

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 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 1

MARCH, 2025



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 1 MARCH, 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.

Numerical Simulation of the spatial distribution of temperature fields in spring elements of freight wagons of railway transport

S.N. Absattarov¹^a, N.K. Tursunov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article presents a numerical simulation of the spatial distribution of temperature fields in the spring elements of freight wagons of railway transport during heat treatment. The use of modern CAE systems such as ANSYS has made it possible to analyze thermal processes in real time, which ensures precise control of technological parameters. The simulation aims to optimize heating and cooling modes, minimize internal stresses and deformations, and identify areas of potential defects. The paper considers the parameters of a spring made of 60X2HFA grade steel, performs a transient thermal analysis, and determines the optimal conditions for achieving the required mechanical properties. The simulation results show that it takes about 900 seconds to reach a quenching temperature of 880°C with a bar diameter of 30 mm, while the temperature difference between the surface and the core of the product is 1.25 °C, which indicates minimal internal stresses.

Keywords:

temperature field, heat flow, thermal conductivity, quenching, gradient

Численное моделирование пространственного распределения температурных полей в пружинных элементах грузовых вагонов железнодорожного транспорта

Абсаттаров С.Н.¹^a, Турсунов Н.К.¹^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье представлено численное моделирование пространственного распределения температурных полей в пружинных элементах грузовых вагонов железнодорожного транспорта в процессе термической обработки. Использование современных CAE-систем, таких как ANSYS, позволило провести анализ тепловых процессов в режиме реального времени, что обеспечивает точное управление технологическими параметрами. Моделирование направлено на оптимизацию режимов нагрева и охлаждения, минимизацию внутренних напряжений и деформаций, а также на выявление зон потенциальных дефектов. В работе рассмотрены параметры пружины из стали марки 60C2XФА, проведен переходный тепловой анализ и определены оптимальные условия для достижения требуемых механических свойств. Результаты моделирования показывают, что для достижения температуры закалки 880°C с диаметром прутка 30 мм требуется около 900 секунд, при этом перепад температур между поверхностью и сердцевиной изделия составляет 1,25 °C, что свидетельствует о минимальных внутренних напряжениях.

Ключевые слова:

температурное поле, тепловой поток, теплопроводность, закалка, градиент

1. Введение

Развитие современных технологий невозможно без активного использования методов численного моделирования, которые играют ключевую роль в проектировании и оптимизации процессов. В настоящее время оценка температурных режимов в процессе производства пружин осуществляется преимущественно на основе анализа микроструктурных характеристик шлифов, полученных после завершения всех этапов технологического процесса [1, 2]. Основная проблема заключается в отсутствии возможности прямого измерения и контроля температурного распределения в пружине на каждой стадии обработки [3]. В связи с этим применение современных методов компьютерного инжиниринга, таких как CAE-системы

(в частности, ANSYS), представляется наиболее обоснованным, поскольку позволяет моделировать и анализировать температурные поля в пружине в режиме реального времени, обеспечивая тем самым более точное управление технологическими параметрами [4, 5].

Численное моделирование распределения температурных полей в пружинах (рис. 1) грузовых вагонов в процессе термической обработки служит ключевым инструментом для оптимизации технологических режимов и обеспечения высоких эксплуатационных характеристик изделий [6]. Оно позволяет прогнозировать температурное распределение, минимизируя внутренние напряжения и деформации, определять оптимальные параметры нагрева и охлаждения для достижения требуемых

^a <https://orcid.org/0009-0003-3658-7616>

^b <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>



механических свойств и микроструктуры, а также выявлять зоны потенциальных дефектов, таких как трещины или коробление. Кроме того, моделирование сокращает затраты на экспериментальные исследования и позволяет анализировать влияние различных параметров термообработки, способствуя разработке более эффективных и экономичных технологий [7].

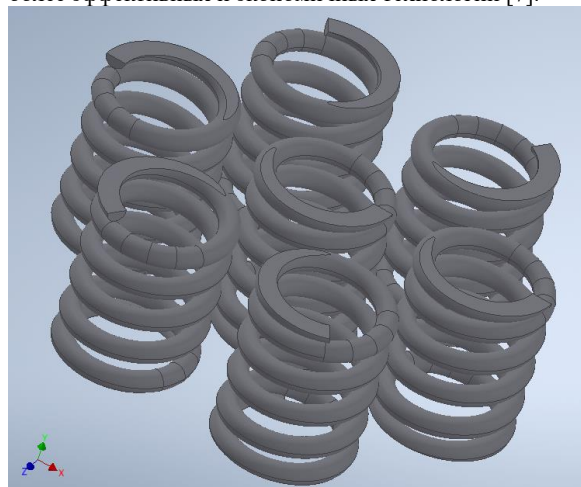


Рис. 1. Комплект наружных пружин рессорного подвешивания

Таким образом, численное моделирование распределения температурных полей в пружинах во время термической обработки является ключевым инструментом для повышения качества продукции, снижения производственных издержек и обеспечения стабильности технологических процессов.

Целью данной работы является разработка и применение численной модели для анализа пространственного распределения температурных полей в пружинных элементах грузовых вагонов с целью оценки их термомеханического поведения в процессе нагрева под закалку, оптимизации конструктивных параметров и повышения надежности в условиях эксплуатационных нагрузок.

2. Методология исследования

Построение 3D-модели выполнено в программном продукте Autodesk Inventor Professional в разделе проектирования пружины сжатия. Согласно чертежу 9597.50.002^a в качестве входных параметров служили: длина пружины в свободном состоянии, диаметр проволоки, наружный диаметр пружины, количество рабочих витков, значения нагрузок, а также свойства материала пружины. Пружина изготовлена из стали марки 60C2XФА, химический состав которой указан на рисунке 2. Результаты расчета свидетельствуют о корректности входных параметров. Перечисленные параметры приведены в таблице 1 и проиллюстрированы на рисунке 3 в окне генератора компонентов пружины сжатия.

^aЧертеж составлен конструкторским отделом ОГК ДП «ЛМЗ», г. Ташкент.

Таблица 1
Входные параметры для построения геометрии пружины

Длина пружины в свободном состоянии L_0 , мм	249
Диаметр проволоки d , мм	30
Наружный диаметр пружины D_1 , мм	200
Количество рабочих витков, шт	4
Минимальная нагрузка, кН	9,5
Максимальная нагрузка, кН	29
Рабочая нагрузка, кН	19,58
Предел прочности при растяжении ^b , МПа	1810
Допустимые напряжения при кручении, МПа	863
Модуль упругости поверхности, ГПа	80
Плотность, кг/м ³	7850
Количество поджатых витков с каждой стороны	0,25
Количество отшлифованных витков с каждой стороны	0,75

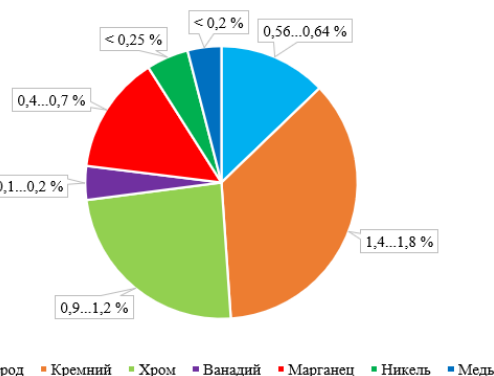
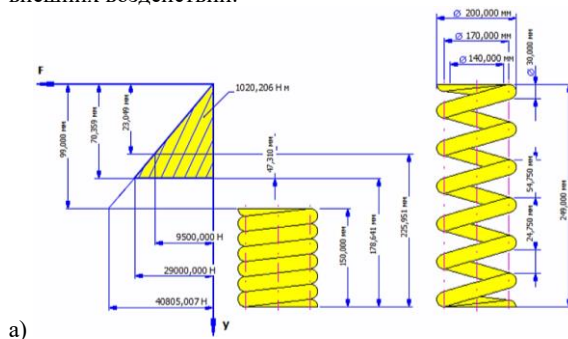


Рис. 2. Химический состав стали марки 60C2XФА (содержание S и P не превышает 0,025 % по отдельности) согласно ГОСТ 14959-79

Анализ температурного поля проводился с помощью CAE программы ANSYS в подсистеме Transient Thermal. Переходный тепловой анализ (Transient Thermal Analysis) представляет собой метод исследования, позволяющий оценить временную динамику тепловых процессов в системе при воздействии постоянных и переменных граничных условий. Данный анализ дает возможность определить временной интервал, необходимый для достижения стационарного теплового состояния системы, а также продолжительность поддержания ее эксплуатационных параметров. В случае переменных граничных условий анализ позволяет выявить характер теплового отклика системы и его зависимость от временных изменений внешних воздействий.



a)

^bПредел прочности при растяжении соответствует режиму закалки с 880 °C в масле с последующим отпуском при 450 °C.

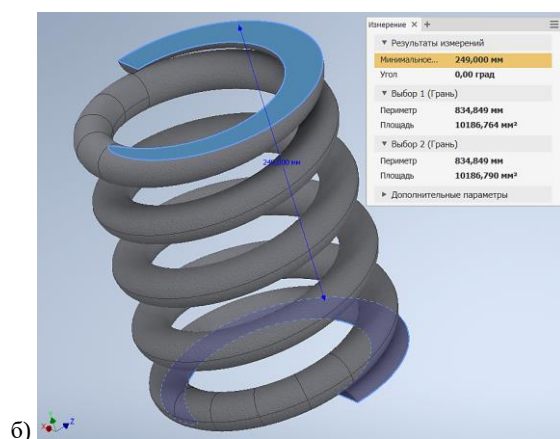


Рис. 3. Параметры, используемые для формирования геометрической модели пружины:

- а) окно генератора компонентов пружины сжатия (результат расчета «положительный»);
 б) схема нагружения и цифровая 3D-модель пружины сжатия

Для достоверности результатов расчета размер сетки составлял 2 мм (рис. 4). Начальная температура изделия по умолчанию равна 22 °С. Для стали 60С2ХФА нагрев под закалку осуществляется при температуре 880 °С [8], что является конечной температурой пружины.

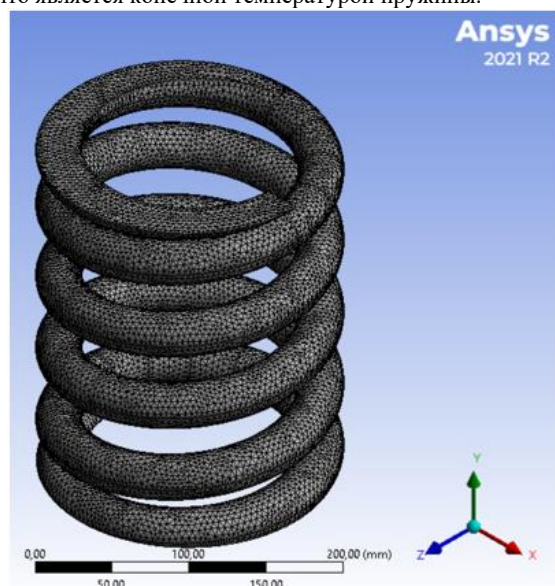


Рис. 4. Импортированная геометрия пружины и визуальный осмотр равномерности сетки

В условиях, когда теплопередача происходит посредством теплопроводности, процесс теплообмена описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = Q_G + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

где ρ – плотность, кг/м³;

c – удельная теплоемкость, Дж/(кг · К);

T – температура, К; t – время, с;

K_x, K_y, K_z – проводимость элемента в направлениях x, y и z , Вт/(м · К);

Q_G – мощность тепловыделения на единицу объема, Вт/м³;

v_x, v_y, v_z – скорость переноса тепла в направлениях x, y и z , м/с.

Граничные условия задаются конвективным теплообменом на поверхности в соответствии с законом охлаждения Ньютона:

$$\frac{q}{A} = h_f (T_s - T_b) \quad (2)$$

где q/A – тепловой поток, Дж/с;

h_f – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К);

T_s – температура на поверхности изделия, К;

T_b – объемная температура, К.

3. Результаты и обсуждения

На рисунках 5 и 6 показаны распределения температуры по сечению изделия. Температура поверхности через 1000 секунд составляет 892 °С. Перепад температур между поверхностью и сердцевинной изделия составляет 1,25 °С. Поскольку перепад температур невелик, внутренние напряжения в процессе нагрева минимальны. Анализируя зависимость температуры от времени нагрева (рис. 6), можно установить, что для достижения температуры закалки 880 °С с диаметром прутка 30 мм потребуется ≈ 900 секунд (15 мин).

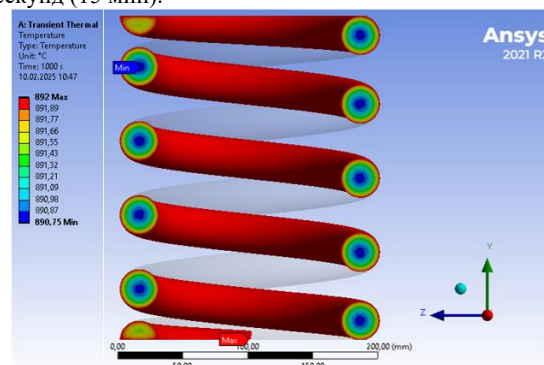


Рис. 5. Распределение температуры по сечению прутка

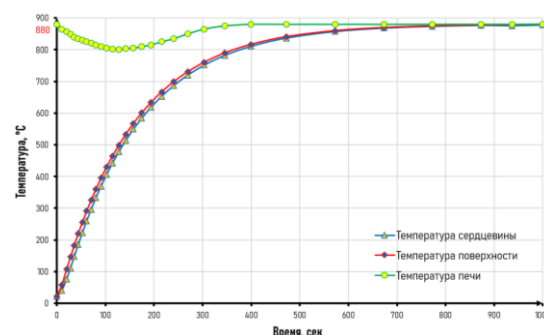


Рис. 6. Зависимость температуры от времени нагрева



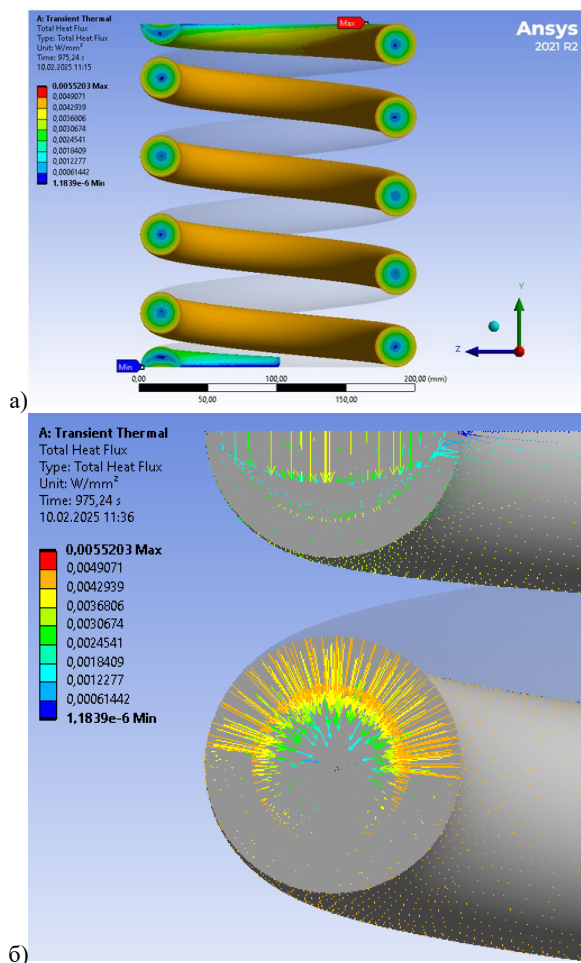


Рис. 7. Общий тепловой поток:

а) распределение теплового потока по сечению прутка пружины; б) линии теплового потока, направленные внутрь изделия

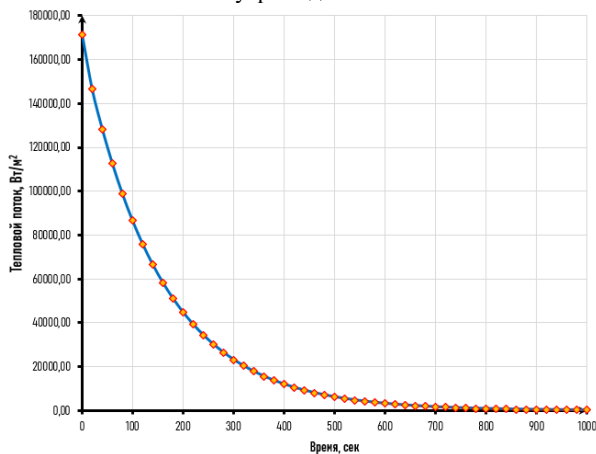


Рис. 8 Зависимость теплового потока от времени нагрева

На рисунках 6 и 7 показаны распределения общего теплового потока по сечению прутка. Так как при нагреве температура поверхности выше, чем в сердцевине, то тепло переносится вглубь изделия. Значение теплового потока с увеличением времени нагрева падает, так как в начале нагрева разница температур между поверхностью и сердцевиной максимальна, поэтому тепловой поток наибольший. По

мере прогрева материала эта разница уменьшается, что приводит к снижению теплового потока.

4. Заключение

1. Оптимизация режимов нагрева показала, что для достижения температуры закалки 880 °С в пружине диаметром 30 мм требуется около 900 секунд (15 минут). При этом перепад температур между поверхностью и сердцевиной составляет 1,25 °С, что свидетельствует о равномерном прогреве и минимальных внутренних напряжениях.

2. Тепловой поток максимален в начальный период нагрева, когда разница температур между поверхностью и сердцевиной наибольшая. С течением времени тепловой поток уменьшается по мере выравнивания температуры внутри материала.

3. Использование САЕ-систем (ANSYS) для моделирования тепловых процессов позволяет точно управлять технологическими параметрами, сокращать затраты на экспериментальные исследования и разрабатывать более эффективные технологии термообработки.

Использованная литература / References

- [1] Бендерский Б. Я., Копылов К. А. Моделирование процессов теплообмена при изготовлении пружин методом высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) //Химическая физика и мезоскопия. – 2011. – Т. 13. – №. 1. – С. 28-36.
- [2] Палаев А. Г., Носов В. В., Красников А. А. Моделирование распределения температурных полей и напряжений в сварном соединении с применением ANSYS //Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2022. – Т. 12. – №. 5. – С. 461.
- [3] Бендерский Б. Я., Копылов К. А. Математическое моделирование структурных превращений пружинной стали 60С2 в процессе закалки //Химическая физика и мезоскопия. – 2013. – Т. 15. – №. 4. – С. 508-514.
- [4] Zhang J. D. et al. Quenching Process Simulation of Spur Gear Based on ANSYS //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 735. – №. 1. – С. 012075.
- [5] Широко А. В. и др. Теплотехнический расчет огнестойкости элементов железобетонных конструкций с использованием программной среды Ansys //Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – №. 2 (18). – С. 260-269.
- [6] Абсаттаров С. Н. У. и др. Моделирование процессов химико-термической обработки на основе интеллектуального анализа данных // Universum: технические науки. – 2024. – Т. 2. – №. 9 (126). – С. 5-9.
- [7] Абсаттаров С. Н. У., Турсунов Н. К. Влияние химического состава, включая вредные и нежелательные примеси, на свойства рессорно-пружинных сталей //Universum: технические науки. – 2024. – Т. 3. – №. 12 (129). – С. 5-9.

[8] Абсаттаров С.Н., Турсунов Н.К. Исследование технологических режимов термической обработки стали 60С2ХФА для улучшения механических характеристик рессорно-пружинных деталей // Journal of Transport. – 2024. – Volume 1, Issue 4 – pp. 166-170.

Информация об авторах/ Information about the authors

Абсаттаров С.Н. Ташкентский государственный
Салохиддин транспортный университет,
Нуритдин угли ассистент кафедры
/ «Материаловедение и
машиностроение»
E-mail: asn17t503@yandex.ru

Absattarov
Salokhiddin
Nuritdin ugli

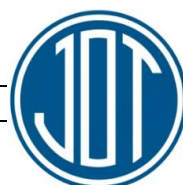
Тел.: +998903989996
<https://orcid.org/0009-0003-3658-7616>

Турсунов
Нодиржон
Каюмжонович
/

Ташкентский государственный
транспортный университет, д.т.н.,
профессор кафедры
«Материаловедение и

Tursunov
Nodirjon
Kayumjonovich

машиностроение»
E-mail: u_nadir@mail.ru
Тел.: +998990012371
<https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>



D. Mahmudova

Impact of increasing labor productivity in the company contributing factors.....139

S. Absattarov, N. Tursunov

Numerical Simulation of the spatial distribution of temperature fields in spring elements of freight wagons of railway transport...141

U. Khusenov, Sh. Suyunbaev

Methodology for assessing the impact of the main comparative resistance to movement of various wagons on the weight of the freight train.....146

F. Khudaynazarov

Development of a forecasting model of the change in the volume of international cargo transportation in automobile transport.....151

O. Kasimov, R. Isroilov, Z. Isomov

Study of the causes of corrosion in the insulating materials of traction motors.....154

A. Artykbaev, M. Toshmatova

Mathematical model of railway plan.....158