



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212\_2022\_4\_85  
MPHTI 73.31.11

**Д.С. Дюсембинов<sup>1</sup>, Ж.А. Шахмов<sup>1</sup>, А.А. Жумагулова<sup>2</sup>, К.К. Мухамбеткалиев<sup>1</sup>,  
Н.Г. Досаев<sup>1</sup>, Д.О. Базарбаев<sup>2</sup>, Д.Н. Кадырханова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РГП на ПХВ «Национальный центр качества дорожных активов», г. Астана, Казахстан

*E-mail: dusembinov@mail.ru*

*E-mail: zhanbolat8624@mail.ru\**

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

*E-mail: zaaskarovna@gmail.com*

*E-mail: k.mukhambetkaliev@sapaortalygy.kz*

*E-mail: dosaev.nurzhan@gmail.com*

*E-mail: phdd84@mail.ru*

*E-mail: dana.kad98@gmail.com*

## **АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОГ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАЙДАЛАНУ ПРОЦЕСІНДЕ ЦЕМЕНТ-БЕТОН ЖОЛДАРЫНЫҢ АҚАУЛАРЫН ТАЛДАУ ANALYSIS OF DEFECTS IN CEMENT CONCRETE ROADS IN OPERATION**

**Аннотация.** Технология строительства дорог с применением цементобетонных покрытий используется в мире уже более 100 лет, она нашла применение в странах с самыми разными климатическими условиями. Например, цементобетонные покрытия распространены в Канаде и США – странах, очень схожих по климатическим условиям с Казахстаном. Целью проведенного исследования являлся анализ эффективности цементобетонных дорог в процессе эксплуатации на примере цементобетонных дорог РК.

Исследования проводились с применением стандартных методов и поверенного оборудования на базе аккредитованной лаборатории. Достижение поставленных задач реализовывалось в условиях полевых испытаний с применением методов неразрушающего контроля.

Результатами работы авторов является выявление причин возникновения коробления дорог за счет температурного расширения бетонных плит, шелушения поверхности бетона и появления поперечных и продольных глубоких трещин на поверхности ЦБ дорог в результате просадок основания или вследствие плохого отвода поверхностных вод.

Теоретическая и практическая значимость работы: на основе анализа полученных результатов обследования разработаны рекомендации по предотвращению дефектов цементобетонных дорог и уходу за ними.

**Ключевые слова:** цементобетонные дороги, дорожные покрытия, коробление, шелушение, трещинообразование.

**Аңдатпа.** Цемент-бетон жабындарын қолдана отырып жол салу технологиясы әлемде 100 жылдан астам уақыт бойы қолданылып келеді, ол әртүрлі климаттық жағдайлары бар елдерде қолданыла бастады. Мысалы, цемент-бетон жамылғылары Канада мен АҚШ-та кең таралған – Қазақстандағы климаттық жағдайлары өте ұқсас елдер. Жүргізілген зерттеудің мақсаты – ҚР цемент-бетон жолдарын пайдалану процесінде оның тиімділігін талдау болып табылады.

Зерттеулер аккредиттелген зертхана базасында стандартты әдістер мен сенімді жабдықтарды қолдану арқылы жүргізілді. Қойылған міндеттерге қол жеткізу бұзбайтын бақылау

әдістерін қолдана отырып, далалық сынақтар жағдайында іске асырылды.

Авторлар жұмысының нәтижелері бетон плиталарының температуралық кеңеюі есебінен жолдардың бүліну себептерін анықтау; бетон бетінің қабыршақтануы және негіздің шөгуді нәтижесінде немесе жер үсті суларының нашар бұрылуы салдарынан жолдардың бетінде көлденең және бойлық терең жарықтардың пайда болуы келтірілген.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы: зерттеу нәтижелерін талдау негізінде цемент-бетон жолдарының ақауларын болдырмау және оларды күту бойынша ұсыныстар жасау.

**Түйін сөздер:** цемент-бетон жолдар, жол жабындары, шалыстану, қабыршақтану, жарықшақтану.

**Abstract.** The technology of road construction using cement concrete pavement has been used in the world for over 100 years, it has found application in countries with the most different climatic conditions. For example, cement concrete pavements are common in Canada and the United States, countries that are very similar in climatic conditions in Kazakhstan. The purpose of our study was to analyze the effectiveness of cement concrete roads during operation by the example of cement concrete roads in Kazakhstan.

The research was carried out using standard methods and verified equipment on the basis of an accredited laboratory. Achievement of the set tasks was realized in the conditions of field tests with the use of methods of nondestructive control.

The results of the authors' work are the identification of the causes of warping of roads due to thermal expansion of concrete slabs; flaking of the concrete surface and the appearance of transverse and longitudinal deep cracks on the surface of the road base as a result of foundation subsidence or due to poor drainage of surface water.

Theoretical and practical significance of the work: based on the analysis of the obtained results of the survey, recommendations for the prevention of defects of cement concrete roads and their care have been developed.

**Key words:** cement concrete roads, road surfaces, warping, flaking, cracking.

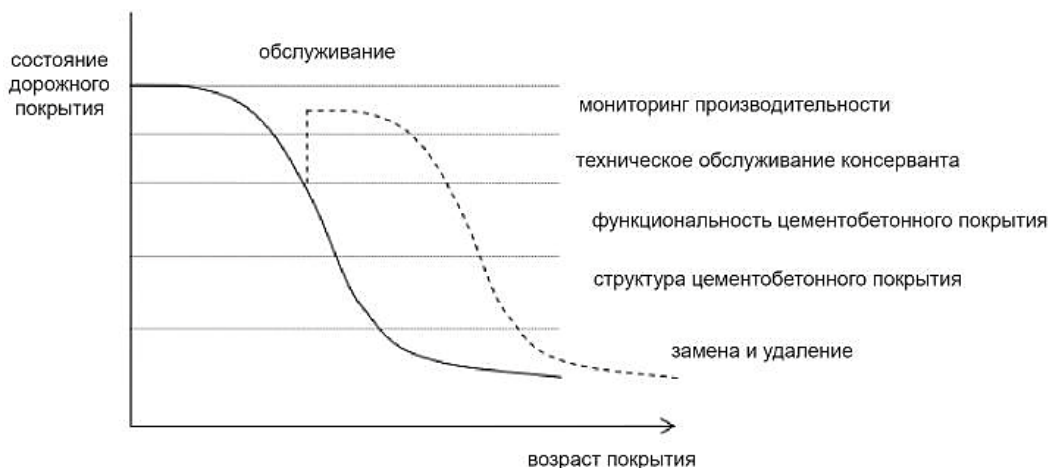
*Введение.* Согласно мировому опыту, жизненный цикл цементобетонных автодорог в 3 раза длиннее асфальтобетонных [1, 2]. Первоначально стоимость строительства цементобетонных покрытий оценивалась на 5-20 % дороже асфальтобетонных. Но, если подробно разбирать финансовую составляющую вопроса, расходы на ремонт и эксплуатацию асфальтобетонных покрытий в перспективе жизненного цикла (около 25 лет) таковы, что возведение и эксплуатация альтернативных цементобетонных покрытий обходится на 40-50 % дешевле. Особенно цементобетонные покрытия оправдывают себя в условиях высокой интенсивности движения и/или большой грузонапряженности автомобильных перевозок [2, 3].

В процессе внедрения ЦБ дорог в нашей стране были изучены примеры стран, применяющих ЦБ дороги, а также были рассмотрены проблемы, возникающие в процессе эксплуатации, и методы ухода. После укладки ЦБ дорог на территории РК возникли ожидаемые проблемы, связанные с процессом эксплуатации дорог: проблемы с короблением, шелушением, образованием трещин [4, 5]. Аналогичные проблемы возникают во всем мире, и каждая страна разработала специальные стандарты, регламентирующие технологию эксплуатации [6, 7]. Однако перенятие опыта и нормативных документов не является эффективным, так как условия эксплуатации, сырье, на основе которого была построена дорога, климатические условия и технологический процесс производственных работ значительно отличаются [8]. В связи с этим необходимо обследовать дороги, выявлять причины возникновения дефектов, а по результатам анализа – разрабатывать и дополнять нормативно-техническую базу по установлению причин появления дефектов на автодорогах.

*Литературный обзор.* Бетонное покрытие уже много лет демонстрирует отличные эксплуатационные характеристики в городских условиях и на автомагистралях благодаря длительному сроку службы и низким требованиям к техническому обслуживанию [9, 10]. Однако ежегодно возрастающая интенсивность движения ускоряет износ дорожного покрытия и увеличивает потребность в техническом обслуживании. На рис. 1 показана тенденция ухудшения состояния цементобетонного покрытия с увеличением его возраста.

Надлежащие этапы технического обслуживания отмечены как средство для решения конкретных условий дорожного покрытия.

По мере ухудшения состояния дорожного покрытия требуются более высокие затраты на ремонт и больше времени для внесения исправлений, что приводит к увеличению пробок на дорогах. Поэтому мелкий ремонт бетонного покрытия следует проводить на ранних стадиях износа дорожного покрытия, чтобы продлить срок службы дорожного покрытия при меньших затратах [11, 12].



**Рисунок 1.** Состояние дорожного покрытия и этапы технического обслуживания

По мнению исследователей Техасского института транспорта, наилучший вариант ремонта дорожного покрытия зависит от причины появления трещин, наличия других повреждений и, возможно, множества других факторов [11, 12]. Главное решение заключается в выборе – следует ли проводить плановое техническое обслуживание, текущий ремонт или структурную реконструкцию дорожного покрытия. Основой для этого решения является понимание причин бедствия, которое должно дать представление о том, как дорожное покрытие будет работать в будущем. Даны следующие рекомендации:

- если причина трещин указывает на то, что трещины должны оставаться неактивными в течение долгого времени, плановое техническое обслуживание должно быть адекватным;
- если причина трещин указывает на то, что трещины будут активными с течением времени, но не являются результатом широко распространенных структурных недостатков, техническое обслуживание должно быть адекватным;
- если причина трещин указывает на широко распространенные структурные недостатки по всей длине дорожного покрытия, следует рассмотреть вопрос о восстановлении.

Вопрос образования и распространения трещин в бетонных дорожных покрытиях американскими исследователями [13] был проанализирован с помощью механики разрушения. Результаты контроля трещин путем введения пропиленной канавки зависят от возраста бетона, перепада температур и глубины канавки. Зная ожидаемый перепад температур и толщину дорожного покрытия, можно определить время и глубину канавок, необходимые для обеспечения надлежащего контроля трещин в простых бетонных покрытиях [14].

*Материалы и методы исследования.* В данной статье приведены результаты исследования автомобильных дорог южных областей Казахстана. Период исследования – вторая

половина июня 2022 года:

Для идентификации дефектов ЦБ дорог были приняты таблицы дефектов с описанием и определениями данных дефектов (табл. 1-3).

**Таблица 1.** Деформации и разрушения покрытия (трещины)

Поперечные сквозные		Поперечные:	
Технологические	Поперечные поверхностные	Поперечные поверхностные	Поперечные на краевых участках плит вдоль швов
Несвоевременная и некачественная нарезка деформационных швов	Изменение температуры покрытия при большем, чем допустимо, расстоянии между швами сжатия и расширения; эксплуатация транспортными средствами с нагрузками, превышающими несущую способность покрытия; приложение нагрузки при слабом контакте покрытия с основанием	Воздействие транспортных средств при короблении плит от неравномерного распределения температуры по толщине покрытия	Некачественная нарезка деформационных швов; неправильная установка штыревых соединений
Продольные сквозные	Косые на угловых участках плит	Волосные усадочные	
Дефекты в устройстве продольных швов; неоднородные деформации земляного полотна	Недостаточный контакт плиты с основанием; повышенные напряжения в плите при проезде транспортных средств	Неудовлетворительный подбор состава бетонной смеси; несоблюдение правил ухода за покрытием; недостаточный защитный слой бетона над арматурой	
Вертикальные смещения плит	Разрушение кромок плит	Разрушение заполнителя швов	Коробление плит
Образование неровностей (уступов, просядок)	Местное снятие и обрушение поверхности кромок в зоне деформационных швов. Скалывание краевых участков плит	Выкрашивание герметизирующего материала, удаление его из шва колесами автомобилей	Потеря продольной устойчивости плит покрытия
Некачественное уплотнение подстилающего грунта или основания; пучение грунта зимой; вымывание материала основания из-под покрытия	Отсутствие швов расширения; засорение деформационных швов; наличие уступов между соседними плитами	Старение герметизирующего материала; плохая деформативность при отрицательных температурах; низкая термоустойчивость; значительные вертикальные и горизонтальные смещения кромок плит	Отсутствие свободы перемещения плит при температурных напряжениях; некачественное выполнение стыковых соединений; высокие годовые колебания температуры воздуха

**Таблица 2.** Деформации и разрушения поверхности плит при достаточной прочности дорожной одежды

Выбоины	Раковины	Износ (истирание)	Шелушение
Местные разрушения покрытия овальной и круглой формы диаметром 5-10 см в плане и глубиной до 10 см	Местные разрушения покрытия имеют такую же форму, как и выбоины, но меньших размеров	Уменьшение толщины покрытия при воздействии транспортных средств. Возникает на участках торможения автомобилей, на спусках, перед кривыми, на перекрестках, на участках с интенсивным тяжелым движением	Отслоение чешуи цементного камня с последующим выкрашиванием заполнителя на глубину до 40 мм. Бывает сплошное, очаговое, вдоль швов
Недостаточное сопротивление покрытия касательным усилиям от транспортных средств; непрочное сцепление цементного камня с заполнителем; наличие грязного и неморозостойкого заполнителя в бетоне; низкое качество уплотнения отдельных участков покрытия	Применение неморозостойких крупных заполнителей; некачественная отделка поверхности покрытия и недоуплотнение бетонной смеси	Недостаточная износостойкость покрытия	Нарушение технологии приготовления и укладки бетонных смесей; низкое качество ухода за твердеющим бетоном; использование противогололедных химических реагентов; раннее замораживание бетона покрытия; сочетание интенсивного приложения колесных нагрузок (особенно с шипованными шинами) с частыми циклами попеременного замораживания и оттаивания бетона

**Таблица 3.** Разрушение дорожной одежды

Просадки и вспучивание	Проломы
Резкие искажения профиля покрытия, сопровождающиеся продольными и косыми пересекающимися трещинами	Полное разрушение дорожной одежды с резким искажением поперечного профиля
Переувлажнение грунтов земляного полотна; наличие пучинистых грунтов; глубокое промерзание земляного полотна	Низкая прочность дорожной одежды в сравнении с требуемой по условиям движения

*Результаты и их обсуждения.* В процессе обследования дефектов автомобильных дорог южных областей протяженностью 386 км были выявлены следующие дефекты: коробление, шелушение трещины, выдавливание мастики.

Коробление представляет собой деформацию бетонной плиты, при которой происходит выгибание ее краев по направлению вверх или вниз, а сама плита приобретает изогнутую форму (рис. 2).



**Рисунок 2.** Коробление ЦБ дороги

Коробление происходит по причине температурного расширения ЦБ дорог. В процессе жизненного цикла бетона его минералогический состав меняется, так как под воздействием внешних факторов увеличивается внутреннее натяжение бетона, а также увеличивается температурное расширение и, как следствие, происходит коробление бетона.

Решением проблемы коробления на сегодняшний день являются:

1. Расчистка и уход за ложными швами и швами расширения;
2. Производство дополнительных швов расширения согласно климатическим условиям региона через каждые 50 м;
3. Укладка асфальта на участке коробления полосой 2 м.

Рекомендуется для снижения риска коробления:

1. Сезонный уход за швами не менее 4 раз в год;
2. Установление швов расширения через каждые 50 м;
3. Понижение температуры поверхности ЦБ дорог путем ее покраски.

Шелушение бетона представляет собой отслаивание тонких слоев поверхности и выкрашивание мелких частиц, составляющих компоненты бетона, песка, щебня, цементного камня (рис. 3).



**Рисунок 3.** Шелушение ЦБ дороги

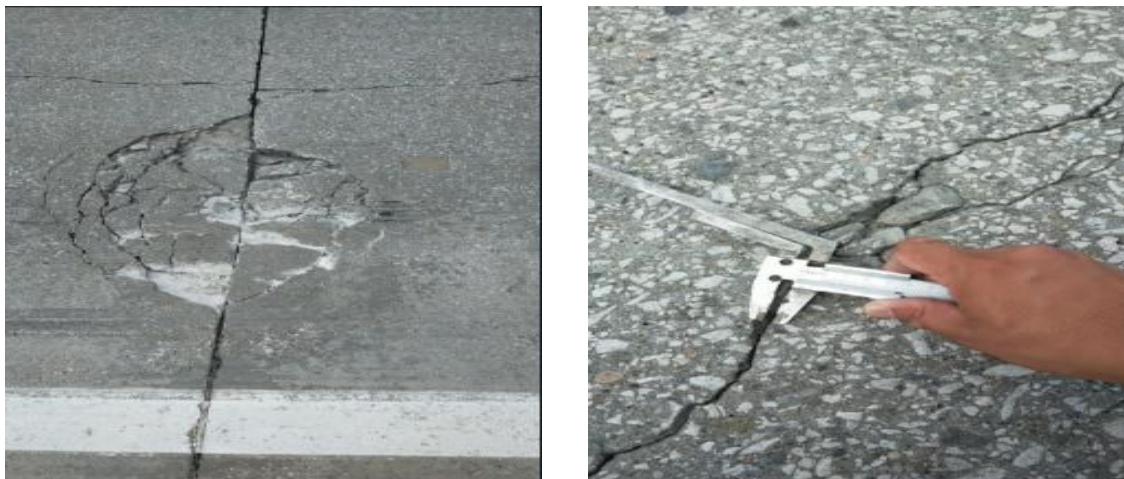
Шелушение ЦБ дорог происходит под воздействием естественных агрессивных сред, скопления воды на проезжей части. Причиной скопления воды является просадка основания ЦБ дорог, а также плохой уход за водоотводными каналами. Для решения возникающей проблемы шелушения необходимо:

1. Уход за дорогами путем очистки водоотводных каналов, при этом очистка водоотводных каналов должна осуществляться не менее 2 раз в год (весна/осень);

2. Инъектирование ЦБ дорог от просадки;

3. Обработка поверхности ЦБ дорог покрытием против износа (защитными гидрофобными покрытиями).

Трещины цементобетонных покрытий могут быть поперечными, продольными и косыми, волосяными, поверхностными и сквозными (рис. 4).



**Рисунок 4.** Трещины ЦБ дороги

Причинами образования поперечных и продольных трещин является ряд факторов:

1. Повышенное динамическое воздействие автомобильного транспорта на ЦБ дороги;

2. Просадка основания ЦБ дорог;

3. В процессе жизненного цикла бетона его минералогический состав меняется, так как под воздействием внешних факторов увеличивается внутреннее натяжение бетона, тем самым увеличивается его хрупкость.

Волосяные трещины образуются также из-за увеличения натяжения бетона при повышении и понижении температуры ЦБ дорог.

Для устранения трещин применяют следующие мероприятия:

1. Скобирование сквозных трещин;

2. Заделка трещин бетонным раствором;

3. Инъектирование основания ЦБ дорог от просадки.

4. Обработка поверхности ЦБ дорог защитным покрытием для ухода за волосяными трещинами и поверхностными дефектами дорог.

Рекомендации:

1. Для устранения поперечных и продольных сквозных трещин необходимо скобирование.

2. Для устранения неглубоких волосяных трещин достаточно покрыть поверхность защитой от воздействия агрессивных сред.

*Заключение.* Согласно проведенным исследованиям, причиной возникновения коробления дорог является температурное расширение бетонных плит, происходящее при температуре дорог более 60 °С. Для компенсации напряжения бетона установлены ложные швы и швы расширения, однако установленные швы расширения расположены на расстоянии от 300 м до 700 мм в зависимости от участка. По результатам обследования дорог южных областей коробление не было выявлено на всем промежутке дороги, это связано с температурой воздуха, которая ниже в среднем на 5 °С. Также было установлено, что ложные швы не получали должного ухода и на момент обследования были полностью забиты песком, соответственно – ложные швы не могут выполнять свои функции. В зимнее время бетон сжимается, увеличивая тем самым размер ложных швов. В этот период эксплуатации дороги для ее защиты от обледенения на поверхность наносят песок, который забивает расширенные ложные швы, и мы получаем конструкцию, которая не компенсирует температурное расширение в летнее время.

На сегодняшний день для защиты поверхности ЦБ дорог применяется метод «Microsurfacing». Данное решение является эффективным, но напрямую зависит от правильности технологии его применения [15]. Для получения эффективности метода «Microsurfacing» важным фактором является подготовка перед укладкой: в первую очередь необходимо очистить продольные, поперечные швы, швы расширения и ложные швы, далее заделать их мастикой, после чего можно покрывать поверхность покрытием Microsurfacing. Также немаловажным является то, что данное покрытие увеличивает температуру нагрева бетона, способствуя увеличению шансов возникновения коробления.

Причиной шелушения поверхности бетона, согласно проведенным исследованиям, является скопление воды на поверхности дорог, которое, как правило, вызвано просадкой основания или является следствием плохого ухода за водоотводными каналами.

Причиной выявленных поперечных и продольных глубоких трещин на поверхности ЦБ дорог является просадка основания, а также наличие в самом бетоне неглубоких поверхностных трещин.

#### Список литературы

1. Эккель С. В. Особые требования к цементу для бетона монолитных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов // Технологии бетонов. – 2014. – № 1. – С. 36-41.
2. Jung, H., Oli, T., Nam, J., Yun, K., Kim, S., & Park, C. (2022). Life-Cycle Cost Analysis on Application of Asphalt and Concrete Pavement Overlay // Applied Sciences. – № 12(10). – Pp. 5098. – <https://doi.org/10.3390/app12105098>
3. Lukpanov, R., Dyusembinov, D., Shakhmov, Z., Tsygulov, D., Aibuldinov, Y., & Vatin, N. I. (2022). Impregnating Compound for Cement-Concrete Road Pavement. Crystals, 12(2). – Pp. 161.
4. Bekchonovich, T.M., Tashbayevich, M.M., & Muxammadaliyevich, A.A. (2022). Defects And Destruction On Roads With Cement Concrete Pavements // Eurasian Journal of Engineering and Technology. – № 6. – Pp.150-155.
5. Math, V.B., Sheregar, A., & Kavitha, G. (2015). Study of temperature differential in different concrete slabs of varying slab thickness in different regions // European J. Appl. Eng. Sci. Res. – № 4(2). – Pp. 35-43.
6. Магомедов Г.О. Защита и восстановление поверхностного слоя цементобетонных покрытий автомобильных дорог // Вопросы устойчивого развития общества. – 2020. – № 4-2. – С. 615-624.
7. Rudnicki T. The Influence of the Type of Cement on the Properties of Surface Cement Concrete // Materials. – 2022. – Т. 15. – №. 14. – Pp. 4998.
8. Szymański P., Pikos M., Nowotarski P. Concrete road surface with the use of cement concrete-selected results // Procedia engineering. – 2017. – Т. 208. – Pp. 166-173.
9. Roesler, J.R., Hiller, J.E., & Brand, A.S. (2016). Continuously Reinforced Concrete Pavement Manual: Guidelines for Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation (No. FHWA-HIF-16-026). – United States. Federal Highway Administration. – <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38527>



10. Delatte, N. (2018). Concrete pavement design, construction, and performance. – Crc Press. – <https://doi.org/10.1201/9781482288483>.
11. Freeman, T.J., & Zollinger, D. G. (2008). Guidelines for routine maintenance of concrete pavement (No. FHWA/TX-08/0-5821-1).
12. Wang, H. (2018). Life-cycle analysis of repair of concrete pavements. Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures. – Pp. 723-738. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102181-1.00025-3>.
13. Jenq, Y.S., Liaw, C.J., & Kim, S. C. (1993). Effects of temperature on early crack formation in portland cement concrete pavements: Transportation Research Record (1388). – Pp. 35-41.
14. Safiuddin, M. D., Kaish, A. A., Woon, C. O., & Raman, S. N. (2018). Early-age cracking in concrete: Causes, consequences, remedial measures and recommendations // Applied Sciences. – № 8(10). – Pp. 1730. – <https://doi.org/10.3390/app8101730>
15. Raza, H. (1994). Surface Rehabilitation Techniques: State of the Practice Design, Construction and Performance of Micro-Surfacing (No. FHWA-SA-94-051). – United States. Federal Highway Administration. Office of Engineering.

#### References

1. Ekkel' S. V. Osobyte trebovaniya k cementu dlya betona monolitnyh pokrytij i osnovanij avtomobil'nyh dorog i aerodromov // Tekhnologii betonov. – 2014. – №. 1. – S. 36-41.
  2. Jung, H., Oli, T., Nam, J., Yun, K., Kim, S., & Park, C. (2022). Life-Cycle Cost Analysis on Application of Asphalt and Concrete Pavement Overlay // Applied Sciences. – № 12(10) . – Pp. 5098. – <https://doi.org/10.3390/app12105098>
  3. Lukpanov, R., Dyuseminov, D., Shakhmov, Z., Tsygulov, D., Aibuldinov, Y., & Vatin, N. I. (2022). Impregnating Compound for Cement-Concrete Road Pavement. Crystals, 12(2). – Pp. 161.
  4. Bekchonovich, T. M., Tashbayevich, M. M., & Muxammadaliyevich, A. A. (2022). Defects And Destruction On Roads With Cement Concrete Pavements // Eurasian Journal of Engineering and Technology. – № 6. – Pp.150-155.
  5. Math, V. B., Sheregar, A., & Kavitha, G. (2015). Study of temperature differential in different concrete slabs of varying slab thickness in different regions // European J. Appl. Eng. Sci. Res. – № 4(2). – Pp.35-43.
  6. Magomedov G. O. Zashchita i vosstanovlenie poverhnostnogo sloya cementobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog // Voprosy ustojchivogo razvitiya obschestva. – 2020. – №. 4-2. – S. 615-624.
  7. Rudnicki T. The Influence of the Type of Cement on the Properties of Surface Cement Concrete // Materials. – 2022. – T. 15. – №. 14. – Pp. 4998.
  8. Szymański P., Pikos M., Nowotarski P. Concrete road surface with the use of cement concrete-selected results // Procedia engineering. – 2017. – T. 208. – Pp. 166-173.
  9. Roesler, J. R., Hiller, J. E., & Brand, A. S. (2016). Continuously Reinforced Concrete Pavement Manual, Guidelines for Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation (No. FHWA-HIF-16-026). – United States. Federal Highway Administration. – <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/38527>
  10. Delatte, N. (2018). Concrete pavement design, construction, and performance. – Crc Press. – <https://doi.org/10.1201/9781482288483>.
  11. Freeman, T. J., & Zollinger, D. G. (2008). Guidelines for routine maintenance of concrete pavement (No. FHWA/TX-08/0-5821-1).
  12. Wang, H. (2018). Life-cycle analysis of repair of concrete pavements. Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures. – Pp. 723-738. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102181-1.00025-3>.
  13. Jenq, Y. S., Liaw, C. J., & Kim, S. C. (1993). Effects of temperature on early crack formation in portland cement concrete pavements: Transportation Research Record (1388) . – Pp. 35-41.
  14. Safiuddin, M. D., Kaish, A. A., Woon, C. O., & Raman, S. N. (2018). Early-age cracking in concrete: Causes, consequences, remedial measures, and recommendations // Applied Sciences. – № 8(10). – Pp. 1730. – <https://doi.org/10.3390/app8101730>
  15. Raza, H. (1994). Surface Rehabilitation Techniques: State of the Practice Design, Construction, and Performance of Micro-Surfacing (No. FHWA-SA-94-051). – United States. Federal Highway Administration. Office of Engineering.
- 
-