УДК 656:32.001

Н.И.АДАМЕНКО, д-р техн. наук
Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина
А.Ю.ПАЛАНТ, канд. экон. наук
НИИ правового обеспечения инновационного развития Национальной Академии правовых наук Украины, г. Харьков

ПОДБОР ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ

Рассматривается проблема нестабильного обеспечения перевозок населения городским электрическим транспортом в городах Украины, в условиях использования подвижного состава со сверхнормативным амортизационным сроком, постоянно снижающимся коэффициентом выпуска и в связи с этим имеющего непрогнозируемое количество поломок (отказов). Предлагается вероятностная модель системы обслуживания пассажирского транспортного комплекса, которая даёт возможность обеспечения логистики транспортного комплекса и расчета необходимого резерва.

Розглядається проблема нестабільного забезпечення перевезень населення міським електричним транспортом у містах України, в умовах використання рухомого складу з наднормативним амортизаційних терміном, з коефіцієнтом випуску, що постійно знижується, і у зв'язку з цим він має непрогнозовану кількість поломок (відмов). Пропонується імовірнісна модель системи обслуговування пасажирського транспортного комплексу, яка дає можливість забезпечення логістики транспортного комплексу та розрахунку необхідного резерву.

The paper describes unstable provision of electric public transport in Ukrainian cities, under using the fleet with excess depreciable life, decreased vehicle production and consequently unpredicted failures. The research suggests the stochastic design of reliability of the system provided with a reserve fleet at minimal expenses for maintenance. We submit a probabilistic model of the passenger transport complex service system, which enables to provide logistics transport complex, to calculate the necessary reserve and gives the ability to repair.

Ключевые слова: транспортный комплекс, логистика, пассажироперевозки.

На всём постсоветском пространстве, в условиях развития рыночной экономики, наблюдается повышенный приток населения в крупные мегаполисы с целью трудоустройства. Резкое увеличение городского населения диктует, в свою очередь, необходимость жёсткого структурирования пассажироперевозок, что, безусловно, делает работу актуальной.

Проблема недостаточного обеспечения перевозки имеющегося пассажиропотока особенно актуальна для развитых мегаполисов Украины.

Данной проблеме уделено большое внимание в научных и публицистических работах последнего периода времени [1-7].

Одной из научных задач, ведущих к решению поставленной проблемы, есть задача повышения эффективности обслуживания транспортных перевозок.

В Украине, как и во всем мире, проблема транспортного обеспечения все возрастающего потока пассажиров в крупных мегаполисах сегодня актуальна как никогда ранее. Рост городского населения диктует необходимость жесткого структурирования пассажироперевозок, что дает дополнительную нагрузку на транспортные предприятия и их подвижной состав, который теперь вынужден работать в условиях, приближенных к экстремальным.

Транспортная система – многопрофильное и многофункциональное образование в инфраструктуре любого города. И как любая система, работающая в реальных условиях, она дает сбои.

Одним из основных показателей надежности ее работы служит количество отказов устройств различных типов (конструкций, систем) в процессе их эксплуатации. Вместе с тем этот показатель является случайной величиной. В этой связи актуальной является задача определения относительной надежности устройств различных типов по количеству отказов. Оптимальному решению указанной задачи посвящена данная статья.

Допустим, имеется N_1 устройств 1-го типа и N_2 устройств 2-го типа. В процессе штатной эксплуатации за один и тот же промежуток времени число отказов устройств 1-го типа составило m_1, а устройств 2-го типа – k_2. Величины m_1 и k_2 сравнимы только при условии, когда $N_1 = N_2$. Если указанное равенство не соблюдается, то сравнимость отказов устройств разных типов достигается путем введения величины, характеризующей частоту отказов

$$\omega_1 = m_1 / N_1 \quad \text{и} \quad \omega_2 = k_2 / N_2 . \qquad (1)$$

Частоты отказов (1) являются случайными величинами. Поэтому и при разных значениях ω_1 и ω_2 надежность устройств может быть одинаковая. В связи с этим возникает задача о вероятности получения значений частот отказов при условии одинаковой надежности устройств. Если в результате вычислений окажется, что зарегистрированное расхождение в частотах имеет относительно большую вероятность, то по величине последней можно считать, что надежность обеих типов устройств одинаковая. Если же полученное расхождение в частотах имеет малую вероятность при гипотезе одинаковой надежности устройств, то по мере этой малой вероятности можно считать, что более надежным является то устройство, у которого частота отказов меньшая.

Для получения указанной выше вероятности, исходя из (1), введем величину m_2, сравнимую с m_1. Различие числа устройств 1-го и 2-

го типов дается соотношениям:

$$\Delta N = N_1 - N_2 \ . \qquad (2)$$

Не нарушая общности, будем считать, что $\Delta N \geq 0$. Тогда, сравнимой с m_1 величиной будет величина

$$m_2 = k_2 + \Delta N \omega_2 \ . \qquad (3)$$

Полное число отказов среди устройств 1-го и 2-го типов теперь следует считать равным

$$n = m_1 + m_2 \ . \qquad (4)$$

Отметим, что вероятность ошибки при процедуре, обусловленной равенствами (3) и (4), будет тем меньшая, чем сильнее неравенство

$$N_2 > \Delta N \quad \text{и} \quad N_2 >> 1 \ . \qquad (5)$$

Предположим, что устройства 1-го и 2-го типов имеют одинаковую надежность. Это означает, что выдвигается гипотеза реализации следующего уравнения:

$$\lim \omega_1 = m_1 / N_1 = \lim \omega_2 = k_2 / N_2 \qquad (6)$$

при N_1 и $N_2 \to \infty$. Вследствие этого m_1 и k_2 также $\to \infty$. В соотношении (6) сходимость предполагается в вероятностном смысле, а не в математическом.

Согласно (6), вероятность $P(n, m_1)$ отказов m_1 при заданном n должна быть того же порядка, что и вероятность $P(m_1 = m_2)$ для случая, когда равняется нулю разность

$$\Delta m = m_1 - m_2 \qquad (7)$$

и соответственно уровни частоты $\omega_1 = \omega_2$. Если же окажется, что

$$P(n,m_1) << P(m_1 = m_2), \qquad (8)$$

то вероятность выполнения равенства (6) тем меньше, чем сильнее неравенство (8). При этом можно считать, в мере неравенства (8), что более надежным является тот тип устройств, у которого частота отка-

зов окажется меньшей.

Для получения вероятности $P(n, m_1)$ напишем выражение для вероятности $P_A(n, m_1)$ того, что некоторое событие «A» с вероятностью P_A в результате n независимых испытаний будет m_1 раз. Относительно простые соображения приводят к следующему результату.

$$P_A(n, m_1) = C_n^{m_1} P_A^{m_1} q_A^{n-m_1}, \tag{9}$$

где $C_n^{m_1} = \dfrac{n!}{m_1!(n-m_1)!}$ – число соединений с n по m_1, а

$$qa = 1 - PA \tag{10}$$

– вероятность того, что событие A не состоится.

Формула (9) имеет простой смысл. Вероятность $P_A(n, m_1)$ равняется числу событий $C_n^{m_1}$, которыми можно m_1 появлений события A разместить среди всех n испытаний, умноженному на произведение вероятностей $P_A^{m_1}$ (того, что событие A состоится m_1 раз) на $q_A^{n-m_1}$ (того, что событие A не состоится n-m_1 раз).

Назовем испытанием регистрацию отказа какого-либо устройства, а событием A – отказ устройства 1-го типа. Предположим, что устройства 1-го и 2-го типов имеют одинаковую надежность. Тогда вероятность события A – того, что отвечает отказам устройств 1-го типа – P_A = ½. Полное число зарегистрированных отказов (полное число испытаний) положим равным n, а число появлений события A положим равным m_1. Тогда согласно (10) для искомой вероятности имеем:

$$P(n, m_1) = \frac{n!}{m_1!(n-m_1)!}\left(\frac{1}{2}\right)^n. \tag{11}$$

Результат (11) позволяет сопоставить надежность устройств 1-го и 2-го типов по изложенной выше схеме.

Вычисления по формуле (11) представляют трудность при больших значениях n и m_1. В связи с этим имеет интерес более простое асимптотическое выражение, которое, как будет показано ниже, даст очень простой критерий для сопоставления надежности устройств 1-го и 2-го типов.

При больших n и m_1 можно воспользоваться формулой Стирлинга.

$$n! = \sqrt{2\pi n}\, n^n e^{-n}. \tag{12}$$

Исходя из (12) соотношение (9) можно привести к виду

$$\tilde{P}_A(n,m_1)=\frac{1}{\sqrt{2\pi P_A q_A n}}e^{-\frac{nx^2}{2P_A q_A}}, \qquad (13)$$

где

$$x=\frac{m_1}{n}-P_A \qquad (14)$$

– отклонение относительной частоты m_1/n от наиболее возможного значения P_A.

Согласно (14), интервал допустимых значений x ограничен двойным неравенством

$$-P_A \le x \le q_A. \qquad (15)$$

При получении (14) с (9) рядом с (11) предполагалось также, что

$$|x|<P_A \quad \text{и} \quad |x|<q_A. \qquad (16)$$

Из неравенств (16) вытекает, что формула (13) применима, когда $P_A \ne 0$ и $q_A \ne 0$. Аппроксимация (13) описывает процесс тем лучше, чем ближе значение P_A к q_A. Для нашего случая, когда $|x| \le \frac{1}{2}$

$$P_A = q_A = \frac{1}{2} \qquad (17)$$

асимптотика (13) является хорошим описанием для практического применения.

Подставляя в (13) и (14) численные значения (17), получим аппроксимацию результата (11)

$$\tilde{P}(n,m)=\sqrt{\frac{2}{\pi n}}\,e^{-2nx^2}, \qquad (18)$$

где

$$x=\frac{m_1}{n}-\frac{1}{2}. \qquad (19)$$

Выражение (18) достигает максимального значения при $x = 0$, ко-

гда $m_1=m_2$ и равняется $n/2$.

$$\tilde{P}_{\max}\left(n, m_1 = \frac{n}{2}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi n}} \ . \qquad (20)$$

Соотношение (20) дает численное значение плотности вероятности того, что в процессе штатной эксплуатации число отказов устройств различных типов окажутся одинаковыми.

При разных m_1 и m_2 вероятность правильности гипотезы об одинаковой надежности устройств обеих типов определяется численным значением экспоненты, которая содержится в (18). Отсюда вытекает простой для практических применений критерий сопоставления надежности устройств различных типов.

Надежность устройств обеих типов с относительно большой вероятностью можно считать одинаковой, если

$$2nx^2 < 1 \ . \qquad (21)$$

С учетом соотношений (4), (7) и (9) неравенство (21) записывается в виде

$$\left|m_1 - m_2\right| < \sqrt{2n} \ . \qquad (22)$$

Очевидно, что вероятность того, что устройства разных типов имеют одинаковую надежность тем более, чем сильнее неравенство (22). Если же в результате эксплуатации окажется, что

$$\left|m_1 - m_2\right| > \sqrt{2n}, \qquad (23)$$

то в меру неравенства (23) следует считать более надежным тот тип устройств, у которого число отказов было меньшим. Вероятность случайности разных частот отказов (1) (разных значений m_1 и m_2) при одинаковой надежности устройств обеих типов определяется соотношением

$$P_0\left(m_1, m_2\right) = \frac{P\left(n, m_1\right)}{P\left(n, \frac{n}{2}\right)} \ . \qquad (24)$$

При нечетном n в формуле (24) следует взять наиболее близкое к $n/2$ целое число. Соотношение (24) назовем вероятностью одинаковой надежности устройств, поскольку оно определяет численное значение

последней.

Аппроксимированное выражение для вероятности одинаковой надежности устройств $\tilde{P}_0(m_1 = m_2)$ при полученных значениях m_1 и m_2, согласно (18), записывается в виде

$$\tilde{P}(m_1, m_2) = e^{-\frac{(m_1 - m_2)^2}{2(m_1 + m_2)}}. \qquad (25)$$

Соотношения (22)-(25) решают поставленную задачу, поскольку при полученных значениях m_1 и m_2 неравенства (22) и (23) позволяют сделать вывод об относительной надежности устройств разных типов, а соотношения (24) и (25) определяют вероятность достоверности сделанного вывода.

Применив на практике решенную нами в данной статье задачу, любое транспортное предприятие может с высокой точностью определить вероятность надежности работы всей транспортной системы.

1. Абрамов А.П. Проблемы управления эксплуатационными расходами и создание конкурентной среды на транспортном рынке путем совершенствования системы налогообложения / А.П. Абрамов // Современные проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте: тр. науч.-практ. конф. – М.: МИИТ, 1999. – 150 с.

2. Бабаев В.Н. Разработка и реализация стратегического плана устойчивого развития города на основе сбалансированной системы показателей / В.Н. Бабаев, В.Т. Семенов, В.И. Торкатюк, Н.П. Пан, С.В. Бутник // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2004. – Вып. 57. – С. 35-52.

3. Винниченко В.С. Интегрированная автоматизированная система управления предприятием городского электрического транспорта / В.С. Винниченко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2002. – Вип. 36. – С. 351-354.

4. Липсиц И.В. Инвестиционный проект. Методы подготовки анализа: учеб.-справ. пособие/ И.В. Липсиц, В.В. Косов. – М.: Изд-во БЕК, 1996. – 304 с.

5. Тархов С. Електротранспорт України: Енциклопедичний путівник / С. Тархов, К. Козлов, А. Олеандр. – К.: Сидоренко В.Б., 2010. – 912 с.

6. Фролов К.В. и др. Состояние и перспективы формирования конференции развития транспорта мира до 2000 г. // Спец. выпуск по транспорту Ин-та информации АН России. – М., 1998. – С. 2-17.

7. Палант А.Ю. Экономический аспект транспортного комплекса Харьковского региона на основе SWOT-анализа: [Електронний ресурс] / А.Ю. Палант // Ефективна економіка. – 2010. – № 12. – Режим доступа к журн.: http://www.ekonomy.nayka.com.ua.

Получено 06.05.2013