

КОМУНІКАЦІЇ (ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ІН.)

УДК 621.3.019

**Чернецкая Н.Б., проф.
Белецкий Ю.В.
Варакута Е.А.
Балдин И.В.**

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,
e-mail:opgd@snu.edu.ua

Рассмотрены схемы функционирования транспортной системы на макро- и микроуровнях и определены основные показатели надежности различных структур, в зависимости от последовательности расположения элементов и объединения их в транспортирующие линии. Предложена оптимальная схема размещения восстанавливаемых элементов в системе с резервированием.

Ключевые слова: транспортная система, процесс функционирования, показатели надёжности, резервирование.

Введение

Транспортные системы (ТС) на современном этапе широко применяются в угольной, горно-металлургической, химической, пищевой, строительной и пр. отраслях промышленности. Любая из этих систем включает в себя различного рода аппаратуру, обеспечивающую выполнение заданных функций конкретной транспортной системы [1, 2].

Комплекс устройств, работа которых обеспечивает стабильное функционирование ТС, обладает различной степенью надежности, которая, соответственно, влияет на надежность всей системы в целом. В отличие от обычных систем водоснабжения, наличие твердой фазы в смеси, ТС, вносит ряд особенностей в определение параметров надежности этой системы и каждой её составляющей в отдельности, предъявляет повышение требований к их надежности. Определение оптимальных параметров надежности ТС достигается путем внедрения ряда мероприятий по резервированию слабых звеньев системы и применению восстанавливаемых элементов в период функционирования запасных линий. Ввиду того, что технологический цикл производства предъявляет требование к круглосуточному функционированию ТС наличие параллельных линий основным магистралям является неременным условием при проектировании и конструировании подобных систем, что повышает общий уровень надежности её работы в течении заданного периода времени. Однако, в большинстве случаев дублирование целой линии экономически нецелесообразно, поэтому повсеместно распространено резервирование отдельных элементов ТС, имеющих минимальное значение показателей надежности и могущее привести к внезапному отказу компонента системы.

Анализ исследований и публикаций

В масштабе отдельно взятого элемента ТС, как составной единицы системы, надежность изделия оценивается в целом. Этот вид анализа производится на так называемом «микроуровне», т.е. определяется влияние долговечности работы рабочих элементов агрегата от условий работы в системе.

Такой подход к определению параметров надежности на микроуровне, не теряет своей актуальности и на макроуровне, когда рассматривается система в целом, как состоящая из последовательности соединенного оборудования, имеющих различную долговечность и продолжительность наработки до предельного состояния и объединенных в несколько параллельных линий.

Постановка задачи исследований

Рассмотрим процесс функционирования ТС как восстанавливаемой системы с резервированием. Точное значение параметров надежности: интенсивности потока отказов,

плотности распределения безотказной работы, наработки на отказ и пр., в общем виде представить затруднительно, т.к. конкретные значения каждого из показателей зависят от конфигурации системы и условий её эксплуатации, частоты переключений аппаратуры, количества оборудования и продолжительности их включения и выключения и др. Более подробно, по каждому из видов оборудования, применяемых в ТС параметры надежности рассмотрены в [1, 2].

Основное содержание исследований

Охарактеризуем ТС с точки зрения совокупности элементов, обеспечивающих перемещение транспортной единицы от поставщика к потребителю в виде схемы (рис. 1)

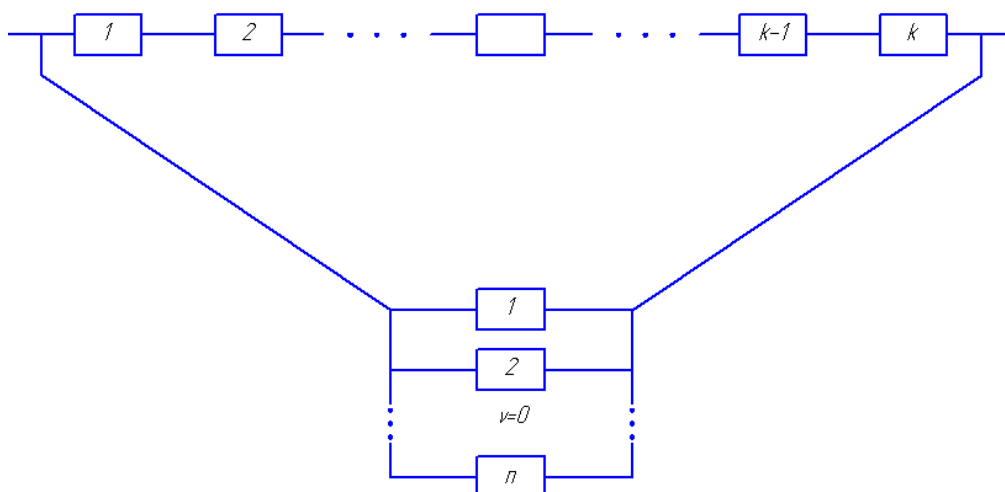


Рис. 1. Структурная схема транспортной системы

В соответствии с предлагаемой классификацией [3] схему на рис. 1 можно представить в виде

К	0	0	n	1
Е	0	0	0	Е

Данная классификация характеризует систему состоящую из k рабочих и n резервных элементов, при этом резерв является ненагруженным, т.е. в процессе работы в общем функционировании он не участвует. Кроме того, режим восстановления отказавшего элемента основной линии является полностью ограниченным, т.е. в любой момент времени не может восстанавливаться более одного отказавшего элемента, так как именно его выход из строя приводит к запуску резервной системы или элемента.

Система, структура которой изображена на рис 1, считается отказавшей в состоянии H_{n+1} , когда отказали все резервные элементы и один рабочий. Для данной системы рассматриваются две модели, соответствующие задачам, в которых состояние отказа системы является поглощающим и отражающим [3].

ТС как система оказавшись в состоянии H_{n+1} , может затем перейти в состояние H_n и т.д., т.е. после отказа восстанавливать свою работоспособность и работоспособность элементов резерва (такая система относится к отражающей), граф переходов состояний системы представлен на рис.2

$$\begin{aligned}
 H_o &\xleftarrow{M_1} \xrightarrow{\Lambda_0} H_1 \xleftarrow{M_2} \xrightarrow{\Lambda_1} \dots \xleftarrow{M_j} \xrightarrow{\Lambda_{j-1}} H_j \xleftarrow{M_{j+1}} \xrightarrow{\Lambda_j} \dots \\
 \dots &\xleftarrow{M_n} \xrightarrow{\Lambda_{n-1}} H_n \xleftarrow{M_{n+1}} \xrightarrow{\Lambda_n} H_{n+1}
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Граф переходов из одного состояния в другое системы, содержащей n резервных элементов
Поведение такой системы описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} p'_j(t) = \Lambda_{j-1} p_{j-1}(t) - (\Lambda_j + M_j) p_j(t) + M_{j+1} p_{j+1}(t) \\ p'_n(t) = \Lambda_{n-1} p_{n-1}(t) - (\Lambda_n + M_n) p_n(t) + M_{n+1} p_{n+1}(t), \\ p'_{n+1}(t) = \Lambda_n p_n(t) - M_{n+1} p_{n+1}(t), M_{n+1} \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

где $0 \leq j \leq n+1$, $\Lambda_{-1} = \Lambda_{n+1} = M_0 = M_{n+1} = M_{n+2} = 0$;

Λ_i -интенсивность перехода системы из состояния, в котором было j неисправных элементов в состояние в котором будет на один неисправный элемент больше (отказ одного из исправных элементов);

M_i -интенсивность перехода восстановлений;

$p_j(t)$ - вероятность того, что система в момент времени t находится в состоянии H_j , при этом

$$\sum_{j=0}^{n+1} p_j(t) = 1.$$

Основные показатели такой системы определяются путем разрешения системы уравнений (1), а их точное значение запишем с учетом проведения всех промежуточных преобразований.

Основным допущением, применяемым для анализа системы, является условие, что момент отказа любого рабочего элемента сразу же обнаруживается, т.е., в аппаратуре с резервированием имеется безошибочный контроль работоспособности всех элементов (автоматизированная система управления потоком в ТС), а все переключающие устройства характеризуются весьма малым временем переключения и высокой надежностью.

В тоже время в ТС на микроуровне макроэлемент n или k можно рассматривать, как совокупность составляющих устройств, соединенных в определенную структуру. Наиболее распространенной структурой из набора элементов ТС на любых этапах перемещения элементов транспортной системы является последовательно-параллельное соединение, имеющее вид (рис. 3)

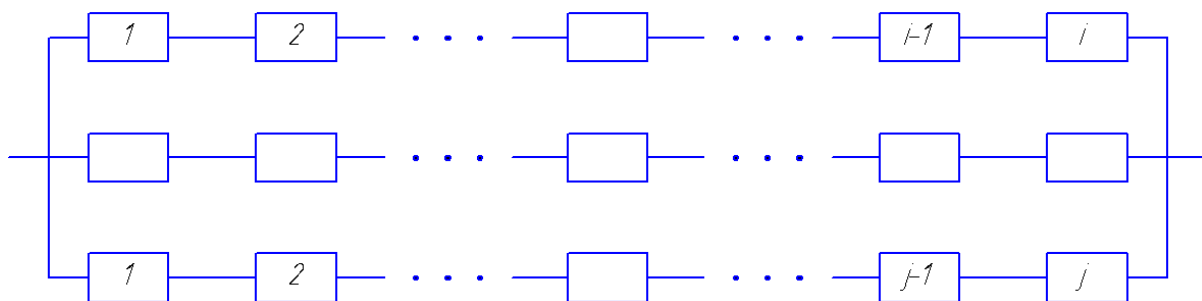


Рис. 3. Представление макроэлемента системы (см. рис. 1) в виде последовательно-параллельного соединения

Вероятность работоспособности системы за период времени t определяется выражением

$$P = 1 - \prod_{i=0}^n (1 - p_i),$$

где p_i - вероятность безотказной работы элемента соединения.

Полная вероятность отказа системы за тот же период времени будет

$$Q = \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

В подобной комбинации элементов надежность системы больше надежности любого из элементов системы, а вероятность отказа системы меньше, чем у любого из её элементов.

На практике в транспортных системах применяют 3 параллельных линии или элемента для обеспечения надежности функционирования и бесперебойности [1, 4]. Значение надежности

системы (в общем) для такого подключения видно из рис. 4.

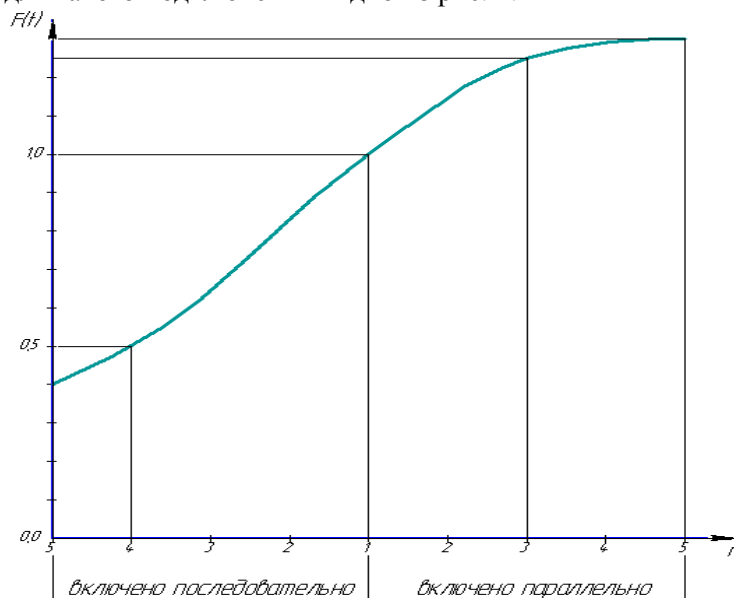


Рис. 4. Характер изменения надежности от вида структуры подключения элементов ТС

Как видно из рисунка, более 5 параллельных линий подключать нецелесообразно, а прирост надежности с 3 до 5 линий составляет всего 5%, т.е., для существующих требований к обеспечению надежности ТС необходимым и достаточным условием является наличие 3-х параллельных линий.

Выводы

Таким образом, для расчета надежности функционирования, ТС можно представить в виде многоуровневой системы описываемой следующими обозначениями:

1. ТС является системой с резервированием, состоящей из k элементов с n резервными, работающими только в период отказа резервируемого элемента основной линии и поэтому являющимися ненагруженным резервом.
2. Так как выход из строя хотя бы одной составляющей из структуры резервируемого или основного элемента приводит к отказу этого элемента, то резервирование имеет ограниченное восстановление.
3. На микроуровне элемент системы из основного или резервного состава можно представить в виде последовательно-параллельного соединения из трех параллельных линий, обеспечивающих увеличение надежности элемента системы на 25%, в то же время каждая их параллельных линий выступает в качестве резервного элемента.

Список литературных источников

1. Постников В.В. Надежность работы насосных станций магистральных трубопроводов. – Нефтяное хозяйство, 1970, №6.
2. Имбрицкий М.И. Надежность арматуры энергетических блоков. –М. Энергия, 1980. 96 с.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М., Советское радио, 1975. – 472 с.
4. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения.– М. Стройиздат, 1979. – 231 с.