

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 1

MARCH, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

The relationship between the natural frequency of a bridge structure and its flexural stiffness as the basis for dynamic monitoring

A.Kh. Matkarimov¹^a, L.R. Yuldashev²^b, Zh.L. Yuldashev²^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Institute of Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the analytical and experimental relationship between the natural frequency (f) of a bridge structure and its bending stiffness (EJ). It is shown that changes in modal parameters can be used as a diagnostic indicator of degradation of the structural system. A method is proposed for determining the first natural frequency based on vibration measurement data and for assessing the relative change in stiffness. This work forms the basis for the further development of a probabilistic degradation model.

Keywords: modal analysis, natural frequency, structural stiffness, dynamic monitoring, vibration monitoring

Связь собственной частоты мостовой конструкции с её изгибной жёсткостью как основа динамического мониторинга

Маткаримов А.Х.¹^a, Юлдашев Л.Р.²^b, Юлдашев Ж.Л.²^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматривается аналитическая и экспериментальная связь между собственной частотой (f) мостовой конструкции и её изгибной жёсткостью (EJ). Показано, что изменение модальных параметров может быть использовано в качестве диагностического признака деградации конструктивной системы. Предложена методика определения первой собственной частоты по данным вибрационных измерений и оценка относительного изменения жёсткости. Работа формирует основу для дальнейшего построения вероятностной модели деградации.

Ключевые слова: модальный анализ, собственная частота, жёсткость конструкции, динамический мониторинг, вибрационный контроль

1. Введение

Современные методы мониторинга мостовых сооружений всё чаще основаны на анализе их динамического отклика под воздействием транспортных и природных нагрузок. В отличие от статических методов обследования, динамический подход позволяет выявлять изменения структурных характеристик без разрушения конструкции.

Одним из ключевых параметров динамической системы мостового пролёта является его собственная частота изгибных колебаний. Изменение частоты во времени может свидетельствовать об изменении жёсткости конструкции вследствие трещинообразования, усталости материала или ослабления связей.

Цель настоящей работы — установить аналитическую связь между частотой и жёсткостью и показать возможность использования данной зависимости для инженерной диагностики.

2. Методика исследования

Теоретическая модель мостовой конструкции

Рассмотрим упрощённую модель пролётного строения как однопролётную балку длиной l с распределённой массой m и изгибной жёсткостью EJ для шарнирно-опёртой схемы.

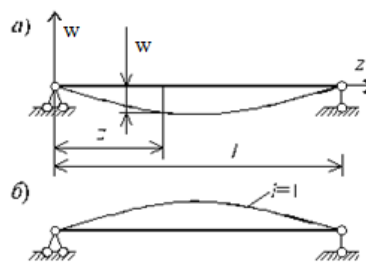


Рис.1. Однопролётная балка длиной l с массой m и жёсткостью EJ , шарнирно опёртая по концам


Уравнение поперечных колебаний моста как балки [1,2] имеет вид:

$$EJ \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0; \quad (1)$$

$m = \rho F$ – масса, приходящаяся на единицу длины балки; EJ – жёсткость на изгиб материала балки;

^a <https://orcid.org/0000-0002-2570-5395>

^b <https://orcid.org/0009-0002-0271-3058>

^c <https://orcid.org/0009-0004-5177-4775>

Начальные условия возьмем в более общем виде

$$w(z, 0) = \psi_1(z), \quad \dot{w}(z, 0) = \psi_2(z). \quad (2)$$

К уравнению (1) подберем граничные условия, соответствующие шарнирного соединения концов

$$w(0, t) = w''(0, t) = w(l, t) = w''(l, t) = 0. \quad (3)$$

Решение задачи (1) – (3) будем искать в виде

$$w(z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(z) T_n(t), \quad (4)$$

где $v_n(z)$ – фундаментальные формы, $T_n(t)$ – функция времени.

Теперь подставим (4) в (1) получим

$$v_n^{IV}(z) - \lambda_n^4 v_n(z) = 0, \\ \ddot{T}_n(t) + \omega_n^2 T_n(t) = 0, \quad (5)$$

$$\text{где } \omega_n^2 = a^2 \lambda_n^4. \quad a^2 = \frac{EJ}{m},$$

Фундаментальную форму примем

$$v_n(z) = C_{1n} \sin(\lambda_n z) + C_{2n} \cos(\lambda_n z) + \\ C_{3n} \operatorname{sh}(\lambda_n z) + C_{4n} \operatorname{ch}(\lambda_n z), \quad (6)$$

Для граничных условий (3) имеем

$$C_{2n} = C_{3n} = C_{4n} = 0, \quad C_{1n} \neq 0, \\ \sin(\lambda_n z) = 0. \quad (7)$$

Корни частотного уравнения (7) будут:

$$\lambda_n l = \pi \cdot n, \quad n = 1, \dots, N..$$

Решение для $T_n(t)$ имеет вид

$$T_n(t) = a_n \sin \omega_n t + b_n \cos \omega_n t. \quad (8)$$

Таким образом, для прогиба имеем

$$w(z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} [C_{1n} \sin(\lambda_n z)] T_n(t),$$

Первая собственная частота балки (для шарнирно-опёртой схемы) определяется выражением:

$$\omega_1^2 = a^2 \lambda_1^4. \quad \omega_1 = 2\pi f_1. \quad f_1 = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \lambda_1^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}.$$

$$\lambda_1 = \pi/l; \quad f_1 = \left(\frac{1}{2\pi}\right) (\pi/l)^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}} \approx 1.57/l^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}.$$

где: E — модуль упругости материала, J — момент инерции поперечного сечения, l — длина пролёта, m — масса на единицу длины.

Следовательно, собственная частота пропорциональна корню из изгибной жёсткости EJ и обратно пропорциональна погонной массе, умноженной квадрату длины пролёта.

Отсюда можно выразить изгибную жёсткость:

$$EJ \approx 0,41l^4 \rho F f_1^2. \quad (9)$$

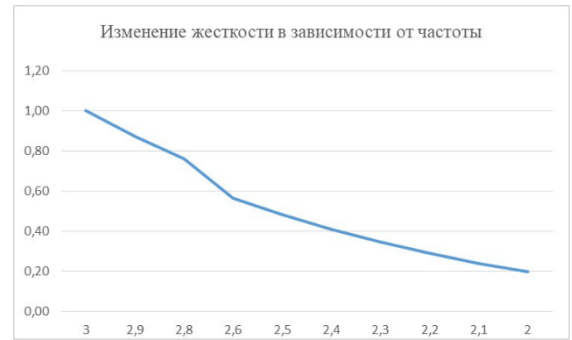


Рис. 2. Изменение жесткости в зависимости от частоты

Таким образом, изгибная жёсткость пропорциональна квадрату частоты.

Чувствительность частоты к изменению жёсткости

Пусть первоначальная частота $f_n = (f_1)_n$ соответствует жёсткости $k_n = (EJ)_n$,

Тогда при изменении частоты до значения f имеем:

$$k/k_n = (f/f_n)^2.$$

Следовательно, относительное снижение частоты приводит к более выраженному снижению жёсткости. Например, уменьшение частоты на 5 % соответствует снижению жёсткости приблизительно на 10 %. Это свойство делает частоту чувствительным индикатором структурной деградации.

Методика извлечения собственной частоты из экспериментальных данных [3,4].

Алгоритм обработки вибрационного сигнала включает:

1. Удаление постоянной составляющей (DC-offset);
2. Применение оконной функции (например, Хэннинга);
3. Выполнение быстрого преобразования Фурье (FFT);
4. Поиск максимума амплитуды в рабочей полосе частот (0,1–20 Гц);
5. Уточнение положения пика методом интерполяции.

Рабочая полоса частот выбирается исходя из динамических характеристик автомобильных и железнодорожных мостов (как правило, 0,3–20 Гц).

Иллюстративный расчёт

Пусть: - длина пролёта $l = 30$ м, - масса на единицу длины $m = 25\,000$ кг/м, - измеренная частота $f_0 = 3,0$ Гц.

Тогда изгибная жёсткость определяется из выражения:

$$EJ \approx 0,4l^4 \rho F f_1^2 = 0,4 \cdot 30^4 \cdot 25000 \cdot 3 = 2430 \cdot 10^7 \\ = 24,3 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если частота снизилась до 2,8 Гц, относительное изменение жёсткости:

$$(EJ/EJ_0) = (2,8/3,0)^2 \approx 0,87.$$

Изгибная жёсткость уменьшилась примерно на 13 %.

Обсуждение

Представленный подход основан на ряде допущений:

- неизменность массы пролёта;
- постоянство граничных условий опирания;
- линейность динамической модели;
- отсутствие температурных деформаций.

Температурные изменения, предварительное



напряжение, изменение состояния опор и подвижных элементов могут существенно влиять на измеряемую частоту. Поэтому дальнейшее развитие метода должно включать температурную декомпозицию и стохастическую фильтрацию параметров.

3. Заключение

1. Анализ Собственная частота пролётного строения напрямую связана с его изгибной жёсткостью EJ .

2. Частота является чувствительным индикатором снижения несущей способности моста.

3. Анализ динамических данных позволяет оценивать относительное изменение изгибной жёсткости без остановки эксплуатации.

4. Полученные результаты формируют основу для построения вероятностной модели деградации мостовых конструкций и прогноза остаточного ресурса.

Перспективы дальнейших исследований

- учёт температурного влияния;
- расширение модели до многомодальной системы;
- построение байесовской оценки параметров деградации;
- экспериментальная валидация на реальных объектах.

Использованная литература / References

[1] Тимошенко С. П., Колебания в инженерном деле. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1967.

[2] Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. Издательство «Лань», 2005.

[3] Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. — М.: Техносфера, 2012.

[4] Митюхин А.И. Алгоритмы цифровой обработки сигналов. — Минск: БГУИР, 2023.

Информация об авторах/ Information about the authors

Маткаримов Абдурашид / Abdurashid Matkarimov
Ташкентский государственный транспортный университет, доцент кафедры «Прикладная механика», доцент
E-mail: abdurashidmatkarimov1952@gmail.com
Tel.: + 998994952112
<https://orcid.org/0000-0002-2570-5395>

Юлдашев Луфтулла / Lutfulla Yuldashev
Институт сейсмологии
E-mail: yuldashevj@gmail.com
Tel: +998971024452
<https://orcid.org/0009-0004-5177-4775>

Юлдашев Жасур Луфтуллаевич / Jasur Yuldashev
Институт сейсмологии
E-mail: yuldashevj@gmail.com
Tel: +998971024452
<https://orcid.org/0009-0004-5177-4775>



M. Mamatkulov, A. Kungradbaeva <i>Road safety as a pressing issue: official statistics and analysis on deaths and injuries</i>	210
M. Mamatkulov, K. Muminov <i>Developing a project for organizing environmental monitoring on urban roads through digitalization</i>	216
G. Ubaydullaev, R. Khakimzyanov <i>Selection of technological bases for transport vehicle parts during their manufacture</i>	221
A. Adilkhodjaev, I. Kadirov, F. Abdukadirov <i>Strategy for modifying cement systems with finely dispersed mineral fillers</i>	226
O. Turdiev, K. Abilaeva <i>Positive and negative aspects of state domestic and external debt</i>	230
S. Sattorov, A. Bozorov, A. Ergashev <i>Economic-mathematical model for the classification of non-public use roads based on wagon turnover time</i>	233
A. Nasullaev <i>Functional dependence of warehouse and transport processes in the supply chain</i>	238
F. Azimov, J. Shikhnazarov <i>Technical and economic efficiency of using swap bodies in railway transport</i>	241
A. Matkarimov, L. Yuldashev, Zh. Yuldashev <i>The relationship between the natural frequency of a bridge structure and its flexural stiffness as the basis for dynamic monitoring</i>	244
J. Juraev, O. Shatkovskiy, K. Eshmatov <i>Features of the implementation of control algorithms with holding a button without latching in microprocessor-based railway automation and telemechanics systems based on finite state machine models</i>	247
Sh. Abduvakhitov, Sh. Khamidova <i>Digital solutions for the transition to a sustainable public transport system in Tashkent</i>	251