

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 2, 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 2

JUNE, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 2 JUNE, 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 effect of adhesion properties on asphalt concrete pavement

G.K. Isakova¹^a, I.S. Sadikov¹^b, R.K. Kadirbergenov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The resistance of asphalt pavements to traffic loads and environmental influences is directly dependent on the mechanical bonding of the selected bitumen-aggregate materials, the properties of the bitumen-aggregate interface, and the internal cohesive strength of the bitumen. Studies have shown that the strength of the bitumen-aggregate bond depends primarily on the composition of these two components and the degree of exposure to moisture. To ensure satisfactory performance of bitumen pavements, it is necessary to select appropriate combinations of bitumen and aggregates.

Keywords: asphalt binder, bitumen, mineral materials, aggregates, adhesion, asphalt concrete, bond strength, moisture effect

Влияние адгезионных свойств на асфальтобетонное покрытие

Исакова Г.К.¹^a, Садиков И.С.¹^b, Кадирбергенов Р.К.¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Сопротивление асфальтобетонных покрытий транспортным нагрузкам и воздействию окружающей среды напрямую зависит от механической связи выбранных битумно-заполнительных материалов, свойств границы раздела битум-заполнитель и внутренней когезионной прочности битума. Исследования показали, что прочность связи битум-заполнитель зависит прежде всего от состава этих двух компонентов и степени воздействия влаги. Для обеспечения удовлетворительных эксплуатационных характеристик битумных покрытий необходимо правильно подобрать комбинации битума и заполнителей.

Ключевые слова: асфальтовое вяжущее, битум, минеральные материалы, заполнители, адгезия, асфальтобетон, прочность сцепления, воздействие влаги

1. Введение

Современная дорожная транспортная инфраструктура рассматривается как один из ключевых факторов экономического развития. Долговечность и эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий в значительной степени определяются адгезионными свойствами между битумом и минеральными заполнителями. Процесс адгезии протекает на различных масштабных уровнях (мультиуровневый характер), при этом селективная адсорбция молекул битума на поверхности заполнителя играет решающую роль. Прочность и долговечность дорожных покрытий напрямую зависят от качества асфальтобетонных смесей. В этих смесях основными компонентами являются асфальтовое вяжущее (битум) и минеральные заполнители.

Значительная часть дорожных покрытий во всём мире сооружается с использованием битумных смесей. Битумная смесь представляет собой композиционный материал, состоящий из битумного вяжущего, заполнителей и минерального порошка, которые смешиваются в определённых пропорциях для устройства нежёстких дорожных покрытий. В ряде случаев в состав смесей вводятся добавки с целью улучшения эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

Адгезионное сцепление между асфальтовым вяжущим и минеральными заполнителями обеспечивает механическую прочность, водостойкость и устойчивость к деформациям асфальтобетонных покрытий. При недостаточной адгезии битума к поверхности заполнителя в покрытии могут возникать такие дефекты, как трещины и выбоины.


Процесс адгезии связан с действием молекулярных сил притяжения, поверхностной энергией и явлениями адсорбции. Полярные компоненты битума адсорбируются на поверхности заполнителя, формируя прочную связь. В связи с этим исследование химического и минералогического состава как асфальтового вяжущего, так и минеральных заполнителей имеет важное научное и практическое значение.

2. Методика исследования

Адгезионное сцепление между асфальтовым вяжущим и минеральными заполнителями обеспечивает механическую прочность, водостойкость и устойчивость к деформациям асфальтобетонных покрытий. При недостаточной адгезии битума к поверхности заполнителя в покрытии могут возникать такие дефекты, как трещины и выбоины [1].

Процесс адгезии связан с действием молекулярных

^a <https://orcid.org/0009-0001-4990-8920>

^b <https://orcid.org/0000-0002-2595-288X>

^c <https://orcid.org/0009-0002-4922-0744>



сил притяжения, поверхностной энергией и явлениями адсорбции. Полярные компоненты битума адсорбируются на поверхности заполнителя, формируя прочную связь. В связи с этим исследование химического и минералогического состава как асфальтового вяжущего, так и минеральных заполнителей имеет важное научное и практическое значение [2]. Кандхал и Рикардс выделили четыре основных фактора, способствующих отслаиванию: наличие влаги, высокая температура, повышенное содержание воздушных пустот и высокие напряжения [3]. Отслоение представляет собой микроскопическое отделение битумной плёнки от поверхности заполнителя под воздействием влаги без явного разрыва самой битумной плёнки. Апиажеи, Гренфелл и Эйри (2014) провели исследование, посвящённое наблюдению обратимого влагового повреждения в асфальтобетонных смесях. Результаты показали, что жёсткость материала, как правило, снижается с увеличением времени кондиционирования. Согласно Маннану, Ахмаду и Таредеру (2017), скорость самовосстановления вяжущего также зависит от воздействия влаги [1]. Фактический механизм повреждений, вызванных воздействием влаги, до конца не изучен, однако считается, что данное явление в значительной степени обусловлено физико-химическими взаимодействиями между мастикой и минеральными заполнителями в присутствии воды. Образование межфазного слоя воды толщиной в несколько монослоёв (35–45 нм) на границе раздела «заполнитель–битум» рассматривается как одна из основных причин потери адгезии [2]. Показано (Airey и др., 2007), что минералогический и химический состав заполнителей может играть более существенную роль в развитии влаговых повреждений, чем свойства битума, такие как глубина проникания, кислотное число и распределение молекулярных размеров [4]. Согласно Фромму, обратная эмульгация влаги в битуме приводит к потере адгезии и последующему разрушению сцепления. Выделено несколько механизмов отслаивания (stripping), включая вытеснение, отрыв, поровое давление, самопроизвольную эмульгацию и гидравлическое размывание [4]. Кеннеди и Пинг определили stripping как потерю адгезионной связи между минеральным заполнителем и битумным вяжущим [5].

Как отмечалось ранее, асфальтовая мастика может рассматриваться как основной адгезионный компонент, связывающий заполнители в смеси. Поэтому для более глубокого понимания проблемы влаговых повреждений необходимо учитывать основные концепции, лежащие в основе процессов адгезии и разупрочнения (дебондинга). В настоящее время предложено несколько теорий адгезии, включая теорию физической адсорбции, теорию химического связывания, диффузионную теорию, теорию электростатических взаимодействий, теорию механического зацепления и теорию слабого пограничного слоя [6]. Одним из проявлений повреждения адгезионной связи с отрицательной работой адгезии в присутствии воды является необратимая потеря прочности сцепления. Для асфальтобетонных смесей подходы, основанные на теории физической адсорбции, в настоящее время являются наиболее широко применяемыми [7]. Это объясняется тем, что связь между битумом и

минеральным заполнителем формируется за счёт тесного контакта тонких плёнок асфальтового вяжущего и поверхности заполнителя в процессе смешивания.

В испытаниях методом ESEM-EDS на микроуровне исследуется интерфейс между битумом и минеральными материалами, а также определяется адсорбция различных элементов битума поверхностью минералов. Измерения ESEM-EDS проводятся на поперечных сечениях композитных образцов системы «битум–минеральный материал». Полярные молекулы, выступающие в качестве «якорных» (footprint) молекул в слое битума, в различной степени адсорбируются на поверхности различных минералов. В данном исследовании в качестве индикатора используется отношение содержания углерода к кислороду (C/O). Изменение значения данного показателя на различных расстояниях от поверхности минерала отражает различия в адсорбции полярных веществ на разных минеральных поверхностях [8].

Как отмечалось ранее, минералогический состав заполнителей оказывает существенное влияние на восприимчивость асфальтобетонных смесей к влаговым повреждениям. Минералогический состав заполнителей был охарактеризован с использованием анализатора минерального состава (Mineral Liberation Analyzer, FEI Quanta 600 SEM). Данный прибор сочетает автоматизированный сканирующий электронный микроскоп и несколько энергодисперсионных рентгеновских детекторов с современным программным обеспечением для получения количественных минералогических характеристик. Полученные результаты были использованы для идентификации ключевых минеральных фаз и оценки их влияния на снижение адгезионной прочности системы «заполнитель–мастика» под воздействием влаги [11]. Другим важным параметром, влияющим на влаговые повреждения асфальтобетонных смесей, является скорость и степень водопоглощения заполнителей. Испытания на водопоглощение проводились с целью моделирования переноса влаги в структуре заполнителей методом полного погружения в воду при температуре 20 °С. Методика предусматривала погружение необработанных дисков заполнителя номинальными размерами 23 мм в диаметре и 15 мм толщиной в деионизированную воду с последующим измерением поглощённой влаги с использованием высокочувствительных микровесов (разрешение 0,1 мг) [11].

3. Результаты и обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что минералогический и химический состав заполнителей напрямую влияет на адсорбцию молекул битума. В частности, компоненты битума, содержащие полярные функциональные группы, проявляют более прочное взаимодействие с поверхностью заполнителя, что способствует увеличению прочности адгезии.

Заполнители и асфальтовые мастики характеризуются значительными различиями по способности к влагопоглощению. На основании испытаний динамической сорбции водяного пара установлено, что гранитные заполнители поглощают больше влаги по сравнению с известняковыми. Такое поведение объясняется наличием гидрофильных



минералов в минералогическом составе гранита, таких как кварц и полевой шпат.

Более того, явление селективной адсорбции приводит к изменению состава битума с течением времени, что, в свою очередь, влияет на процессы старения и восприимчивость асфальтобетонных покрытий к воздействию влаги. Результаты лабораторных испытаний также показали, что уровень адгезионного сцепления между асфальтовым вяжущим и минеральными заполнителями зависит от типа заполнителя и условий испытаний [4].

С использованием методов ESEM-EDS было проведено наблюдение фактической адгезионной границы между битумом и различными минеральными поверхностями на микроскопическом уровне. Образцы, подготовленные методом криоразлома (freeze-fracture), позволили сформировать гладкий и чётко выраженный поперечный срез на границе «битум-минерал». Это, в свою очередь, создало необходимые условия для достоверного анализа распределения элементов [8].

Результаты линейного сканирования методом EDS убедительно подтвердили явление селективной адсорбции полярных компонентов битума на поверхности минералов. Резкое изменение отношения углерода к кислороду (C/O) в области, близкой к границе раздела, указывает на то, что молекулы битума распределены по поверхности заполнителя неравномерно, а высокополярные вещества имеют тенденцию к накоплению на интерфейсе [8]. Заполнители могут классифицироваться как кислые или основные (щелочные) в зависимости от их химической природы. Согласно исследованиям Хефера, кислые материалы, как правило, образуют более прочные химические связи с основными материалами, тогда как основные материалы более эффективно взаимодействуют с кислыми. В системе «битум-заполнитель» образование прочной химической связи происходит, например, в случае, когда основной заполнитель, такой как известняк, вступает в благоприятное взаимодействие с кислыми компонентами, присутствующими в битуме [9].

Карбонат кальция (CaCO_3), содержащийся в известняке, образует прочные связи с карбоновыми кислотами в составе битума. В отличие от этого, кремнистые (силикатные) заполнители обладают кислой природой, в то время как сам битум также рассматривается как слабокислый материал. Поэтому прочность адгезии между битумом и такими заполнителями относительно невысока [9].

Кеннеди и Пинг (1991) определили отслаивание (stripping) как потерю адгезии между битумом и заполнителями под воздействием воды [5]. Кандхал и Рикардс (2001) выделили основные факторы, способствующие отслаиванию: наличие влаги, высокая температура, повышенное содержание воздушных пустот и повышенный уровень напряжений [3].

Исследования показали, что асфальтобетонные смеси, потерявшие до 80% первоначальной жёсткости, могут полностью восстанавливать свои свойства после высыхания. Ким и соавт. продемонстрировали, что использование гидратированной извести (Ca(OH)_2) эффективно снижает влаговые повреждения и улучшает сцепление между битумом и заполнителями [10].

Также было установлено, что при увеличении глубины проникания битума с 60/70 до 80/100 прочность

сцепления снижается примерно на 9,73%. Кроме того, в сухих условиях около 90% первоначальной прочности сцепления формируется в течение первых 24 часов. Дальнейшее увеличение прочности происходит значительно более медленными темпами [10].

Данная методика включает экспонирование образцов заполнителей при различных концентрациях (частичных парциальных давлениях) специально подобранных зондовых жидкостей и измерение прироста массы во времени с использованием высокочувствительных микровесов (с разрешением 0,1 мкг). В качестве зондовых жидкостей использовались хлороформ, этилацетат и октан. Подробное описание метода сорбции приведено в других источниках.

Полученные результаты были использованы для построения ряда сорбционных изотерм, на основе которых оценивались удельная поверхность по методу Брунауэра-Эмметта-Теллера (BET), а также компоненты поверхностной свободной энергии (SFE) заполнителей. Кроме того, результаты позволили оценить относительную пористость заполнителей, а также термодинамическую работу адгезии и разрушения (debonding) связи «заполнитель-битум».

[11] Результаты, демонстрирующие лучшую устойчивость к повреждениям, вызванным влагой, для связей заполнителя, содержащих известняковую мастику, чем гранитную мастику, согласуются с предыдущими исследованиями [1] более сложных испытаний асфальтобетонных смесей. На этом основании можно утверждать, что представленная в данном исследовании установка для испытаний стыковых швов предлагает перспективный подход к оценке чувствительности асфальтобетонных смесей к влаге.

Полученные результаты показывают, что процесс адгезии между асфальтовым вяжущим и заполнителями зависит от ряда факторов. Во-первых, минеральный состав заполнителей играет значительную роль. Щелочные заполнители демонстрируют лучшую адгезию с битумом, тогда как кислые заполнители более восприимчивы к влаге.

Во-вторых, состав битума также имеет большое значение. Модифицированные битумы образуют более прочные адгезионные связи с заполнителями [3].

В-третьих, условия окружающей среды, особенно влажность и температура, оказывают значительное влияние на срок службы асфальтобетонных покрытий. Поэтому при проектировании асфальтобетонных смесей необходимо выбирать подходящую комбинацию асфальтового вяжущего и заполнителей.

4. Заключение

Результаты данного исследования показывают, что адгезионная связь между асфальтовым вяжущим и заполнителями играет решающую роль в прочности и долговременной работоспособности асфальтобетонных покрытий. Поэтому при проектировании асфальтобетонных смесей выбор совместимого сочетания асфальтового вяжущего и заполнителей, а также улучшение их адгезионных свойств имеет важное научное и практическое значение для повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий.



Использованная литература / References

[1] Airey, G. D., & Choi, Y. K. State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *Road Materials and Pavement Design*, 3(4), 355–372, 2002.

[2] Nguyen, T., Byrd, E., Alsheh, D., & Bentz, D. Relation between adhesion loss and water at the polymer/substrate interface. *Proceedings adhesion society meeting*, Hilton Head Island, SC, USA, 1995.

[3] Prithvi S. Kandhal and Ian J. Rickards, “Premature failure of asphalt overlays from stripping case histories,” Paper presented at the annual meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists held in Clear Water, Florida, 2001.

[4] Fromm, H. J. *The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces*. Ontario: Ministry of Transportation and Communication, 1973.

[5] Kennedy, T. W., and W. V. Ping, “Comparison Study of Moisture Damage Test Methods for Evaluating Antistripping Treatments in Asphalt Mixtures.” *Transportation Research Record*, no. 1323: 361–1981, 1991.

[6] Wake, W. C. Theories of adhesion and uses of adhesives: A review. *Polymer*, 19(3), 291–308, 1978.

[7] Bhasin, A., Masad, E., Little, D. N., & Lytton, R. L. (2006). Limits on adhesive bond energy for improved resistance of hot-mix asphalt to moisture damage. *Transportation Research Record* 1970, 3–13..

[8] Lu Zhou, Gordon Airey, Yuqing Zhang & Chonghui Wang, “Multiscale characterisation on the adhesion and selective adsorption at bitumen–mineral interface”, *Road Materials and Pavement Design*, pp. 3–21, 2024.

[9] Hefer, A. “Adhesion in Bitumen-aggregate Systems and Quantification of the Effects of Water on the Adhesive Bond.” PhD diss., Texas A&M University, 2005.

[10] Kim, Y.-R., J. S. Lutfi, A. Bhasin, and D. N. Little. “Evaluation of Moisture Damage Mechanisms and Effects

of Hydrated Lime in Asphalt Mixtures through Measurements of Mixture Component Properties and Performance Testing.” *Journal of Materials in Civil Engineering* 20, 2008 659–667.

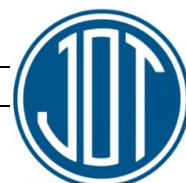
[11] Alex K. Apeagyei, James R. A. Grenfell & Gordon D. Airey, Moisture-induced strength degradation of aggregate–asphalt mastic bonds “*Road Materials and Pavement Design*” 232-239, 2024.

Информация об авторах/ Information about the authors

Садиков И.С. /
I.S. Sadikov / Ташкентский государственный транспортный университет, т.н., профессор кафедры «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог»
E-mail: jaamm.ru@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2595-288X>

Исакова Г.К. /
G.K. Isakova / Ташкентский государственный транспортный университет, Докторант кафедры «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог»
E-mail: gulxanisakova22@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-4990-8920>

Кадирбергенов Р.К. /
R.K. Kadirbergenov / Ташкентский государственный транспортный университет, магистрант
E-mail: qadirbergenovruslan055@gmail.com



I. Maturazov, A. Turdimurodov, S. Otaboev <i>Analysis of remote real-time monitoring of the technical condition of aircraft engines based on IoT systems</i>	5
I. Maturazov, A. Turdimurodov, S. Otaboev <i>Prediction of technical failures in aircraft based on artificial intelligence</i>	10
A. Kiyomov <i>Problems of formation of basic professional competence among students of technical higher educational institutions</i>	15
M. Rasulmuhamedov, Z. Mirzaeva, A. Matkarimov, M. Mehmonov <i>Numerical calculation of the bending of an elastic beam using the finite difference method</i>	18
E. Shchipacheva, R. Pirmatov, Li Jia Jun, R. Khasanov, S. Sadikov, O. Sodikov <i>An innovative surface coating for transportation infrastructure</i>	22
G. Isakova, I. Sadikov, R. Kadirbergenov <i>The effect of adhesion properties on asphalt concrete pavement</i>	26
M. Masharipov, E. Asatov, R. Bozorov <i>Analysis of international experience in organizing train operations on complex mountainous railway sections</i>	30
M. Sultonboeva <i>The Role and impact of ESG factors in the development of the banking and financial system</i>	34
O. Turdiev, M. Murtozaeva <i>Development of an information system for rapid communication with emergency services</i>	38
M. Murtozaeva <i>Development of an information system for real-time communication with emergency services: Mathematical modeling and practical results</i>	42
A. Gulomova <i>Evaluation of the energy efficiency of passive cooling methods for attic spaces in hot climate regions</i>	47