

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 4, 2025 vol. 2

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 2, ISSUE 4
DECEMBER, 2025**



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 4 DECEMBER, 2025

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 problem statement and the mathematical model of calculation of designs of expansion joints of bridges

M.Kh. Miralimov¹, S.S. Safarov¹, R.S. Ospanov¹, M.A. Mukimov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article presents the formulation of the problem and the construction of a mathematical model for calculating bridge expansion joint structures that ensure safe and durable operation of bridge structures under various loads. Temperature, shrinkage, transport and dynamic effects, as well as movements of superstructures resulting from these factors, are considered. The mathematical model is based on the equations of equilibrium and compatibility of deformations, as well as on the provisions of the theory of elasticity and structural mechanics. The model takes into account the geometric and physico-mechanical characteristics of materials, nonlinear deformations and the conditions of interaction of the deformation seam with the superstructure and bridge supports. For the numerical implementation of the proposed approach, finite element methods are used to take into account the complex geometry and heterogeneity of loads.

Keywords:

bridge, expansion joint, structure, superstructure, support

Постановка задачи и математическая модель расчета конструкций деформационных швов мостов

Миралимов М.Х.¹, Сафаров Ш.Ш.¹, Оспанов Р.С.¹, Мукимов М.А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье приведена постановка задачи и построение математической модели расчета конструкций деформационных швов мостов, которые обеспечивают безопасную и долговечную эксплуатацию мостовых сооружений при воздействии различных нагрузок. Рассматриваются температурные, усадочные, транспортные и динамические воздействия, а также перемещения пролётных строений, возникающие в результате этих факторов. Математическая модель основана на уравнениях равновесия и совместности деформаций, а также на положениях теории упругости и строительной механики. В модели учитываются геометрические и физико-механические характеристики материалов, нелинейные деформации и условия взаимодействия деформационного шва с пролётным строением и опорами моста. Для численной реализации предложенного подхода применяются методы конечных элементов, позволяющие учитывать сложную геометрию и неоднородность нагрузок.

Ключевые слова:

мост, деформационный шов, конструкция, пролётные строение, опора

деформированное состояние элементов, обеспечивать оценку их работоспособности и долговечности.

В данной работе рассматривается постановка задачи расчета конструкций деформационных швов мостов, разработка соответствующей математической модели, а также методы её численного решения с использованием современных инженерных подходов и вычислительных технологий.

1. Введение

Деформационные швы мостов являются важными элементами, обеспечивающими компенсацию перемещений пролётных строений, вызванных изменением температуры, усадкой бетона, транспортными и динамическими нагрузками, а также осадкой опор. Надежность и долговечность мостового сооружения во многом зависят от правильности расчета и проектирования этих конструктивных элементов.

Современные условия эксплуатации мостов требуют применения научно обоснованных методов расчета, позволяющих учитывать сложные сочетания нагрузок, нелинейное поведение материалов и геометрические особенности конструкций деформационных швов. Для этого необходимо построение математической модели, которая будет адекватно описывать напряженно-

2. Методика исследования

Деформационные швы (ДШ) автодорожных мостов остаются на сегодняшний день, одними из наименее надежных конструктивных элементов мостовых сооружений, что влечет за собой необходимость совершенствование и замены этих конструкций более новыми и эффективными [1, 2]. Вместе с тем, возникает

<https://orcid.org/0009-0009-9996-1023>



проблема анализа применимости современных предложенных ДШ в реальных условиях эксплуатации, что требует разработки методов их проектирования и расчета, учитывающие силовую работу пролетных строений на основе корректных расчетных схем и проведение соответствующих исследований для определения надежных конструкций деформационных швов.

К деформационным швам привязанные к конструкциям дорожной одежды относятся ДШ закрытого и заполненного типа, в отличие от модульных типов эти ДШ располагаются в основном в дорожной одежде мостового полотна. Материалы этих ДШ, деформируясь, воспринимают перемещения концов пролетных строений.

Работоспособность конструкции ДШ в каждом конкретном случае применения должна проверяться расчетом с учетом зависимости характеристик материалов от внешних воздействий. Прочность таких ДШ характеризуются определенным диапазоном воспринимаемых перемещений.

При определении допустимых перемещений следует учитываться прочностные и деформативные свойства составляющих материалов в горизонтальном направлении, а также толщина и конструкция дорожной одежды [3, 4]. Рассмотрим плоский участок краев пролетных строений, правый конец которого неподвижен.

Выделим из системы взаимодействующих тел ту часть, где будет рассматриваться напряженно-деформированное состояние, которого исследуем (рис.1). Для решения задачи теории упругости большое значение имеет принцип Сен-Венана, позволяющий вносить упрощения в расчетные схемы. Этот принцип сформулирован французским математиком и механиком Сен-Венаном в середине прошлого века. Согласно принципу Сен-Венана, напряженное состояние тела на достаточном удалении от области действия локальных нагрузок очень мало зависит от детального способа приложения этих нагрузок. Мысленно проведем в теле сечение, разделив его тем самым на две части: левую и правую (рис.2, а). Известно, что жесткость балки нескольких порядков выше жесткостей ДШ дорожной одежды. Полагаем, что деформации ДШ и покрытие дорожной одежды на контакте с балкой имеют одинаковые значения, и поэтому конструкции ДШ, дорожное покрытие и торец балки получают одинаковые значения перемещений. В связи с этим горизонтальные, вертикальные перемещения и возможные углы поворота торцов обеих пролетных строений воздействуют на нее как внешняя нагрузка (рис.2, б). Одним словом, происходит кинематическое возмущение на ту часть тела, которое имеет меньшую жесткость. Отброшенные части заменяются действием равных напряжений.

На свободный конец области прикладывается воздействия от транспортных нагрузок.

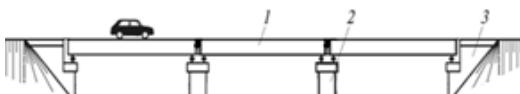


Рис. 1. Автодорожный мост:
1-пролетное строение, 2-промежуточная опора,
3-устой

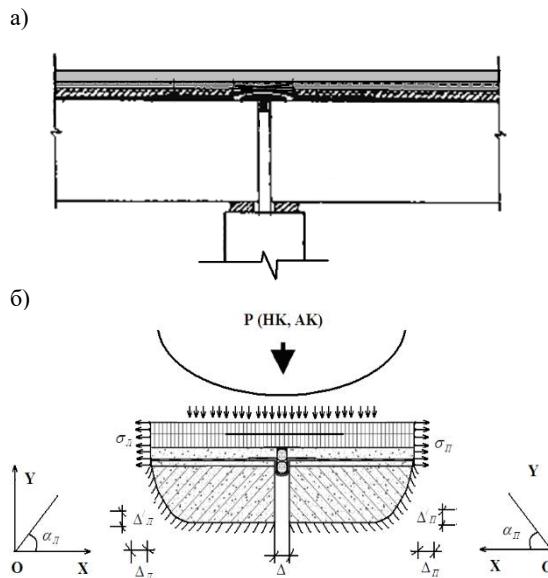


Рис. 2. Общий вид ДШ:
а) Продольный разрез пролетного строения у деформационного шва с одеждой ездового полотна,
б) выделенный фрагмент деформационного шва с переходной зоной

ДШ и переходная зона рассматривается в виде многослойной конструкции, притом каждый слой имеет свои деформативные характеристики. И если нам известны заранее определенные расчетные перемещения концов пролетных строений и на контактной поверхности балки и ДШ, а также покрытия дорожной одежды соблюдаются условия совместности деформаций, то для выделенного участка будут выполнят краевые условия с заданными перемещениями и напряжениями.

Таким образом, для решения плоской задачи теории упругости соблюдаются все условия равновесия заданной области. Предположим, что под действием этих сил деформации малы и для них справедливы следующие основные уравнения [5]:

1. Уравнения равновесия (Статические уравнения)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \bar{X} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \bar{Y} = 0 \quad (1)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau$$

где X и Y - объемные силы или в матричной форме $A\vec{\sigma} + \vec{P} = 0$

где

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad \vec{\sigma} = [\sigma_x \sigma_y \tau], \quad \vec{P} = [\bar{X} \bar{Y}]$$

2. Зависимости между деформациями и перемещениями (Геометрические уравнения)

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (2)$$

или $\vec{\varepsilon} = A^T \vec{U}$, где

$$\vec{\varepsilon} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y]^T, \quad \vec{U} = [u \ v]^T$$

3. Физические уравнения (Закон Гука)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu \sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (3)$$

или $\vec{\varepsilon} = B\vec{\sigma}$, где

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad \vec{\sigma} = [\sigma_x \sigma_y \tau_{xy}], \quad \vec{P} = [\vec{X} \ \vec{Y}]$$

$$B = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix}$$

Тогда для уравнения теории упругости с краевыми (граничными) условиями можно записать [5]:

$$\begin{aligned} A\vec{\sigma} + \vec{P} &= 0 \\ \vec{\varepsilon} &= A^T \vec{U} \\ \vec{\varepsilon} &= B\vec{\sigma} \end{aligned} \quad (4)$$

Кинематические граничные условия на контуре C_u

$$\vec{U} = \vec{\Delta}_u \quad (5)$$

Статические граничные условия на контуре C_σ

$$A_c \vec{\sigma} = \vec{P}_\sigma \quad (6)$$

Здесь $\vec{\Delta}_u, \vec{P}_\sigma$ - вектор заданных перемещений на контуре $-C_u$ и вектор заданных усилий на $-C_\sigma$, A_c - матрица направляющих косинусов.

Выразим $\vec{\sigma}$ из второго и третьего уравнения системы (4):

$$\begin{aligned} \vec{\sigma} &= B^{-1} A^T \vec{U} \\ B^{-1} = D &= \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Для плоской деформации коэффициент Пуассона ν заменяется на $\frac{v}{1-v}$.

Подставляя значение $\vec{\sigma}$ в первое уравнение (2.4), получим следующее дифференциальное уравнение теории упругости в перемещениях в матричной форме:

$$ADA^T \vec{U} + \vec{P} = 0 \quad (7)$$

$$\text{или } (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + P_x = 0,$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + P_y = 0$$

$$\nabla = \varepsilon_x + \varepsilon_y = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad \lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)}$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} - \text{постоянные Лямме}$$

Теперь, для постановки вариационной задачи используем дифференциальное уравнение (7) и соответствующие граничные условия (5, 6). Тогда на основе вариационного принципа Лагранжа [5],

функционал полной потенциальной энергии I должен принимать минимальное значение. Считаем, что вектор функция перемещений $U(x,y) = [u(x,y), v(x,y)]$, доставляет минимум функционалу полной энергии системы при нагруженном состоянии в виде

$$I = \bar{I} + \bar{A} = \iint_{\Omega} F(u, v, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}) dx dy \quad (8)$$

$$\text{при ограничении } \vec{U} \Big|_{C_u} = \vec{U}_u(x, y)$$

Здесь

$$\bar{A} = \iint_{\Omega} P_x u + P_y v dx dy, \quad \bar{I} = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy}) dx dy,$$

\bar{A} - потенциальная энергия внешних сил, \bar{I} - потенциальная энергия внутренних сил. Условие стационарности функционала (8), вместе с заданными граничными условиями должно быть эквивалентно прямой постановке задачи. Тогда на основе [6], для квадратичного функционала F для двумерной задачи можно записать следующее

$$F = \mu((\frac{\partial u}{\partial x})^2 + (\frac{\partial v}{\partial y})^2) + \frac{\lambda}{2}(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})^2 + P_x u + P_y v \quad (9)$$

Из унимодальности задачи отыскания минимума функционала, подставляя уравнение (9) в уравнение Эйлера-Пуассона (10):

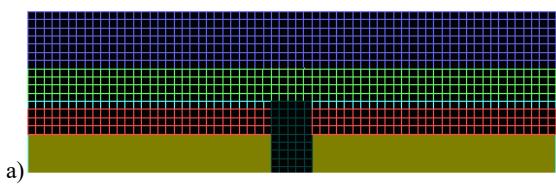
$$\frac{\partial F}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial u_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial u_y} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial F}{\partial v} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial v_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial v_y} = 0$$

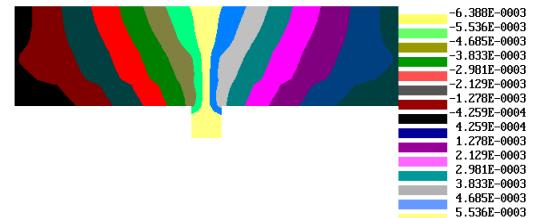
на основании [5, 6] можно получить прямую постановку задачи.

На основе предложенной математической модели разработана программа расчета ДШ на прочность на алгоритмическом языке DELFI. На рис.3, а приведена расчетная схема реального ДШ закрытого типа и" полученные перемещения, то есть распределения их в пределах переходных зон шва от вертикальной нагрузки.

На соединении двух участков с различными характеристиками материалов наблюдается резкое увеличение концентрации напряжений. Это видно из рис.3, что дорожная одежда достаточно



a)



b)



в)

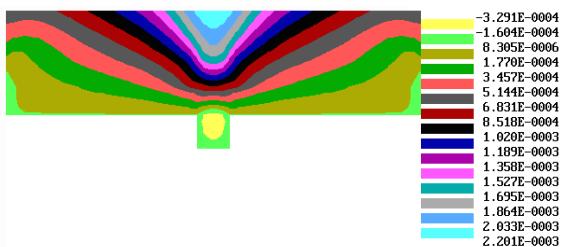


Рис. 3. Результаты расчета. а) расчетная схема, б) горизонтальные перемещения (м), в) вертикальные перемещения (м)

Резкий скачок напряжений появляется в средней ее части. Графики, приведенные на рис.4 дают более наглядную картину напряженного состояния.

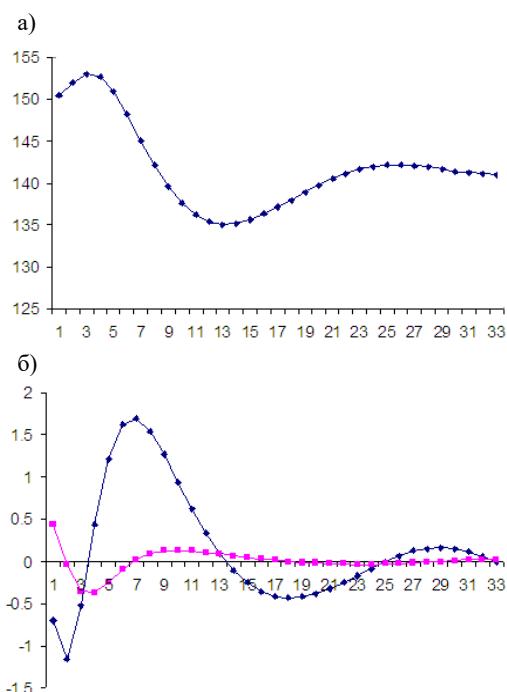


Рис. 4. Распределения напряжений по длине шва с учетом переходных зон

- а) максимальных горизонтальных ($\text{Н}/\text{см}^2$)
б) максимальных вертикальных ($\text{Н}/\text{см}^2$)

3. Заключение

В ходе исследования рассмотрены постановка задачи и построение математической модели расчета конструкций деформационных швов мостов. Показано, что надежность и долговечность мостовых сооружений во многом зависят от правильности проектирования и точности расчетов этих элементов, учитывающих температурные, усадочные, транспортные и динамические воздействия. Разработанная математическая модель позволяет описывать напряженно-деформированное состояние швов с учетом геометрических и физико-механических характеристик материалов, нелинейных деформаций и сложных условий работы конструкций.

Применение метода конечных элементов обеспечивает возможность численного решения задачи при различных комбинациях нагрузок и сложной геометрии. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании новых мостов, а также при реконструкции и модернизации существующих сооружений, что способствует повышению их надежности, долговечности и безопасности эксплуатации.

Использованная литература / References

- [1] Анализ конструкций деформационных швов, примененных на МКАД с разработкой рекомендаций по их дальнейшему на автодорожных мостах и путепроводах 3-го городского кольца отчет о НИР 1535-НИР-ДШ // ОАО «Трансмост». - СПб., 1998. – 101 с.
- [2] Аннин Б.Д. Упругопластическая задача / Б.Д. Аннин, Г.П. Черепанов. - Новосибирск: Наука, 1983. - 237 с.
- [3] Баженов В.А. Численные методы в механике: монография / В А-Баженов, А.Ф. Дащенко, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. - 2004. - 548 с.
- [4] Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А.Басов. - М.: Компьютер Пресс, 2002. - 224 с.
- [5] Ефанов А.В. Статический и динамический расчет деформационных швов автодорожных мостов / А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников. Вест. ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. - 2006.-Вып. 6 (21).
- [6] Деформационные швы автодорожных мостов: особенности конструкции и работы: учеб. пособие / А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников, В.И. Шестериков, В.Н. Макаров. Саратов: СГТУ, 2005. -174 с.

Информация об авторах/ Information about the authors

Миралимов Мирзахид Хамитович / Mirzakhid Miralimov	Ташкентский государственный транспортный университет, и.о. профессора кафедры “Искусственные сооружения на автомобильных дорогах”, д.т.н.
Сафаров Шахзод Шухрат угли / Shakhzod Safarov	Ташкентский государственный транспортный университет, докторант
Оспанов Руслан Сарсенбаевич/ Ruslan Ospanov	Ташкентский государственный транспортный университет, докторант E-mail: Jandos_Chingis@mail.ru Тел.: +998933601335 https://orcid.org/0009-0009-9996-1023
Мукимов Мухаммадали Ахмадали угли/ Muhammadali Mukimov	Ташкентский государственный транспортный университет, магистрант



M. Miralimov, S. Safarov, R. Ospanov, M. Mukimov	
<i>The problem statement and the mathematical model of calculation of designs of expansion joints of bridges</i>	<i>5</i>
T. Khasanov	
<i>Modern structural solution for bridge and overpass supports using reinforced concrete and composite materials/.....</i>	<i>9</i>
M. Mekhmonov	
<i>Development of the construction of the transition part in the zone of connection of the railway land line and the bridge, taking into account the effect of vibrodynamic forces</i>	<i>13</i>
M. Burikhodjaeva, G. Samatov, Sh. Sharapova	
<i>A method for assessing the strength of the supply chain</i>	<i>18</i>
U. Ziyamukhamedov, Sh. Mamaev, J. Nafasov, E. Turgunaliev, E. Rakhmatov	
<i>Optimization of the geometric parameters of the vibrating planetary mechanism</i>	<i>23</i>
S. Kucharov	
<i>Lines used in mechanical engineering enterprises and their training methodology</i>	<i>29</i>
Z. Yusufkhonov	
<i>Selection of optimal forecasting models in road transport freight planning</i>	<i>34</i>
B. Bobobekov	
<i>Ways to improve the calculation of current assets based on international standards and accounting</i>	<i>38</i>
R. Mukarramov	
<i>Development of the result of geodetic measurements and forecasting accidental movements</i>	<i>41</i>