

УДК 623.4.017

Б.Н. Ланецкий<sup>1</sup>, В.В. Лукьянчук<sup>1</sup>, И.Н. Теребуха<sup>2</sup><sup>1</sup> Харьковський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Воинская часть А0780, Львов

## КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРОЙ

*Разрабатывается комплексная модель контроля и восстановления работоспособности сложной технической системы (СТС) с многоуровневой структурой, описывающая процессы контроля технического состояния (КТС), поиска места отказов (ПМО) и замены дефектных типовых элементов замены (ТЭЗ) в виде стохастического сетевого графа. Комплексная модель представляет собой размеченный стохастический сетевой граф и аналитические зависимости математического ожидания и дисперсии продолжительности восстановления работоспособности СТС на уровне функциональных систем (ФС), функциональных узлов (ФУ), функциональных модулей (ФМ), ТЭЗов и СТС в целом.*

**Ключевые слова:** стохастический сетевой граф, контроль технического состояния, модель надежности.

### Введение

**Постановка проблемы.** В настоящее время актуальным является проведение работ по внедрению стратегии эксплуатации по состоянию разрабатываемых и эксплуатируемых СТС. Для ее реализации необходима разработка методов и средств технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), которые позволяют обеспечить периодически (или непрерывно) контроль работоспособности (РС) и, при необходимости, ПМО в СТС с заданной глубиной (до ТЭЗ), замену дефектных ТЭЗов на РС из комплекта ЗИП и т.д. Разработка такой СТС должна проводиться с обоснованием требований к системе ТО и Р СТС и ее подсистемам, а именно: к подсистемам контроля работоспособности (КРС); ПМО; замены дефектных ТЭЗ и др. Для этого необходимо располагать комплексными моделями, совместно описывающими процессы: КРС (КТС), ПМО на различных иерархических уровнях СТС с глубиной до ТЭЗа; замены дефектного ТЭЗа и последующие КРС ФУ, ФС и СТС в целом для подтверждения правильности восстановления работоспособности (РС). Научно-методический аппарат по комплексному обоснованию таких подсистем СТС разработан недостаточно полно.

В связи с этим, актуальной является задача разработки комплексной модели КТС и восстановления РС СТС с многоуровневой структурой.

**Анализ литературы.** Вопросам теории и практики КТС, ПМО и восстановления РС СТС посвящено большое количество работ [2 – 5]. В частности в [2] рассматриваются принципы и теоретические аспекты построения системы КТС СТС в процессе их создания, приводятся методики анализа и синтеза системы контроля СТС.

В [3, 5] рассматриваются методы и средства технической диагностики СТС, принципы выбора

параметров для контроля РС и алгоритмов ПМО в сложных структурах, при этом система технического диагностирования рассматривается как подсистема ТО и Р.

Вопросы обоснования подсистем системы ТО и Р СТС с многоуровневой структурой, эксплуатируемой по состоянию, проработаны не достаточно, в частности, задачи обоснования требований и синтеза подсистем КТС, ПМО, восстановления РС формулируются и решаются, как правило, к каждой подсистеме в отдельности, при этом объекты контроля, ПМО и др. рассматриваются одноуровневыми.

Для СТС с многоуровневой структурой требуется формализация и решение выше названных задач, как в известной постановке, так и в комплексной. В современной литературе комплексный подход для решения таких задач отсутствует.

**Цель статьи.** Разработка комплексной модели КТС и восстановления РС СТС с многоуровневой структурой.

### Основная часть

СТС представляет собой сложную иерархическую структуру, состоящую из функционально связанных ФС, ФУ, ФМ, ТЭЗов.

Процесс КТС и восстановления РС такой СТС можно разбить на следующие этапы:

– обнаружение факта неработоспособности (НРС) СТС по результатам контроля функционирования (КФ) или КРС и определение НРС ФС;

– определение НРС ФУ в выделенной на предшествующем этапе НРС ФС по результатам ПМО на уровне ФС;

– локализация места отказа в НРС ФУ с точностью до ФМ либо отдельного ТЭЗа по результатам ПМО на уровне ФУ (посредством анализа результатов определенной совокупности проверок, показа-

ний встроенных и внешних средств контроля и диагностики, либо путем выполнения последовательности проверок и пробных замен ТЭЗов);

– замена НРС ТЭЗа на исправный и при необходимости регулировка восстановленного ФУ (замененного ТЭЗа) либо ФС;

– проверка РС восстанавливаемой ФС и СТС в целом.

Система контроля и диагностики СТС должна обеспечивать требуемую полноту КРС СТС и соответствующую величину коэффициента глубины ПМО, т.е. система восстановления РС (СВР) должна обеспечивать ПМО для всего перечня неисправностей, обнаруживаемых КРС СТС, а периодически выполняемый КРС должен своевременно и с требуемой достоверностью обнаруживать факт возникновения отказа СТС. КФ современных СТС, как правило, проводится при каждом их включении, в паузах между выполнениями задач и перед выключением, что позволяет при условии высокой достоверности КФ своевременно обнаруживать большинство отказов.

ПМО и их устранение в СТС осуществляется по результатам КФ и представляет собой последова-

тельный логический процесс переработки информации, получаемой оператором при ПМО на уровнях ФС, ФУ и т.д. до отыскания НРС ТЭЗа с помощью регламентированных внешних и встроенных средств контроля и диагностики. Процесс КРС СТС, ПМО и их устранения можно рассматривать стохастическим, что обусловлено неопределенностью места нахождения отказа в СТС.

Адекватное описание таких процессов можно осуществить с помощью стохастического сетевого графа (ССГ) (рис. 1), в котором имеются 3 типа элементов: контроля, замены и регулировки; сравнения, выполнения условий, принятия решений; объединения, изображаемых на ССГ соответственно прямоугольниками, ромбами и кругами. При этом множеству прямоугольников соответствуют операции КРС, замены ТЭЗов, регулировки и настройки ФС (ФМ, ФУ); множеству ромбов – операции принятия решений по результатам ПМО, КФ, КРС; множеству кругов – операции объединения. Множество направленных дуг-связей такого ССГ определяет логическую последовательность выполнения вышеназванных операций восстановления РС СТС.

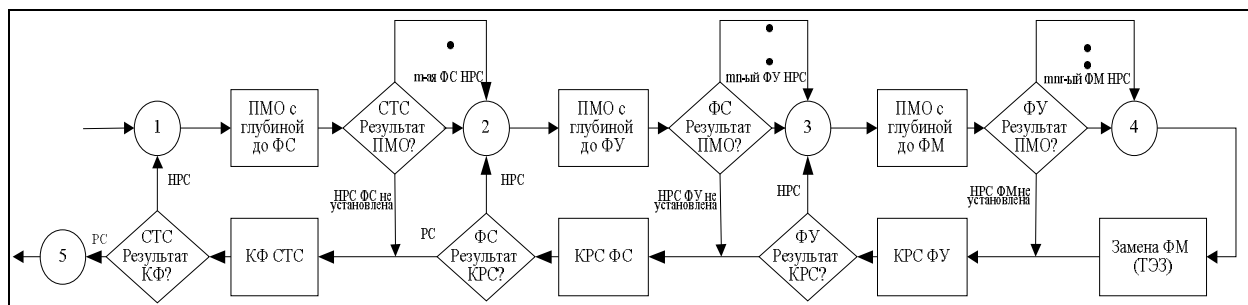


Рис. 1. Стохастический сетевой граф процесса восстановления работоспособности СТС

Входным полюсом графа является обнаружение факта отказа СТС, а выходным полюсом – факт установления РС СТС после устранения отказа. В силу стохастического характера ПМО и их устранения ССГ должен иметь определенное количество взаимоисключающих исходов и связанных с ними полных путей, т.е. описывать полные группы событий. При этом каждый полный путь описывает процесс ПМО в СТС и замены отказавшего ТЭЗа и последующего контроля РС восстановленных соответствующих ФМ, ФУ, ФС и СТС в целом.

На рис. 1 входной полюс (обнаружение факта НРС СТС) обозначен номером 1, следующие за ним прямоугольник "ПМО с глубиной до ФС" и ромб "СТС. Результат ПМО?" характеризуют процесс отыскания НРС ФС по результатам КФ. При этом, прямоугольник "ПМО с глубиной до ФС" характеризует м.ож. (дисперсию) продолжительности вспомогательных операций для диагностирования СТС и м.ож. (дисперсию) продолжительности собственно диагностирования, по результатам которого принимается решение о НРС  $m$ -ой ФС, а исходящие из ромба "СТС. Результат ПМО?" дуги характеризуют

вероятности принятых решений: " $m$ -ая ФС НРС" по результатам ПМО СТС с глубиной до ФС.

Далее по графу следует круг "2", означающий объединение выходов логического блока с решениями о НРС  $i$ -й ФС, ( $i = \overline{1, m}$ ) и результата контроля РС ФС после ее восстановления. Выходная стрелка из круга "2" характеризует логическую последовательность ПМО, когда после выявления НРС  $m$ -ой ФС осуществляется ПМО в этой ФС с глубиной до ФУ. Далее по графу следует прямоугольник "ПМО с глубиной до ФС $_m$ ", характеризующий продолжительность выполнения вспомогательных операций для ПМО в  $m$ -й ФС и продолжительность собственно диагностирования  $m$ -й ФС с решением о НРС  $m$ -го ФУ и ромб "ФС $_m$ . Результат ПМО?" с  $(m+1)$  выходом, причем  $m$ -й выход характеризует принятое в результате ПМО решение: " $n$ -й ФУ  $m$ -й ФС НРС" и его вероятность.

Выход  $(m+1)$  этого ромба характеризует возможный результат ПМО в  $m$ -й ФС: "отказ в  $m$ -й ФС не выявлен". Далее по этому пути следует прямоугольник "КРС ФС", характеризующий м.ож. про-

должительности ПМО в  $m$ -й ФС до принятия этого решения, и м.ож. продолжительности выполнения КРС  $m$ -й ФС, по результатам которого принимается одно из решений: "ФС<sub>м</sub> РС" или "ФС<sub>м</sub> НРС" (выходы ромба "ФС<sub>м</sub>. Результат КРС?").

Если по результатам КРС  $m$ -й ФС принято решение "ФС<sub>м</sub> НРС," то продолжается ПМО в  $m$ -й ФС, в противном случае проводится КФ СТС, что обозначено на графе прямоугольником "КФ СТС", характеризующем продолжительность процесса КФ.

В результате КФ принимается одно из решений, показанных исходящими из ромба "СТС. Результат КФ?": "СТС РС" дугами (вершина 5) и процесс ПМО на этом завершается, либо "СТС НРС" (вершина 1) и процесс ПМО продолжается. Аналогично вышеизложенному рассматривается процесс ПМО на уровне ФУ, ФМ и т.д. до требуемой глубины ПМО (рис. 1).

С использованием построенного ССГ получены расчетные соотношения для м.ож. и дисперсии продолжительности восстановления РС СТС, которые ввиду их громоздкости в данной статье не приводятся. Эти соотношения представляют собой аналитические зависимости м.ож. и дисперсии продолжительности восстановления РС СТС от частных показателей СВР, а именно: от показателей КТС СТС, от показателей диагностирования на уровне ФС, ФУ и ФМ; от показателей эффективности процесса обеспечения запасными элементами (ОЗЭ) и процесса замены отказавших ТЭЗов на исправные.

Таким образом, комплексная модель КТС и восстановления РС СТС с многоуровневой структурой, представляет собой размеченный ССГ, описывающий вышеназванные процессы, и аналитические соотношения для продолжительности процесса восстановления РС СТС на уровне ФС, ФУ, ФМ и т.д. до требуемой глубины.

При этом определяются математическое ожидание (м.ож.) и дисперсия продолжительности восстановления, а также при известной функции распределения – вероятность восстановления РС СТС

системы ТО и Р, а именно: параметров подсистем заданное время как функция от частных параметров КРС, ПМО, ОЗЭ и ремонта.

## Выводы

Разработана комплексная модель КТС и восстановления РС СТС с многоуровневой структурой, представляющая собой ССГ и аналитические зависимости показателей качества функционирования СВР СТС от ее частных показателей, а именно от показателей контролепригодности СТС; диагностируемости на различных уровнях до установленной глубины ПМО; эффективности процесса обеспечения ТЭЗами; легкозаменяемости неисправных ТЭЗов на исправные и др.

Модель позволяет решать задачи комплексного обоснования требований к основным подсистемам ТО и Р СТС.

## Список литературы

1. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкевич. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
2. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1988. – 192 с.
3. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П.С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г.В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
5. Мозгалевский А.В. Вопросы проектирования систем диагностирования / А.В. Мозгалевский, А.Н. Койда. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.
6. ГОСТ 23564-79. Техническая диагностика. Показатели диагностирования. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 16 с.

Поступила в редколлегию 15.09.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Б. Леонтьев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ С БАГАТОРІВНЕВОЮ СТРУКТУРОЮ

Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук, І.М. Теребуха

*Розробляється комплексна модель контролю та відновлення працездатності складної технічної системи (СТС) з багаторівневою структурою, яка описує процеси контролю технічного стану, пошуку місця відмов та заміни дефектних типових елементів заміни у вигляді стохастичного мережевого графу. Комплексна модель уявляє собою розмічений стохастичний мережевий граф та аналітичні залежності математичного сподівання та дисперсії тривалості відновлення працездатності СТС на рівні функціональних систем, функціональних вузлів, функціональних модулів, типових елементів заміни та СТС в цілому.*

**Ключеві слова:** стохастичний мережевий граф, контроль технічного стану, модель надійності.

## COMPLEX MODEL OF TECHNICAL CONDITION INSPECTION AND OPERATIONAL STATE RESTORATION OF THE COMPLEX TECHNICAL SYSTEM WITH LAYERED STRUCTURE

B.N. Lanetskij, V.V. Lukjanchuk, I.N. Terebukha

*Complex model is developed of the technical condition inspection and operational state restoration for the complex technical system (CTS) with layered structure. The model describes processes of the technical condition inspection, search for the failing part and replacement of typical faulty element using stochastic network column. The Complex model is the marked stochastic network column together with mathematical expectation and variance of operational state restoration duration for CTS at the functional system, functional unit, functional module, and standard replacement element levels, as well as for entire CTS.*

**Keywords:** stochastic network column, technical condition inspection, model of reliability.