

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ

Дегтярева К.А., Ерейский А.В.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», Новочеркасск*

Ключевые слова: надежность транспортной системы, многофункциональная транспортная система, процесс доставки, показатель надежности, математическая модель надежности, параметрические и непараметрические методы.

Аннотация. Современная экономика, которая переживает период потрясений и кризисов, а также находится в условиях жесткой конкуренции, выдвигает все более высокие требования к надежности сервисных услуг, в том числе таких как перевозка и транспортировка. Транспортная система является опорной точкой современных хозяйственных комплексов, предприятий и целых отраслей, которая соединяет производство общества с его потреблением. В связи с этим, надежность транспортной сети, ее устойчивость и стабильность стали предметом пристального внимания экспертного и научного сообщества. Надежность с точки зрения сервиса – это новая инженерная дисциплина, которая используется для анализа стабильности качества обслуживания. Являясь важной частью проектирования и эксплуатации, исследование надежности нашло свое широкое применение в системах связи, водоснабжения и электроснабжения. Однако в транспортной сфере анализ надежности применяется в меньшей степени. В связи с этим статья посвящена более подробному раскрытию обозначенных вопросов. В процессе исследования отмечено, что надежность многофункциональной транспортной системы доставки определяется множеством факторов. На основе полученных результатов в статье представлена математическая модель надежности многофункциональных транспортных систем.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF RELIABILITY OF MULTIFUNCTIONAL TRANSPORTATION DELIVERY SYSTEMS

Degtyareva K.A., Ereyskiy A.V.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

Keywords: transportation system reliability, multifunctional transportation system, delivery process, reliability indicator, mathematical model of reliability, parametric and non-parametric methods.

Abstract. Modern economy, which is going through a period of upheavals and crises, is in conditions of fierce competition. It puts forward increasingly high requirements for the reliability of services, including such as transportation. The transportation system is the backbone system of modern economic complexes, enterprises and entire industries, which connects the production of society with its consumption. In this regard, the reliability of the transportation network, its stability, and sustainability have become the subject of close attention of the expert and scientific community. Service reliability is a new engineering discipline that is used to analyze the stability of service quality. As an important part of design and operation, reliability study has found wide application in communication, water, and power systems. However, reliability analysis has less application in the transportation domain. In this regard, the article is devoted to a more detailed disclosure of these issues. In the process of research it was found that the reliability of a multifunctional transportation delivery system is determined by many factors. Based on the obtained results, the article presents a mathematical model of the reliability of multifunctional transportation delivery systems.

Введение

В условиях ускоряющейся глобализации и интеграции производственных комплексов, на фоне потрясений в экономической системе жизненные циклы большинства продуктов и услуг становятся гораздо короче, спрос покупателей и их требования быстро и стремительно меняются, что заставляет большинство фирм сокращать время выполнения заказа и быть более оперативными в логистических цепочках [1]. С этой точки зрения, предприятия, способные быстро реагировать на изменения, работающие в динамичной среде, будут определять эффективность своей деятельности. Обозначенной цели можно достичь в том

случае, если работа всей задействованной многофункциональной транспортной системы будет надежной, оперативной и устойчивой.

Надежность транспортной системы зависит как от ее структуры, так и от методов управления на всех этапах проектирования и эксплуатации [2]. Вследствие этого анализ процесса обеспечения надежности транспортной системы должен учитывать возможность возникновения проблем, связанных, в частности, с: отказом транспортных средств и инфраструктуры; отсутствием обмена информацией; ошибочными решениями операторов; случайными событиями [3].

Устойчивая транспортная система способна минимизировать последствия непредвиденных обстоятельств, благодаря присущей ей способности поддерживать разумную работоспособность всех компонентов и обеспечивать быстрое восстановление утраченных связей. Поэтому для измерения и повышения надежности многофункциональной транспортной системы важно проводить количественное и качественное моделирование, что позволит обеспечить более четкое понимание свойств и показателей ее безотказной работы. Обозначенные обстоятельства, в свою очередь, обуславливают выбор темы данной статьи.

Анализ публикаций по теме исследования

Над моделированием методов восстановления расписания движения транспортных средств в реальном времени в различных режимах (например, перепланирование стыковок, погрузки и разгрузки; выбор новых маршрутов) трудятся такие авторы как Пугин К.Г., Шаякбаров И.Э., Голоскоков К.П., Астапкович А.А., Гуд Ю.О., Брытков В.С.

Различные сценарии сбоя для анализа производительности транспортной системы рассмотрены в трудах Власовой Н.В., Оленцевича В.А., Бородиной О.В., Шаталовой Н.В., Валиевой Р.И., Садыкова И.Ф.

Нерешенные части общей проблемы

Высоко оценивая имеющиеся на сегодняшний день достижения и наработки, необходимо отметить ряд проблемных моментов, которые требуют дополнительного внимания. Так, в дальнейшем развитии нуждаются технологии мониторинга транспортных услуг и повышения их надежности в эпоху развития электронной связи и доступных средств локализации. Кроме того, фрагментарно и несистемно рассмотрены вопросы учета аномалий в процессе оценки надежности транспортных систем, которые зачастую игнорируются или не принимаются в расчет.

Итак, учитывая изложенное, **цель статьи** заключается в разработке математической модели надежности многофункциональных транспортных систем доставки.

Теория надежности многофункциональной транспортной системы доставки

Надежность транспортной системы – это вероятность того, что все элементы транспортной сети смогут выполнять требуемую функцию до того оптимального уровня производительности, который может быть получен за определенный период времени [4]. Модель надежности многофункциональной транспортной системы доставки разрабатывается на основе диаграммы причинно-следственных связей (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, надежность определяется несколькими факторами, такими как время в пути, интервал движения, время ожидания, время доступа транспортного средства и время выезда. Обозначенные функциональные характеристики надежности относятся к непрерывным случайным величинам и могут быть также применены при математических преобразованиях для аналитического определения конкретных функций. На практике выделяются две группы методов статистического предположения надежности [5].

1. Непараметрические методы, в которых вероятностная характеристика случайной величины выводится непосредственно.

2. Параметрические методы, в которых вероятностные характеристики случайных величин определяются косвенно, через нахождение вероятностных характеристик конкретных параметров на основе данных эксперимента.

Соотношение параметрических и непараметрических методов для статистического определения надежности многофункциональной транспортной системы представлено на рисунке 2.



Рис. 1. Блок-схема надежности многофункциональной транспортной системы



Рис. 2. Блок-схема соотношения параметрических и непараметрических методов

Если требуется оценить функциональные характеристики надежности по эмпирическим данным, полученным в ходе наблюдений или экспериментальных испытаний, то надежность объекта может быть охарактеризована набором числовых параметров, случайно выбранных из заданной совокупности (набора) объектов [6]. Поэтому крайне важно правильно оценить параметры распределения рассматриваемой переменной, а также определить эмпирические характеристики, как числовые, так и функциональные.

Математическая модель надежности многофункциональных транспортных систем доставки. Обозначим n через величину, которая является числом j -ых функций, выполняемых системой за данный период времени T . С использованием такого подхода принцип расчета надежности работы многофункциональной транспортной системы, как участника процесса доставки, описывается системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} P \\ f_1(x) = \int_0^T p_1(t) dt \\ P \\ f_2(x) = \int_0^T p_2(t) dt \\ \dots\dots\dots \\ P \\ f_j(x) = \int_0^T p_j(t) dt \\ \dots\dots\dots \\ P \\ f_n(x) = \int_0^T p_n(t) dt \end{array} \right. \quad (1)$$

где $P_{f_j(x)}$ – вероятность безотказной работы, выполненной системой j -ой функции за период времени T ; $p_j(t)$ – вероятность решения системой задач, осуществляя j -ую функцию.

Решение представленной системы уравнений требует введения ряда формулировок. Так, пусть за определенный период времени транспортной системе поступают в случайном порядке различные задачи. Тип задач определяется производственной ситуацией, сложившейся во время процесса перевозок. Многофункциональная транспортная система предназначена для решения этого потока задач и может выполнять n функций, соответствующих задачам, которые возникают. Решая задачу i -го типа, система выполняет j -ую функцию. Суммарное число активных и пассивных функций, выполняемых многофункциональной системой, может превышать число решаемых ею задач за данный период времени. Также возможна обратная ситуация. В то же время, функционально система не может выполнять функцию, которая не предусмотрена промежутком $0 \leq j \leq n$.

При расчете надежности многофункциональной транспортной рассмотрим пример работы двухфункциональной системы ($n = 2$). В процессе функционирования перед такой системой возникает два типа задач, которые решаются каждая по своей функции.

Если предположить, что задачи возникают перед двухфункциональной транспортной системой и решаются в произвольном порядке, то возможна повторная активизация одной и той же функции. Во время решения системы уравнений (1) для двухфункциональных транспортных систем требуется принять следующие обозначения: j – активное состояние логической функции $f_1(t)$, \bar{j} – активное состояние логической функции $f_2(t)$; $y_j(x+s)$, $y_{\bar{j}}(x+s)$ – плотность распределения вероятности активизации соответственно логических функций $f_1(t)$ и $f_2(t)$; s – продолжительность активного состояния логических функций $f_1(t)$; x – продолжительность активного состояния функции $f_2(t)$; $b_j = y_j(0)$, $b_{\bar{j}} = y_{\bar{j}}(0)$ или максимальная величина плотности распределения вероятности активизации функций. Вероятность нахождения системы в состояниях j и \bar{j} вычисляются из выражений:

$$p_j = \int_0^{\infty} f_j(x+s) d(x+s), \quad (2)$$

$$p_{\bar{j}} = \int_0^{\infty} f_{\bar{j}}(x+s) d(x+s). \quad (3)$$

В результате промежуточных итераций систем уравнений можно формализовать уравнение вероятности активизации функций двухфункциональных транспортных систем:

$$p_j = \sum_{j=1}^n b_{\bar{j}} \cdot a_j \cdot \int_0^T T_{j,\bar{j}}^{cp}(x+s) d(x+s), \quad (4)$$

$$p_{\bar{j}} = \sum_{j=1}^n b_j \cdot a_{\bar{j}} \cdot \int_0^T T_{\bar{j},j}^{cp}(x+s)d(x+s), \quad (5)$$

где $a_j, a_{\bar{j}}$ – элементы матрицы состояния двухфункциональной транспортной системы; $T_{j,\bar{j}}^{cp}$ – средняя продолжительность выполнения системой j -ой функции за данный период времени до перехода объекта к выполнению следующей функции; $T_{\bar{j},j}^{cp}$ – средняя продолжительность выполнения системой \bar{j} -ой функции за данный период времени до перехода объекта к выполнению следующей функции.

Итак, учитывая вышеизложенное, расчет показателя надежности двухфункциональной системы можно проводить по следующей формуле:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^n b_{\bar{j}} \cdot \int_0^T (a_j + a_{\bar{j}}) \cdot T_{\bar{j},j}^{cp}(x+s)d(x+s)}{b(T_{\bar{j},j}^{cp} + T_{j,\bar{j}}^{cp})} + \frac{\sum_{j=1}^n b_j \cdot \int_0^T (a_j + a_{\bar{j}}) \cdot T_{j,\bar{j}}^{cp}(x+s)d(x+s)}{b(T_{j,\bar{j}}^{cp} + T_{\bar{j},j}^{cp})}.$$

Заклучение

Надежность многофункциональной транспортной системы доставки определяется множеством факторов, такими как время в пути, интервал движения, время ожидания груза, время доступа и время выхода. В процессе исследования построена математическая модель надежности многофункциональных транспортных систем доставки, которая опирается на параметрические и непараметрические методы.

Список литературы

1. Никашина П.О. Анализ надежности транспортных систем с использованием нечеткой логики // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – Т. 6, № 4(24). – С. 29-37.
2. Голоскоков К.П., Астапкович А.А. Проблема обнаружения и исправления ошибок в интеллектуальных транспортных системах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 8. – С. 347-352.
3. Гуд Ю.О., Брытков В.С., Оленцевич В.А. Анализ имеющихся способов отслеживания неисправностей коммерческой работы в пути следования // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 1(19). – С. 51-58.
4. Власова Н.В. Декомпозиция основных бизнес-процессов и зоны формирования рисков железнодорожной транспортной системы в сфере грузовых перевозок // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4(63). – С. 44-52.
5. Кузнецова Т.В. Логистика 4.0 и инновационные логистические технологии // Сацьяльна-эканамічні і правові дослідження. – 2022. – № 3(69). – С. 68-73.
6. Стариков А.А. Пути развития интеграционных процессов в транспортно-логистической сфере // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2022. – № 4. – С. 6-8.
7. Терехина А.В. Анализ логистических рисков при оптимизации цепи поставок // Научные высказывания. – 2023. – № 8(32). – С. 41-43.
8. Тимченко Т.Н., Зеленков Г.А., Асланов Г.Г.О. Концептуальные основы организации мультимодальной перевозки негабаритных грузов // Эксплуатация морского транспорта. – 2023. – № 3(108). – С. 21-30.
9. Сидоренко К.И., Козлов В.С. Методические аспекты организации деятельности в сфере оказания транспортных услуг // Экономика и менеджмент систем управления. – 2023. – № 2(48). – С. 42-52.
10. Волкова А.А., Никитин Ю.А., Плотников В.А., Поздеева Е.А. Развитие цифрового потенциала транспортно-логистических систем с использованием инструментария платформенной концепции // Экономика и управление. – 2021. – Т. 27, № 1(183). – С. 12-22.

References

1. Nikashina P.O. Analysis of the reliability of transport systems using fuzzy logic // Railway science and technology. 2022, vol. 6, no. 4(24), pp. 29-37.
2. Goloskokov K.P. Astapkovich A.A. The problem of detecting and correcting errors in intellectual transport systems // Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2023, no. 8, pp. 347-352.
3. Gud Yu.O. Brytkov V.S., Olencevich V.A. Analysis of available ways to track malfunctions of commercial work en route // Young science of Siberia. 2023, no. 1(19), pp. 51-58.
4. Vlasova N.V. Decomposition of the main business processes and the risk formation zone of the railway transport system in the field of freight traffic // Siberian Transport University Bulletin. 2022, no. 4(63), pp. 44-52.

5. Kuznetsova T.V. Logistics 4.0 and innovative logistics technologies // Social, economic, and legal studies. 2022, no. 3(69), pp. 68-73.
6. Starikov A.A. Ways of integration process development in the transport-logistic sphere // RISK: Resources, Information, Supply, Competition. 2022, no. 4, pp. 6-8.
7. Terekhina A.V. Analysis of logistic risks in supply chain optimization // Scientific statements. 2023, no. 8(32), pp. 41-43.
8. Timchenko T.N., Zelenkov G.A., Aslanov G.G.O. Conceptual foundations of organization of multimodal transportation of outsize cargo // Maritime transport operation. 2023, no. 3(108), pp. 21-30.
9. Sidorenko K.I., Kozlov V.S. Methodological aspects of the organisation of activity in the sphere of transport services provision // Economics and management of control systems. 2023, no. 2(48), pp. 42-52.
10. Volkova A.A., Nikitin Yu.A., Plotnikov V.A., Pozdeeva E.A. Developing the digital potential of transport and logistics systems using the tools of the platform concept // Economics and Management. 2021, vol. 27, no. 1(183), pp. 12-22.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Дегтярева Карина Александровна – кандидат технических наук, доцент	Degtyareva Karina Aleksandrovna – candidate of technical sciences, associate professor
Ерейский Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент	Ereyskiy Andrey Vladimirovich – candidate of technical sciences, associate professor
av_e1975@mail.ru	

Получена 02.07.2024