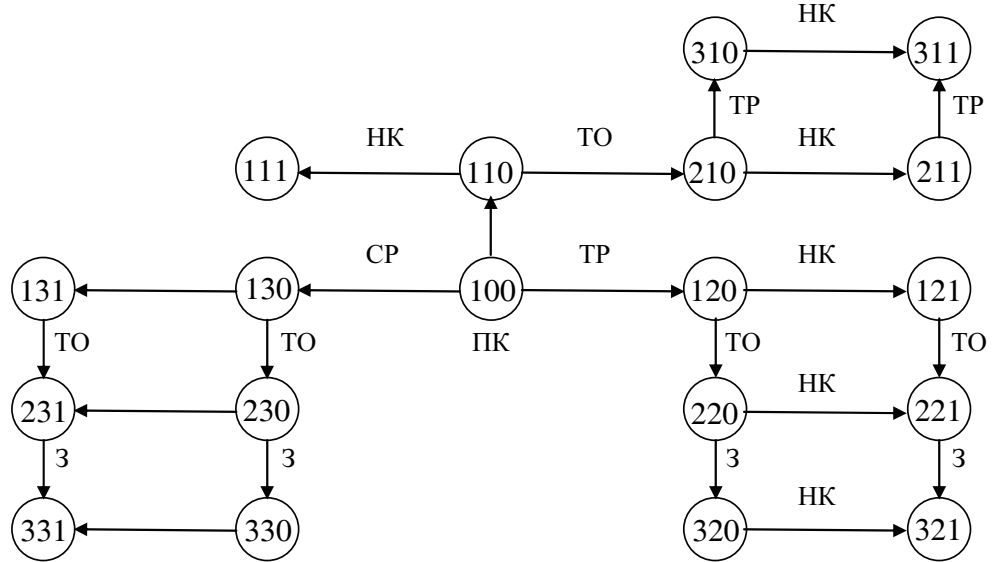


Рис. 5 Граф формирования базовых программ управления ТО и Р: ПК – плановый контроль; НК – неплановый контроль; ТО – техническое обслуживание; ТР – текущий ремонт; СР – средний ремонт; 3 – замена

Прикладная методика обоснования ПЭ вновь создаваемых ТС обеспечивает сравнение показателей эффективности вариантов программ (рис. 6).

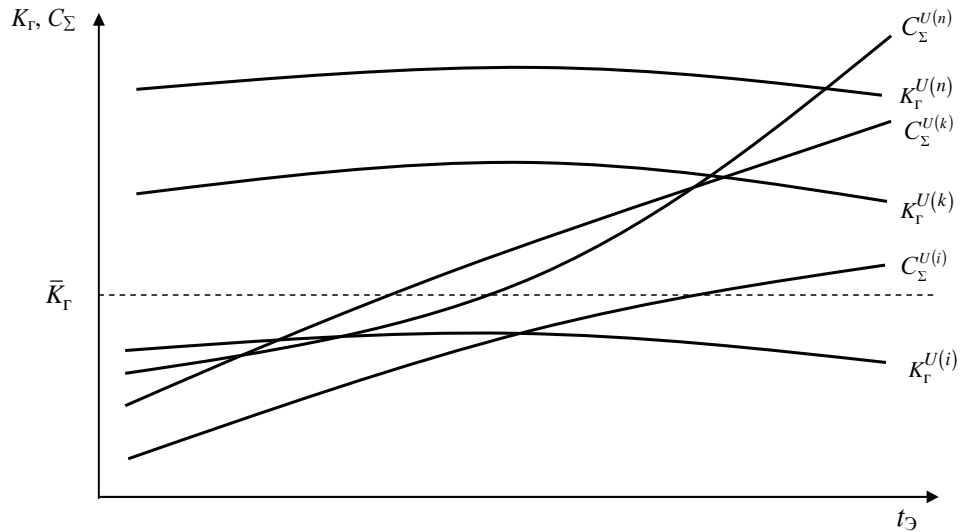


Рис. 6 Типовые зависимости результирующих показателей вариантов программ эксплуатации

Взаимным сравнением зависимостей определяется предпочтительный вариант. Это информационно поддерживает выбор обоснованных решений при разработке эксплуатационной документации в составе ИЭТР.

5. Система поддержки принятия эксплуатационно-технических решений

Практическая реализация рассматриваемой концепции информационной поддержки управления эксплуатацией сложных ТС связывается с разработкой системы поддержки принятия ЭТР (СППЭТР), являющейся ее материальной основой. Для этого полученные результаты целесообразно интегрировать по двум основным направлениям. Первое связано с применением экспертных систем, проблемно ориентированных на решение информационно-расчетных задач (ИРЗ) управления эксплуатацией ТС. Второе направление связано с использованием оперативного математического моделирования поведения параметров СУЭ и ее компонент в реальном масштабе времени или в опережающем темпе с целью представления ЛПР оценки складывающейся ситуации и обоснования рациональных ЭТР. СППЭТР рассматривается как интерактивная экспертно-аналитическая система с развитыми базами данных и знаний, базами математических моделей решения информационных, расчетных и имитационных задач должностными лицами (ДЛ) СУЭ.

Проектирование СППЭТР включает обоснование организационной и функциональной структур системы. Для обоснования организационной структуры СППЭТР используется метод организационного моделирования, который обеспечивает избыточность и оперативность выполнения требований объекта управления. При этом в качестве теоретической модели структуры СУЭ рассматривается матрично-штабная структура, позволяющая управлять всей системой как единым объектом, сохраняя различную целевую направленность структурных звеньев. Метод реализуется последовательным выполнением этапов, представленных на рисунке 7. Для обоснования численности автоматизированных рабочих мест (АРМ) используется методика распределения ЭТР по уровням управления, основывающаяся на исследовании загрузки ДЛ СУЭ при решении основных информационных и информационно-расчетных задач различных уровней управления.

Функциональный базис СППЭТР строится для решения комплексной триединой задачи: «оценка–диагностика» – «прогноз–имитация» – «принятие решения–управление». Для этого задачи, обеспечивающие принятие ЭТР, группируются на классы детерминированных и динамических моделей, а в состав функциональной схемы включаются модули автоматизации решения ИРЗ и имитационных задач.

Состав задач модулей функциональной структуры СППЭТР определяется исходя из глобальной цели, целей функционирования СУЭ и состава функций управления на уровне ЭТР с учетом специфики работы ДЛ (функций планирования, отчетности, оперативного управления).

Прикладное программное обеспечение модуля ИРЗ включает 19 информационных и 11 расчетных задач, позволяющих автоматизировать наиболее трудоемкие задачи органов управления эксплуатацией ТС по учету наличия образцов и МТС, по организации снабжения и восстановления.

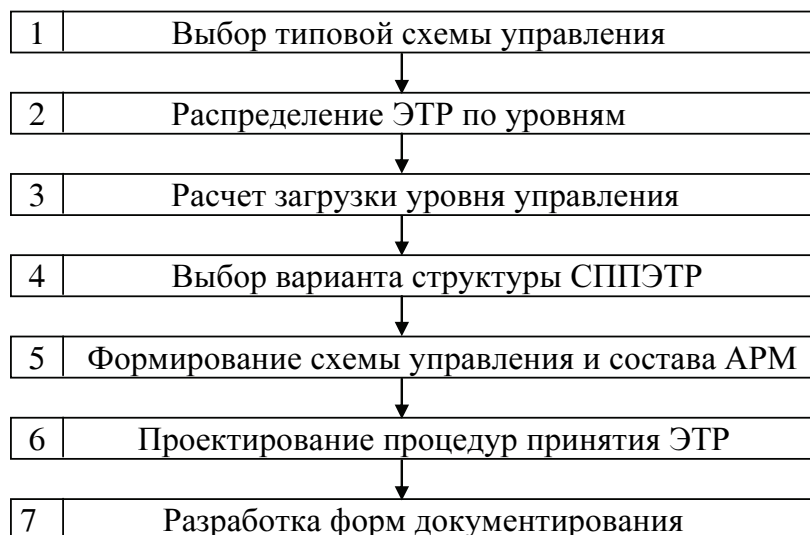


Рис. 7 Этапы обоснования СППЭТР методом организационного моделирования

Модуль автоматизации решения имитационных задач обеспечивает оперативное динамическое моделирование ЭТП при восстановлении ТС и обеспечении МТС, проведение статистических экспериментов и определение параметров функционирования СУЭ с учетом вероятностного протекания процессов. Это позволяет осуществлять обоснованный выбор рациональных решений в сложившихся условиях, разработку практических рекомендаций по организации эксплуатации ТС. В модуле реализуется процесс конструирования модели СУЭ в условиях действия ресурсных ограничений, исследования и оценки различных стратегий поведения системы.

Принятая система ограничений упрощает моделирование, уменьшает затраты ресурсов при разработке имитационных моделей (ИМ). Проверка ИМ на адекватность и точность проводится с применением формальных и неформальных методов верификации моделей. Заданная точность моделирования достигается при выполнении 20...25 прогонов моделей.

Оценка эффективности СППЭТР включает оценки оперативной и военно-экономической эффективности начального варианта системы. Такой метод позволяет учитывать этапы развития СППЭТР и определять приращение показателей эффективности, что обеспечивает выбор рационального варианта развития на каждом этапе. Его использование для оценки эффективности начального варианта системы показало, что с применением СППЭТР время цикла управления сокращается в 3...4 раза, а коэффициент снижения трудоемкости работ составляет 3,5.

Заключение

Разработанное информационно-методическое обеспечение повышает эффективность управления эксплуатацией сложных ТС. Основным научным результатом проведенных исследований заключается в достижении конечной цели – в разработке совокупности взаимосвязанных методов создания и применения средств информационного обеспечения ЭТР при управлении эксплуатацией сложных восстанавливаемых ТС.

Список литературы

1. **Катулев, А. Н.** Математические методы в системах поддержки принятия решений / А. Н. Катулев, Н. А. Северцев. – М. : Высшая школа, 2005. – 312 с.
2. **Ярославцев, Ю.** Информационная поддержка эксплуатации военной техники как средство «захвата и удержания» заказчика / Ю. Ярославцев // Военный парад. 2004. – № 5 (65). – С. 72–73.
3. **Алчинов, В. И.** Управление техническим обслуживанием и ремонтом ракетно-артиллерийского вооружения : монография / В. И. Алчинов. – Пенза : ПАИИ, 2000. – 222 с.