

УДК 621.311.1

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Рылов Ю.А.<sup>1</sup>, Аухадеев А.Э.<sup>2</sup>, Корольков А.Ю.<sup>3</sup>, Соловьева С.И.<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> – к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,

<sup>3,4</sup> – магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;

**Аннотация:** на основе структурного анализа системы тягового электроснабжения городского электрического транспорта с позиций системного подхода предлагается методика оценки максимальной величины интенсивности отказов основных элементов при заданных значениях вероятности безотказной работы каждого элемента.

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, городской электротранспорт, надежность, интенсивность отказов, структурный анализ.

## THE ASSESSMENT METHODOLOGY OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM OF URBAN TRANSPORT ELEMENTS RELIABILITY

Rylov Yu.A., Auhadeev A.E., Korolkov A.Yu., Soloviev S.I.

**Abstract:** on the basis of structural analysis of traction power supply system of city electric transport from positions of the system approach of an estimation of the maximum value of failure rate of the basic elements at the given values of probability of failure-free operation of each element the methodology is proposed.

**Key words:** the system of traction electric supply, city electrotransport, reliability, failure, structural analysis.

Увеличение протяженности электрифицированных линий городского транспорта современных городов и быстрое развитие новой техники постоянно ставят задачи выбора типов оборудования и оценки новых устройств для систем тягового электроснабжения электрического транспорта. Эти инженерные задачи невозможно решить без количественной оценки надежности систем с новыми устройствами с учетом реальных условий эксплуатации электроподвижного состава.

Система тягового электроснабжения (СТЭ) городского электрического транспорта (ГЭТ), имеющая специфические особенности в формировании электрических нагрузок и напряжения, выборе параметров элементов, различного рода взаимодействиях, представляет собой совокупность взаимосвязанных подсистем, входящих в общую электроэнергетическую систему города. На основании заданных требований к надежности СТЭ ГЭТ необходимо выработать условие по распределению надежности между ее отдельными элементами [1, с.

311; 2, с. 134; 3, с. 37].

Задача распределения норм показателей надежности между элементами СТЭ решается на ранних этапах проектирования, в частности, при обосновании требований, устанавливаемых техническим заданием на разработку электроэнергетической технической системы, а значит, уровень надежности системы в целом обеспечивается надежностью подсистем [4, с. 292; 5, с. 19].

Надежность СТЭ зависит от степени важности элемента для функционирования системы, сложности системы и изменения надежности элемента в зависимости от характера выполняемой функции и условий эксплуатации парка подвижного состава ГЭТ [6, с. 78].

Распределение заданной надежности  $P^*$  по элементам системы требует решения следующего неравенства:

$$f(P_1, P_2 \dots P_n) \geq P^* \quad f(P_1, P_2 \dots P_n) \geq P^* \quad (1)$$

где  $f$  - функциональное соотношение между элементами и системой;

$P_n$  - заданная вероятность безотказной работы  $n$ -го элемента.

Данное функциональное соотношение можно использовать для систем с последовательным и параллельным соединением элементов, т.к. при других конфигурациях системы это соотношение не удастся представить в виде простых математических выражений [7, с. 97].

Если допустить, что элементы системы выходят из строя независимо друг от друга; отказ любого элемента приводит к отказу всей системы; интенсивность отказов элементов постоянна, тогда неравенство (1) преобразуется к виду:

$$P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) \geq P^*(t) \quad P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) \geq P^*(t) \quad (2)$$

или

$$e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_n t} \geq e^{-\lambda^* t} \quad (3)$$

где  $\lambda_i$  - интенсивность отказов  $i$ -го элемента;

$\lambda^*$  - интенсивность отказов системы.

При этом выполняется следующее условие:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \leq \lambda^* \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \leq \lambda^* \quad (4)$$

В первом приближении в расчетах можно утверждать, что надежность между всеми элементами системы распределена равномерно, а также предполагается, что система состоит из  $n$  последовательно соединенных подсистем, обладающих одинаковой надежностью [8, с. 39].

Зададимся, что  $P^*$ - требуемая вероятность безотказной работы системы, а  $P_i$  - вероятность работы  $i$ -й подсистемы, тогда справедливо:

$$P^* = \prod_{i=1}^n P_i \quad P^* = \prod_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

или

$$P_i = \sqrt[n]{P^*} \quad P_i = \sqrt[n]{P^*}, \quad (6)$$

где  $n$  - число подсистем СТЭ ГЭТ.

Таким образом, на основании структурного анализа системы и значений интенсивности отказов возможно либо оценить снизу, на уровне элементов, значение среднего времени безотказной работы; либо при заданном значении  $T_{cp}$  установить максимальные величины интенсивности отказов для подсистем.

Данная методика может быть использована инженерно-техническими работниками, занимающимися проектированием и эксплуатацией систем тягового электроснабжения городского электрического транспорта.

### Список литературы

1. Литвиненко, Р.С. Методы моделирования процесса функционирования сложных технических систем [Текст] / Р.С. Литвиненко, А.А. Волкова, А.В. Багаев // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. – №53. – С.310-311.

2. Аухадеев, А.Э. Моделирование режимов тяги силового электрооборудования электрического транспорта [Текст] / А.Э. Аухадеев. - Казань: КГЭУ, 2006. – 176 с.

3. Литвиненко, Р.С. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки [Текст] / Р.С. Литвиненко, П.П. Павлов, В.М. Гуреев, Р.Ш. Мисбахов // Вестник машиностроения. 2015. – № 6. – С. 35-39.

4. Антипанова, И.С. Методика обоснования требований к надёжности сложной технической системы на этапе разработки [Текст] / И.С. Антипанова, Р.С. Литвиненко, С.И. Соловьева, А.Ю. Корольков // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. – № 53. – С. 291-293.

5. Литвиненко, Р.С. Моделирование отказов электротехнического комплекса и его элементов на этапе разработки [Текст] / Р.С. Литвиненко, Р.Г. Идиятуллин, А.Э. Аухадеев // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. – Т.11. – №4. – С. 17-24.

6. Литвиненко, Р.С., Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса [Текст] / Р.С. Литвиненко, П.П. Павлов // Наука и современность. 2015. – №4(6). – С. 84-91.

7. Нечипоренко, В.И. Структурный анализ систем [Текст] / В.И. Нечипоренко. - М.: Советское радио, 1977. – 214 с.

8. Литвиненко, Р.С. Имитационная модель процесса функционирования электротехнического комплекса с учетом надежности его элементов [Текст] / Р.С. Литвиненко // Надежность. 2016. – №1(56). – С. 37-42.

© Ю.А. Рылов, 2017