

## АЛГОРИТМ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРОЛЛЕЙБУСА

Михайлов И.Ю., Федянин А.Л.

Научный руководитель: О.П. Муравлев, д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: mihaylov\_iy@mail.ru

**Актуальность исследования.** Тяговые асинхронные двигатели – основные электромеханические преобразователи электрической энергии в механическую для троллейбусов. Характерные особенности этих двигателей заключаются в том, что при отказе любого из них наступает отказ троллейбуса; «слабые звенья» этих двигателей – обмотки статора и ротора, для которых не существует методов технической диагностики, и развивающийся дефект всегда приводит к аварийному отказу.

**Цель работы:** разработать алгоритм статистического определения количественной оценки показателей эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбуса.

Для оценки надежности по принятой информации может быть использованы показатели наработки на отказ, интенсивности отказа, вероятности безотказной работы (ВБР)  $P(t)$ . Они обладают хорошей наглядностью, по ним можно определить остальные показатели надежности.

В ходе исследований были проанализированы отказы электрооборудования (ЭО) 47 троллейбусов на базе Томского трамвайно-троллейбусного управления. Статистика велась в течение 5 лет.

Разработанный алгоритм определяет количественные показатели надежности (ПН) описанных узлов асинхронного электрического двигателя. Для определения ПН использованы статистические методы определения надежности, основными начальными параметрами которых являются данные наработки на отказ исследуемых электрических двигателей за некоторый промежуток времени.

Согласно рекомендациям [2] для определения количественных показателей надежности, описанных выше, подходит нормальный закон распределения. На основе предельной теоремы нормальный закон распределения лучше отражает физику и имеет свою основу, в случае большого количества одинаково влияющих (не преобладающих) параметров. В предлагаемой математической модели расчет показателей надежности производится для нормального, логнормального законов распределения, а также закона распределения Вейбулла.

Нормальная модель надежности подразумевает, что вероятность безотказной работы распределяется следующим образом:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx,$$

где  $\mu$  – математическое ожидание,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

В логнормальной модели надежности вероятность безотказной работы распределяется по закону:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} dx,$$

где параметры  $\mu$  и  $\sigma$  аналогичны параметрам нормального распределения.

Функция вероятности безотказной работы модели надежности Вейбулла имеет вид:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta},$$

где  $\beta$  – параметр формы,  $\eta$  – параметр, определяющий масштаб распределения:

$$\eta = e^{\frac{a}{b}}, \\ \beta = b$$

Точность выше приведенной модели оценивается с помощью коэффициента корреляции Пирсона [3].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{P}(t_i) - \bar{P}) \cdot (P(t_i) - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\hat{P}(t_i) - \bar{P})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (P(t_i) - \bar{P})^2}},$$

Описание алгоритма:

1. Ввод исходных данных, реализованный путем чтения файла Excel с данными наработок на отказ, как только поступивших в эксплуатацию тяговых электродвигателей, так и вышедших после ремонта. Также оператору необходимо ввести значение для расчета гамма-процентной наработки и значение доверительной вероятности.

2. Анализ и обработка получившегося исходного массива данных, которая включает в себя определение среднего значения и стандартного отклонения.

3. Формирование массива данных для функции Median Rank, с помощью которой происходит вычисление всех представленных законов распределения [4].

4. Расчет вспомогательных функций для нормального, логарифмически-нормального законов распределения и закона распределения Вейбулла.

5. Расчет точностных характеристик параметров, при котором происходит уточнение значений и определение границ применимости соответствующего закона.

6. Вывод количественного значения показателей надежности двигателя (вероятности безотказной работы, наработки на отказ, интенсивности отказа и т.д.), графиков функций распределения  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\Lambda(t)$  и точностных характеристик параметров распределения.

Гистограмма, представленная на рис. 1а доказывает низкие показатели эксплуатационной надежности, а также изъяны производственно-технологической надежности на начальном этапе эксплуатации. Представленные на рис. 1б, 1в, 1г характеристики распределения ВБР, свидетельствуют о более точном определении

зависимости нормального закона распределения и закона распределения Вейбулла, относительно фактических значений. На рис. 1 представлены распределения ВБР для электрического двигателя в целом. Учитывая происходящие физические процессы во время эксплуатации, и беря во внимание коэффициенты корреляции статора, ротора и подшипникового узла, авторами принято решение о выборе нормального закона распределения, как более точного для построения модели эксплуатационной надежности электрооборудования троллейбуса.

Цифрами на рисунке обозначены:

1 – теоретическое распределение вероятности безотказной работы;  
2 – экспериментальное (расчетное) распределение вероятности безотказной работы

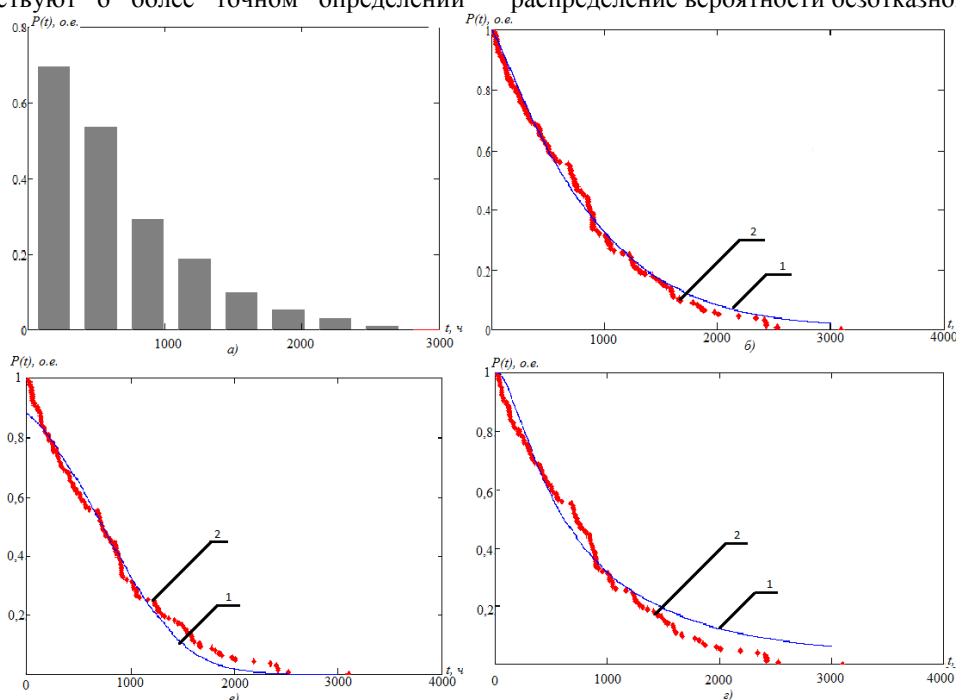


Рис.1. Гистограмма и функция распределения вероятности безотказной работы (представлены для электрического двигателя в целом): а) гистограмма ВБР ; б) функция ВБР - закона распределения Вейбулла; в) функция ВБР - нормальный закон распределения; г) функция ВБР - логнормальный закон распределения.

#### Выводы:

1. Впервые разработан алгоритм расчета количественных показателей эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбусов, позволяющая оценить как электрический двигатель в целом, так и ротор, статор и подшипниковый узел в отдельности.

2. Выбраны законы распределения эксплуатационной надежности тяговых электрических двигателей троллейбусов: нормальный, логнормальный, Вейбулла. В качестве основного принят нормальный закон распределения.

3. Представленные данные предназначены для создания программно-вычислительного комплекса количественной оценки показателей

надежности тяговых электрических двигателей троллейбусов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Морозов А.А. Синий троллейбус// Рыбинские известия. – 2013. - №2. – с.3.
2. Острейковский В.А. Теория надежности: Учебник для вузов / В.А. Острейковский. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.
3. Гусев В.В. Показатели безотказности электрических машин в реальных условиях эксплуатации алмазодобывающего комплекса // Известия Томского политехнического университета. – 2010 – Т. – №4 – С. 178–183.
4. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений: Учебник для вузов - М.: Наука, 1996. - 206 с.