

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 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 3
SEPTEMBER, 2025**



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 3 SEPTEMBER, 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.

Magnetostructural phase transitions to manganese arsenide

U.T. Berdiev¹^a, F.F. Hasanov¹, B.K. Avazov¹^b, O.M. Kutbiddinov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

Magnetic and magnetocaloric characteristics of MnAs(P) pnictides have been investigated in this article. The presence of a sharp decrease in magnetization for the solid solution MnAs0.97P0.03, which, according to the carried out first-principles calculations, can be interpreted as ferromagnetism-paramagnetism transitions, is established. The presence of the magnetostructural phase transition leads to the appearance of the magnetocaloric effect. The local density approximation with gradient corrections was used to analyze the results of the study. The study has shown that increasing phosphorus addition leads to an increase in the magnetic anisotropy of individual blocks, resulting in the establishment of ferromagnetic ordering requires stronger magnetic fields compared to equiatomic manganese arsenide. This work was financially supported by BRFFI (project #T25UZB-053) and MIRRU (project FL-8824063324-R3).

Keywords:

magnetocaloric effect, phase transition, paramagnetic phase, magnetizations, electronic structure, small substitutions, crystal cell, spin pairs

Магнитоструктурные фазовые переходы в арсениде марганца

Бердиев У.Т.¹^a, Hasanov Ф.Ф.¹, Avazov Б.К.¹^b, Кутбиддинов О.М.¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В данной статье были исследованы магнитные и магнитокалорийные характеристики MnAs (P) пнитидов. Установлено, что существует резкое снижение намагниченности для твердого раствора MnAs0.97P0.03, которое, согласно проведенным расчетам первого принципа, можно интерпретировать как ферромагнетизм-парамагнетизм. Наличие магнитоструктурного фазового перехода приводит к появлению магнитокалорического эффекта. Для анализа результатов исследования использовалась аппроксимация локальной плотности с градиентными поправками. Исследование показало, что увеличение добавления фосфора приводит к увеличению магнитной анизотропии отдельных блоков, в результате чего установление ферромагнитного упорядочения требует более сильных магнитных полей по сравнению с равноатомным арсенидом марганца. Эта работа была финансово поддержанна БРФФИ (проект #T25UZB-053) и МИРРУ (проект FL-8824063324-R3).

Ключевые слова:

магнитокалорийный эффект, фазовый переход, парамагнитная фаза, намагничивания, электронная структура, малые подстановки, кристаллическая ячейка, спиновые пары

1. Введение

Создания компактного, экологический безопасного, энергетический эффективного и высоконадежного холодильника, работающего в диапазоне комнатных температур, чрезвычайно актуальна в настоящее время. Это обусловлено целым рядом серьезных претензий к ныне действующим охлаждающим системам. Изучение магнитокалорического эффекта (МКЭ), появляющегося при действии магнитного поля, является актуальной задачей [1-2]. МКЭ достигает наибольшего значения в области магнитных фазовых переходов. Интерес к исследованиям магнитокалорического эффекта (МКЭ) обоснован потребностью промышленности в материалах для создания магнитных холодильных машин, в которых такие материалы могут выступать в роли рабочего тела. К их числу относятся материалы с магнитоструктурными фазовыми переходами первого

рода, в частности, некоторые сплавы переходных металлов с элементами 5-7 групп [3-6]. В связи с этим исследование структурных и магнитных характеристик, и их изменения с температурой, легированием являются важным. Одними из интересных, своего рода модельными объектами для исследования природы магнитоструктурного фазового перехода, являются пнитиды марганца, в которых реализуется целая гамма магнитных и структурных фазовых превращений, как первого, так и второго рода. Ранее, с целью установления механизмов возникновения магнитокалорического эффекта в переходах подобного рода, нами исследованы пнитиды с частичным замещением марганца на переходные металлы [7, 8, 11].

2. Методика исследования

В последнее время интенсивно исследуются перовскиты манганиты, которые, во-первых, позволяют

^a <https://orcid.org/0000-0003-3513-049X>

^b <https://orcid.org/0000-0003-3732-5186>

^c <https://orcid.org/0000-0001-9290-5322>



варьировать температуру фазовых переходов в широкой области температур и, таким образом, реализовать более широкий температурный рабочий интервал МКЭ, а вовторых, являются экономически выгодными [1, 3]. Поликристаллические порошки твёрдых растворов системы MnAs_{1-y}Py синтезированы методом сплавления твердофазных реакций исходных компонентов в вакуумированных кварцевых ампулах в однозонной печи сопротивления [4, 5, 9]. Были синтезированы образцы MnAs_{0.97}Py_{0.03}, MnAs_{0.95}Py_{0.05}. Для получения была использовалась технология получения пникидов марганца [6, 7]. Образцы получали методом твердофазного синтеза. Мелкодисперсные порошки марганца, фосфора и мышьяка, взятые в соответствующих пропорциях помещали в откачанные кварцевые.

Для определения изотермического изменения энтропии в области фазового перехода были проведены измерения намагниченности в статических полях до 14 Тл. Использовался вибрационный магнитометр фирмы Cryogenic Limited. Магнитокалорические характеристики рассчитывались косвенным методом с помощью термодинамического соотношения Максвелла [7, 9].

3. Результаты исследования

На основании измерений структурных параметров, магнитной восприимчивости, упругих и других физических свойств для эквивалентного MnAs было показано, что при нагревании выше 316 К имеет место магнитоструктурный фазовый переход первого рода. Арсенид марганца при повышении температуры свыше

316 К переходит из ферромагнитной фазы с гексагональной кристаллической решеткой типа *B8₁* в парамагнитную фазу с ромбической кристаллической решеткой типа *B31*.

Рентгенофазовый анализ показал, что образцы MnAs_{1-y}Py при $y < 0.05$ являются однофазными с орторомбической структурой *B31*.

Численные значения параметров a , b , c , осевого соотношения c/a и объема элементарной ячейки V твердых растворов MnAs_{1-y}Py приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры a , b , и c , объем элементарных ячеек V твердых растворов MnAs_{1-y}Py

x	$a, \text{нм}$	$b, \text{нм}$	$c, \text{нм}$	$V, 10^{-2} \text{ нм}^3$
0,03	0,5678	0,3627	0,6316	7,791
0,05	0,5649	0,3603	0,6285	7,749

Межатомные обменные интегралы и электронная структура были рассчитаны полностью релятивистским методом Корринги-Кона-Ростокера (пакет SPRKKR v8.6 [11, 12, 13]) в приближении когерентного потенциала (ККР-ПКП) для неупорядоченного сплава. Для кристаллического потенциала использовалось приближение атомных сфер. Для обменно-корреляционной энергии выбрана аппроксимация, дающая наилучшее согласие рассчитанных магнитных моментов с экспериментальными. Использовано приближение локальной плотности [12, 15] с учетом градиентных поправок. Межатомные обменные интегралы были рассчитаны с использованием методик [13, 16], которая основана на расчете вариации функционала полной энергии по отклонению выбранной пары спинов от положения равновесия.

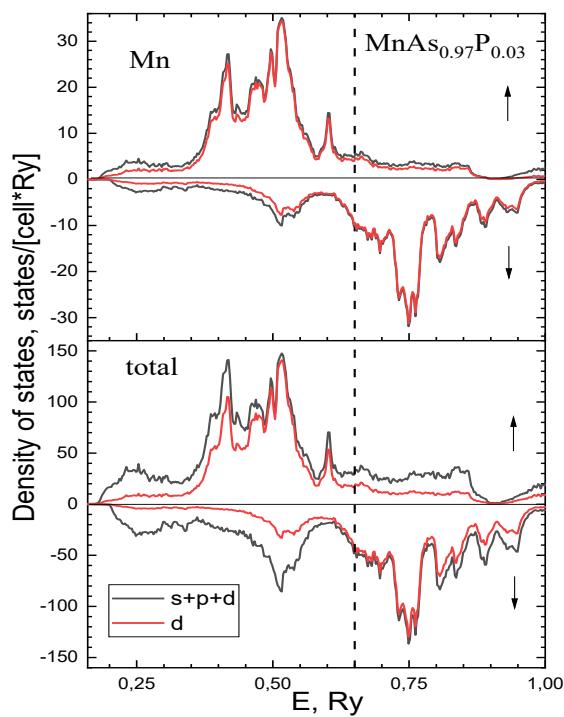
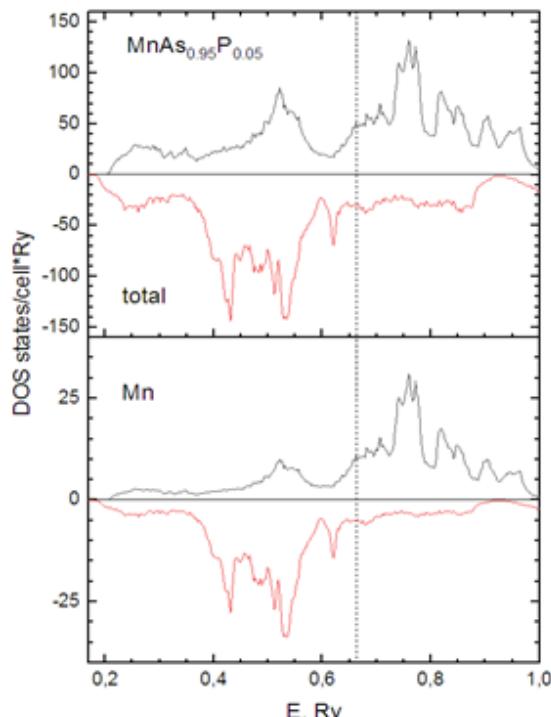


Рис. 1. Плотность электронных состояний пникидов MnAs_{0.97}Py_{0.03} и MnAs_{0.95}Py_{0.05}. Вертикальной линией обозначено положение уровня Ферми

Электронная структура пникидов MnAs_{0.97}Py_{0.03} и MnAs_{0.95}Py_{0.05} представлены на рис. 1. Спин-



поляризованная плотность электронных состояний имеет типичную многопиковую структуру, которая



характерна для соединений на основе 3d-металлов [8, 11].

Замена атомов мышьяка фосфором, при сохранении параметров кристаллической ячейки неизменными, незначительно повышает уровень Ферми. Величина

локального магнитного момента Mn при этом сохраняется (3.3 μ В). Межатомные обменные интегралы также слабочувствительны к замене мышьяка на фосфор (рис. 2).

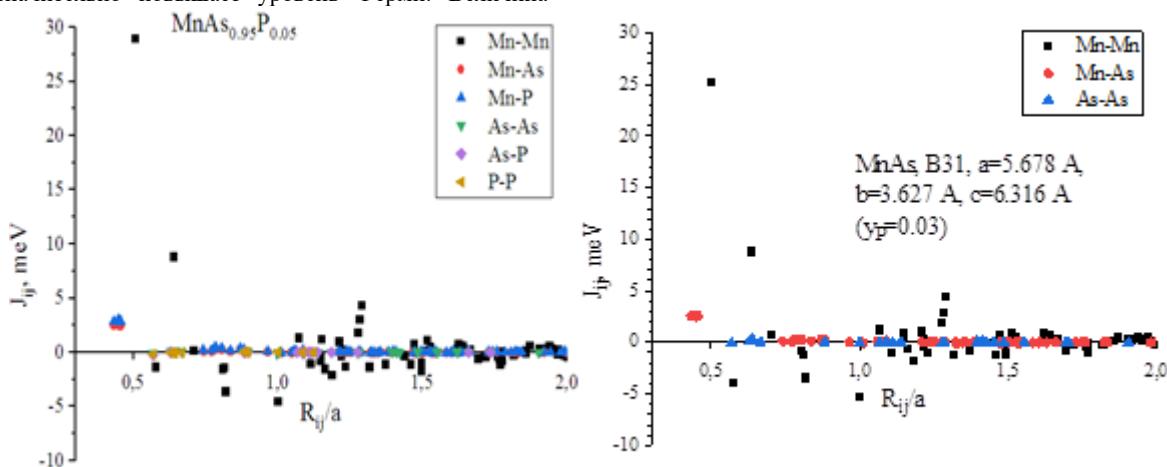


Рис. 2. Зависимость межатомных обменных интегралов от расстояния в $\text{MnAs}_{0.95}\text{P}_{0.05}$ и в чистом MnAs с параметрами решетки $\text{MnAs}_{0.95}\text{P}_{0.05}$

Результаты измерений полевых зависимостей намагниченности образца $\text{MnAs}_{0.95}\text{P}_{0.05}$ в полях до 14 Т приведены на рис.3. Видно из этих данных, что имеет место частичное восстановление ферромагнитного

состояния в интервале температур от ~240К до ~320К, если магнитное поле превышает некоторое критическое значение H_k , которое сильно возрастает с 14 Т [13,15].

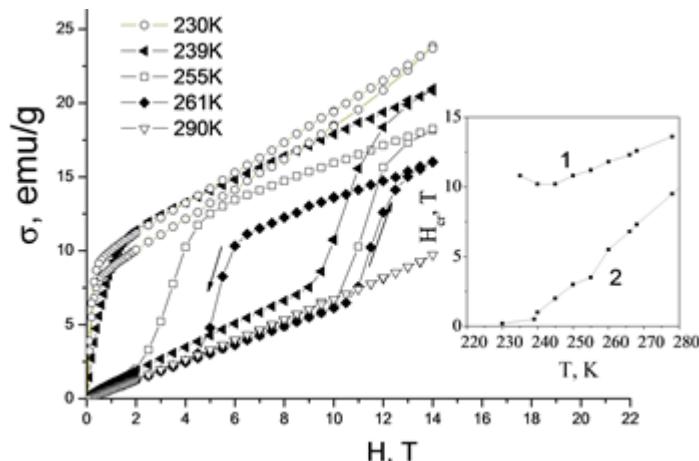


Рис. 3. Полевые зависимости намагниченности никтида $\text{Mn As}_{0.95}\text{P}_{0.05}$ вблизи температуры фазового перехода. На вставке: температурные зависимости критического магнитного поля H_{kp} перехода из частично упорядоченного ферромагнитного состояния в неупорядоченное - 1 и тоже для обратного перехода - 2.

4. Заключение

Расчетная температурная зависимость изменения магнитной энтропии для состава $\text{MnAs}_{0.97}\text{P}_{0.03}$ показала, что максимальное значение составляет ~61 Дж/кг·К в области температур ~260 К при изменении индукции магнитного поля от 0 до 14 Т. Установлено, что с увеличением концентрации фосфора, происходит линейное уменьшение параметров кристаллической решетки. Уменьшение параметров a , b , и c , можно объяснить разницей в ионных при температурах выше 280 К приводит к восстановлению упорядоченного ферромагнитного состояния – развороту векторов намагничивания кристаллитов в направлении внешнего магнитного поля. Что в свою очередь приводит к

восстановлению гексагональной фазы B_{11} и характерное для нее ферромагнитное упорядочение. Добавки фосфора приводят к росту магнитной анизотропии отдельных блоков, в результате чего установление ферромагнитного упорядочения требуются более сильные магнитные поля в сравнении в эквивалентном арсенидом марганца.

Использованная литература / References

- [1] Franco V., Blazquez J.S., Ipus J.J., Law J.Y., Moreno-Ramirez L.M., Conde A. Magnetocaloric effect: From materials research to refrigeration devices. Progress in



Materials Science, 2018, vol. 93, pp. 112–232. Doi: 10.1016/j.pmatsci.2017.10.005

[2] Mitsuuk V.I., Mashirov A.V., Koledov V.V., Valkov V.I., Golovchan A.V., Kovalev O.E., Todris B.M., Pnina Ari-Gur. Magnetic-field-induced transitions and the inverse magnetocaloric effect at liquid helium temperatures in the Mn_{1-x}CoxNiGe system (0.15≤x≤0.80) // Jmmm. 2023. T. 588. p. 171355.

[3] Mityuk V.I., Rimskii G.S., Val'kov V.I., Golovchan A.V., Mashirov A.V., Koledov V.V. Low Temperature Features of the Magnetic and Magnetocaloric Properties of the Mn_{1-x}CoxNiGe System (0.05≤x≤0.4) // Physics of Metals and Metallography. 2022. V. 123. P. 386-391.

[4] Valkov V.I., Golovchan A.V., Gribanov I.F., Andreychenko E.P., Kovalev O.Y., Mitsuuk V.I., Mashirov A.V. Baric Transformation of the Nature of Magnetic Ordering and Magnetocaloric Properties in the Mn_{1-x}CrxNiGe System // Fizika metallov i metallovedenie. 2023. Vol. 124. N. 11. P. 1044-1050.

[5] Mitsuuk V. I., Pankratov N. Yu., Govor G. A., Nikitin S. A. Magnetostructural phase transitions in manganese arsenide single crystals // Physics of the Solid State. 2012. V. 54. 1988–1995.

[6] Mitsuuk V.I., Gurbanovich A.V., Gurbanovich An.V., Tkachenka T.M., Valkov V.I., Golovchan A.V., Mashirov A., Surowiec Z. Magnetic and Magnetocaloric Characteristics of the Mn_{1.9}Cu_{0.1}Sb Alloy. // Journal of Communications Technology and Electronics 2023. Vol. 68. P 431–435.

[7] Mitsuuk V.I., Govor G.A., Budzyński M. Reversible Phase transitions and magnetocaloric effect in MnAs, MnAs_{0.99}P_{0.01}, and MnAs_{0.98}P_{0.02} single crystals // Inorg. Mater. 2013. V. 49 P. 14–17.

[8] Pankratov N.Yu., Mitsuuk V.I., Ryzhkovskii V.M., Nikitin S.A. Direct measurement of the magnetocaloric effect in MnZnSb intermetallic compound // Jmmm. 2019. V. 470. P. 46-49.

[9] Govor G.A., Larin A.O., Mitsuuk V.I., Rimskiy G.S., Tkachenka T.M. Magnetocaloric properties of the single crystal Mn_{0.99}Fe_{0.01}As. // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physics and Mathematics series. 2019. V. 55. P 118–124.

[10] Govor G.A., Mitsuuk V.I., Nikitin S.A., Pankratov N.Yu., Smarzhevskaya A.I. Magnetostructural phase transitions and magnetocaloric effect in Mn(As,P) compounds and their composites. // Journal of Alloys and Compounds. 2019. 801. P. 428–437.

[11] Berdiev, U., Berdiyorov, U., Toshpulatova, M., Problems and Tasks of Creating Energy-Saving Electric Machines. AIP Conference Proceedings, 2022, 2432, 020002

[12] Berdiev, U., Demedenko, O., Ashurov, M., Hasanov, F.F., Sulaymanov, U.B. Optimization of the

method of oxide coating of metallic iron powder particles. E3S Web of Conferences, 2023, 383, 04039

[13] Bacon G.E., Street R. Magnetic Structure of Manganese Arsenide // Nature 1955. V. 175 P. 518–520.

[14] Sirota N.N., Vasilev E.A., Govor G.A. Neutron diffraction study of magnetic and crystallographic phase transformations in manganese arsenide as a function of temperature and pressure // J. Phys. 1971. V. 32 P. 987–989.

[15] U.T.Berdiev, A.K. Vecher, F.F. Hasanov, Investigation of the frequency characteristics of composite iron powders with insulating oxide coatings. "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering" (CONMECHYDRO - 2021), Tashkent, Uzbekistan, April 1-3.

[16] Vosko S.H., Wilk L., Influence of an improved local-spin-density correlation-energy functional on the cohesive energy of alkali metals // Phys. Rev. 1980. B. 22. P. 3812-3815 Gschneidner, K.A. Magnetocaloric Materials / K.A. Gschneidner Jr, and V.K. Pecharsky // Annu. Rev. Mater. Sci. 2000. V. 30. P. 387-429.

Информация об авторах/ Information about the authors

Бердиев Усан / Usan Berdiyev	Ташкентский транспортный университет, к.т.н. кафедры профессор	государственный университет, к.т.н. «Электротехника», профессор
	E-mail berdiyev1962@inbox.ru	
	Tel.: +998946035014	
	https://orcid.org/0000-0003-3513-049X	
Хасанов Фозил / Fozil Hasanov	Ташкентский транспортный университет, и.о. доцента кафедры «Электротехника» (PhD),	государственный университет, и.о. доцента кафедры «Электротехника» (PhD),
	E-mail: hasanovff1808@gmail.com	
	Tel.: +998932936446	
Авазов Бобомурод / Bobomurod Avazov	Ташкентский транспортный университет, старший преподаватель кафедры «Электротехника» (PhD),	государственный транспортный университет, старший преподаватель кафедры «Электротехника» (PhD),
	E-mail: avazzovbk@gmail.com	
	Tel.: +998974616003	
	https://orcid.org/0000-0001-9290-5322	
Кутбидинов Одилjon / Odiljon Kutbiddinov	Ташкентский транспортный университет, старший преподаватель кафедры «Электротехника» (PhD),	государственный транспортный университет, старший преподаватель кафедры «Электротехника» (PhD),
	E-mail: odiljon.kutbidinov@bk.ru	
	Tel.: +998935933827	
	https://orcid.org/0000-0003-3732-5186	



M. Masharipov, R. Bozorov, U. Khusenov, E. Asatov	
<i>Modern condition and development prospects of train operation management on the “Angren–Pop–Angren” railway corridor of JSC “Uzbekistan Railways”</i>	49
A. Khurramov	
<i>Design and performance analysis of operational technological communication networks based on digital technologies</i>	55
A. Tadjibaev, V. Jovliev, N. Boltaboeva	
<i>Application of Internet of Things technologies to improve the operational reliability of the gas supply system in vehicles</i>	59
M. Muzaffarova	
<i>A novel technological solution for protecting railways from sand drifts</i>	64
M. Mirzabekov, B. Kurbonova	
<i>Intelligent transport systems: an integrated approach for smart cities</i>	67
G. Isakova, I. Sadikov	
<i>Importance of mineral powders in the development of transport and operational indicators of highways.....</i>	72
F. Hasanov, O. Kutbiddinov, U. Berdiyorov	
<i>Study of the magnetocaloric effect of metals</i>	76
U. Berdiev, F. Hasanov, B. Avazov, O. Kutbiddinov	
<i>Magnetostructural phase transitions to manganese arsenide</i>	79
P. Begmatov	
<i>Determining the dependence of the vibrations of the ballastic layer on the speed of train movement</i>	83
A. Azizov, F. Sindarov	
<i>Theoretical prerequisites in the organization of the construction of diagnostic systems, microprocessor blocks of the dialing group of railway automation and telemechanics</i>	87