

# ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Лобатый А.А., Икуас Ю.Ф.

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Получены топологические уравнения для определения вероятностей состояний (структур) подсистем сложной динамической системы. Изменение структуры сложной мультиструктурной системы описывается векторно-матричным дифференциальным уравнением для вероятностей состояний подсистем, зависящих от векторов интенсивностей смены состояний подсистем, а также – от матриц смежности и инцидентности, определяющих топологию сложной системы.

$$\dot{\mathbf{P}}^{(s)}(t) = -\mathbf{P}^{(s)}(t) \left\{ \sum_{r=1(r \neq s)}^M [\mathbf{v}_0^{(sr)}(t) + \mathbf{V}^T \mathbf{v}^{(sr)}(t) - \mathbf{A} \mathbf{u}^{(sr)}(t)] \right\}^T, \quad \mathbf{P}^{(s)}(t_0) = \mathbf{P}_0(s),$$

где  $\mathbf{P}^{(s)}$  – вектор, состоящий из вероятностей нахождения  $i$ -х подсистем в  $s$ -х состояниях ( $i = \overline{1, N}$ ,  $s = \overline{1, M}$ ), характеризующих их надёжность (исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное);  $\mathbf{p}_0^{(sr)}$  – вектор интенсивностей переходов  $i$ -х подсистем в  $r$ -е состояния под действием своих внутренних факторов;  $\mathbf{p}^{(sr)}$  – вектор интенсивностей переходов в  $r$ -е состояния смежных с  $i$ -ми подсистем;  $\mathbf{m}^{(sr)}$  – вектор интенсивностей переходов в  $r$ -е состояния каналов связи, инцидентных  $i$ -й подсистеме;  $\mathbf{V}^T$  – транспонированная матрица смежности системы размерности  $N \times N$  (рассматривается ориентированный граф системы);  $\mathbf{A}$  – матрица инцидентности системы, в которой все положительные элементы заменены нулями.

Вывод топологических уравнений основан на рассмотрении эволюции сложной стохастической системы на элементарном (бесконечно малом) интервале времени. Уравнения для вероятностей состояний подсистем получены из уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова с учётом поглощения и восстановления реализаций.

Применение данного подхода при исследовании надёжности сложных технических систем учитывает иерархический уровень подсистем. Построенные на основе полученных топологических уравнений алгоритмы прогнозирования технического состояния достаточно просто реализуемы при наличии полученной экспериментально или аналитически информации о надёжности (состоянии) подсистем сложной системы.