

МЕНЕДЖМЕНТ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ АКТИВОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

В процессе функционирования инфраструктурных активов чрезмерное воздействие транспортных вибраций, водных, тепловых и низкотемпературных нагрузок приводит к существенному снижению нормативных критериев их безопасности и преждевременному физическому износу. Увеличение количества сейсмических колебаний, пожаров, наводнений нарушает целостность и стабильность инфраструктурных активов. В условиях тенденций высоких рисков и сбоев физической устойчивости элементов инфраструктурных активов выявлены недостатки в их конструктивных решениях без учета принципов ресурсосбережения. Предложены альтернативные конструктивные решения покрытий, изготовленных из фигурных элементов мощения с измененной геометрической формой основания; при этом эксплуатационные характеристики позволят сохранить длительный жизненный цикл элементов инфраструктурных активов.

Ключевые слова: актив, инфраструктура, жизненный цикл, менеджмент, строительство, устойчивость.

У процесі функціонування інфраструктурних активів надмірний вплив транспортних вібрацій, водних, теплових і низькотемпературних навантажень призводить до істотного зниження нормативних критеріїв їх безпеки та передчасного фізичного зносу. Збільшення кількості сейсмічних коливань, пожеж, повеней порушує цілісність і стабільність інфраструктурних активів. В умовах тенденцій високих ризиків і збоїв

фізичної стійкості елементів інфраструктурних активів виявлено недоліки в їхніх конструктивних рішеннях без урахування принципів ресурсозбереження. Запропоновано альтернативні конструктивні рішення покриттів, виготовлених із фігурних елементів мощення зі зміненою геометричною формою підстави; при цьому експлуатаційні характеристики дадуть змогу зберегти тривалий життєвий цикл елементів інфраструктурних активів.

Ключові слова: актив, будівництво, інфраструктура, життєвий цикл, менеджмент, сталість.

In the process of exploitation of road assets, the excessive impact of transport vibrations, water-heat and low-temperature loads, soil washing leads to a significant reduction in the regulatory criteria for their safety, premature technical wear of surface plates, cracks, unevenness, lowering. Increasing the number of seismic fluctuations and floods violates the integrity and stability of road systems. In the conditions of high-risk trends and failures of physical constancy of the elements of infrastructure systems, imperfection of their constructive solutions takes place without taking into account the principles of resource conservation. Alternative design solutions of coatings, made from figured elements of paving with the changed geometric form of the base are offered; while the operational characteristics will save a long life cycle of elements of infrastructure assets.

Key words: assets, construction, infrastructure, life cycle, management, sustainability.

УДК 625.88

Ширяева Н.Ю.

к.т.н., доцент кафедры менеджмента и маркетинга
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Думанская В.В.

к.т.н., доцент кафедры начертательной геометрии и черчения
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка проблемы. Физический износ инфраструктурных активов, в том числе строительных материалов и конструкций объектов архитектуры, инженерных сетей и оборудования, тротуарных, дорожных и аэродромных покрытий, во многих странах требует их улучшения [1]. Капитальный ремонт тротуаров, строительство и дальнейшее обслуживание инфраструктурных активов требуют их технологической реновации [2]. Государственные инициативы не всегда сосредоточены на страховании проектов государственной инфраструктуры [3]. Природно-климатический прессинг ураганов и пожаров в Америке, землетрясения в Мексике и на Ближнем Востоке, экстремальные циклоны и наводнения в Австралии, Азии и Африке демонстрируют мощное давление разрушительных последствий инфраструктурных систем. В этих условиях инженерно-техническое обновление и модернизация элементов инфраструктурных объектов предусматривают приоритетность и взаимосвязь с крупными капиталовложениями; однако, по мнению специалистов, в национальных зако-

нопроектах имеются определенные недостатки такого контекстно-зависимого взаимодействия [4]. В условиях тенденций высоких рисков и сбоев физической устойчивости инфраструктурных активов среди проблем также имеет место несовершенство их конструктивных решений без учета принципов ресурсосбережения и цифровых технологий [5; 6]. Возможно, такое явление связано со старением интеллектуального капитала или отсутствием междисциплинарных знаний. Например, имеются случаи недостаточного уровня знаний и практических навыков выпускников в области строительства, машиностроения, геотранспорта, дистанционного зондирования, управления строительными проектами [7; 8].

Анализ последних исследований и публикаций. Исторический обзор развития методов проектирования дорожных покрытий в инфраструктурных активах представлен в [9]. Внедрение французского дизайнера асфальтобетонного покрытия для покрытий в Великобритании предлагает обеспечить стабильное и оптимальное решение

по стоимости их жизненного цикла. Однако для использования этих материалов необходимы детальные лабораторные исследования для оценки свойств материала и их влияния на конструкцию брусчатки в Великобритании, спецификации материалов и требования к техническому обслуживанию. Исследуются принципы проектирования асфальта в Великобритании и Франции с учетом спецификаций материалов, загрузка грузов и изменения окружающей среды [10]. Изучено влияние агента при переработке образцов асфальтовой смеси, в результате разработана методика оценки вязкости асфальта и ее тенденции к старению [11]. Крыши являются важными составляющими зданий и могут быть спроектированы и/или модернизированы с фотоэлектрическими системами (PV) и зеленой крышей (GR) для производства энергии и улучшения управления стоком. Анализ показывает, что система GR-PV представляет собой инвестиции с низким уровнем риска, что приводит к снижению энергии и времени окупаемости выбросов углерода по сравнению с отдельными системами GR и PV [12]. Существует тенденция прорыва инновационных технологий с использованием вторичных строительных материалов для дорожных инфраструктурных активов. Показано, что такие технологии повышают их стабильность и экономию средств в ремонтных и реставрационных работах, но их долговечность не была доказана во времени [13]. Прочность омоложенных асфальтобетонных покрытий зависит от количества рециркуляционного агента [14]. В качестве устойчивых композитов асфальтовой смеси ученые предлагают ввести масло *Pongamia* и композитное касторовое масло [15]. Среди технологий переработки практический интерес представляет смесь на основе электронных отходов, которая позволяет снизить выбросы в атмосферу [16]. Исследуется гипотеза соотношения жесткости дорожных поверхностей дорог в сельской местности и их безопасности в эксплуатации, в частности в чрезвычайных ситуациях. Результаты подтвердили это отношение [17]. В рамках программы исследований концепций энергетических покрытий тротуаров, теплых или полутеплых тротуаров проведены лабораторные испытания по изучению старения поведения смешанных асфальтов в разных циклах нагревания, охлаждения и увлажнения. Результаты показали, что старение энергии уменьшается, что не является чрезвычайно критическим; использование такого энергоконцепта является простым решением для снижения выбросов CO₂ и увеличения срока годности дорожных инфраструктурных активов [18]. Специалисты предложили технологию декоративного печатного бетона для восстановления покрытий, имитирующих цвет и текстуру натуральных материалов. Технология позволяет полностью

удовлетворить архитектурные требования строений и элементов ландшафтного дизайна [19].

Обзор методов оценки и мониторинга объектов инфраструктурных активов. Количество научных исследований по оценке и мониторингу состояния систем инфраструктуры, включая последствия стихийных бедствий, возросло. Например, проводятся научные мониторинговые исследования с целью разработки оптимальных решений для увеличения их долговечности в условиях частых наводнений [20]. Активно обсуждаются технологии цифрового страхования рисков, негативно влияющих на изменение инфраструктуры, в том числе дорожных покрытий [21]. Практическая ценность инновационных идей приведена в [22], где внимание фокусируется на том, чтобы предоставить широкий спектр идей и вариантов для улучшения экологической устойчивости в течение всего цикла проектов автомобильного транспорта (системное планирование, проектирование и проектирование, строительство и эксплуатация и техническое обслуживание) на основе показателей экологической устойчивости, выделения экологически безопасных продуктов и материалов для дорожного строительства. Устойчивый экономический рост в странах с низким и средним уровнями дохода является ключом к сокращению бедности и совместному процветанию, которое частично зависит от надежных и безопасных транспортных систем. Дорожные и шоссейные системы обеспечивают критическую роль в создании и поддержании желаемого качества их жизни. В развивающихся странах предложен метод профилактического обслуживания и реабилитации как альтернативный инструмент оценки и мониторинга аэродромных тротуаров. С помощью этого метода управления возрос жизненный цикл аэродромных тротуаров [2]. Использование методов дистанционного зондирования открыло новые возможности за короткое время осуществить оценку асфальта больших площадей. Хотя методы дистанционного зондирования никогда не могут полностью заменить традиционные геотехнические методы, однако они дают возможность уменьшить количество или размер областей, требующих «визитов» к месту или ручных методов [8]. Для ускоренного тестирования дорожных систем разработаны мобильные тренажеры [23]. Предложено инновационное программное обеспечение, с помощью которого появилась возможность проанализировать не только текущее состояние тротуара, но и предоставить прогноз будущих показателей на основе ожидаемых значений движения [24]. Для прогнозирования и регулирования технического состояния отдельных строительных конструкций, зданий и сооружений ученые предлагают методологию апостериорной информации, по которой строятся кривые эксплуатации для

каждого из значимых показателей эксплуатационной годности. Внедрение такой методологии обеспечит надежную эксплуатацию зданий жилого фонда при минимальных затратах [25].

Изложение основного материала исследования. Среди показателей развития инфраструктурных активов – состояние автомобильных и пешеходных дорог. В Украине состояние элементов инфраструктурных объектов требует постепенного развития. Так, по данным Global Competitiveness Index 2017–2018, Украина по качеству дорог занимает 130-е место из 137. Однако при этом отмечается, что в общем рейтинге развития транспортной инфраструктуры Украина занимает 87-е место. В разрезе областей Украины, по данным Полесского фонда международных и региональных исследований, интегральный индекс развития транспортных активов колеблется от 0,887 до 1,112; города Одессы – 0,951 (17-е место из 22); Хмельницкого – 1,112 (1-е место) [26]. В 2018 г. в Украине утверждена национальная транспортная стратегия Drive Ukraine – 2030, которая ориентирована «не тільки на вирішення проблем сьогодення, а й на створення нової інфраструктурної реальності» [27]. С учетом выше описанных научно-практических достижений эксплуатационных условий и потенциальных высоких рисков, исследования ученых в строительной отрасли ориентированы на поиск эффективных конструктивно-технологических решений инфраструктурных активов, в том числе дорожных покрытий, в частности тротуарных, автостоянок, различных площадок из фигурных элементов мощения, что позволит сохранить продолжительность и стоимость их жизненного цикла. На рис. 1 представлен образец фигурного элемента мощения с девятью зубчатыми пирамидальными элементами в основе, имеет в плане форму квадрата со стороной 120 мм. Все зубчатые элементы в основе ФЭМ одинаковые, имеют вид правильной пирамиды и четыре грани. Угол при вершине пирамиды равен 90° мм, поэтому сторона пирамидального элемента – 40 мм, а высота – 20 мм.

Чтобы не допустить перерасхода бетона на пирамидальные элементы, решено уменьшить объем призматической части плитки на величину объема рифленой основы предложенных ФЭМ, то есть при изготовлении ФЭМ необходимо умень-

шить высоту боковой грани. Для определения высоты боковой грани в образце на рис. 1 из объема традиционной плитки (с теми же формой и параметрами в плане, но с высотой боковой грани 50 мм) вычли объем пирамидальных элементов в основе и получили необходимый объем призматической части этого образца.



Рис. 1. Фигурный элемент мощения с рифленой основой из девяти зубчатых элементов пирамидальной формы

Далее рассчитали необходимую высоту боковой грани, которая составила 43,3 мм. Результаты измерений сведены в табл. 1.

По нашему мнению, экспериментальные ФЭМ с рифленой основой имеют преимущества по сравнению с традиционной формой плитки с плоским основанием. Увеличение площади основания находится в контакте с нижележащими конструктивными слоями, также дополнительное уплотнение конструктивных слоев за счет рифленой формы основания позволит увеличить несущую способность покрытия и уменьшить проседание плитки. Предполагается, что рифленая основа будет препятствовать продольному смещению ФЭМ; также, как показали лабораторные эксперименты, устройство ФЭМ на нижележащий конструктивный слой не добавляет сложностей. Для подтверждения гипотезы запланированы исследования в полевых условиях с пятью экспериментальными участками: первый – покрытие из традиционной плитки с плоским основанием; второй – покрытие из плиток с пирамидальной основой; третий, четвертый и пятый участки – покрытие из плиток с пирамидальной основой в соответствии со вторым, пятым и девятым зубчатыми элементами.

Таблица 1

Сравнение высоты экспериментальных образцов

Тип плитки	Традиционная плитка	ФЭМ с пирамидальными зубчатыми элементами, количество			ФЭМ с призматической основой
		1	5	9	
номер образца	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4	образец № 5
высота боковой грани плитки, h, мм	50	49,3	46,3	43,3	30

Известно, что в условиях физической эксплуатации нагрузка действует на все части плитки. В предыдущих исследованиях изучались экспериментальные нагрузки только на центральную часть ФЭМ с пирамидальной основой. Однако исследования нагрузок, действующих на контуры образцов, ранее не проводились. Учитывая такой пробел, в дальнейшем запланированы эксперименты по изучению влияния нагрузки с эксцентриситетом на покрытие из плиток с разным основанием: пирамидальным, рифленным и плоским. Внимание будет акцентировано на определении параметров вертикальных смещений ФЭМ по краям плитки. Также планируется определение величины нагрузки, которая приводит к эксплуатационному проседанию плитки, и средней плотности нижележащего конструктивного слоя. Ожидается, что определение перечисленных параметров позволит узнать о возможности экспериментальных покрытий сохранить ровную бездефектную поверхность в течение длительного жизненного цикла и, как следствие, их финансовую стоимость.

Выводы проведенного исследования.

На этапе цифровой научно ориентированной эры строительная отрасль переходит на новый уровень университетских и деловых партнерств в глобальных программах устойчивого развития, в том числе совершенствование инфраструктурных систем. Это требует активации экспоненциального обучения и междисциплинарных исследований, которые будут способствовать реализации программ градостроительной деятельности, направленных на совершенствование устройства, эксплуатации и реабилитации инфраструктурных систем.

Скорость развития цифровых технологий, таких как дистанционное зондирование, углубленная аналитика, автономные операции, комплексное планирование и контроль, требует качественного совершенствования университетских образовательных программ и интеллектуального капитала преподавательского состава, повышает требования к результатам обучения студентов инженерных и других специальностей, связанных с управлением инфраструктурными системами.

Предложены альтернативные конструктивные решения покрытий, изготовленных из фигурных элементов мощения с измененной геометрической формой основания; при этом эксплуатационные характеристики позволяют сохранить длительный жизненный цикл покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Strategic Infrastructure 2014. – Reports. – World Economic Forum.
2. Muhammad Irfan, Muhammad Bilal Khurshid, Shahid Iqbal, Abid Khan. Framework for airfield pavements management – an approach based on cost-effectiveness analysis. Citation of Eur. Transp. Res. Rev. 2015. № 7(13).

3. The Global Risks Report 2018. – Reports. – World Economic Forum.

4. Mark Senkevics. 2018. Citation of article. De-risking climate challenges.

5. Ширяева Н.Ю. Проблематика і завдання менеджменту та маркетингу будівельних організацій. Economy and society modern foundation for human development. Proceeding of the Conference Leipzig university. 2016. С. 130.

6. Петрищенко Н.А., Серьогіна Н.В., Унтілов А.О. Тенденції розвитку будівельних підприємств. Альманах науки. 2018. № 6/1(15). С. 47–49.

7. Lin, J.-D., Ho, M.-C. A comprehensive analysis on the pavement condition indices of freeways and the establishment of a pavement management system. Citation of Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2016.

8. Schnebele, E., Tanyu, B.F. Cervone Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. Citation of G. et al. Eur. Transp. Res. Rev. 2015. № 7(7).

9. Pereira, P., Pais, J. Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of an European method, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2017.

10. Bachar Hakim, Iswandar Widyatmoko, Carl Fergusson, John Richardson. UK airfield pavement design using French asphalts. Citation of Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport. 2014. Volume 167. Issue 1. P. 27–35.

11. Ilaria Menapace, Lorena Garcia Cucalon, Fawaz Kaseer, Eyad Masad, Amy Epps Martin. Application of Low Field Nuclear Magnetic Resonance to evaluate asphalt binder viscosity in recycled mixes. Citation of Construction and Building Materials. 2018. 170. P. 725–736.

12. Ali Jahanfar, Brent Sleep, Jennifer Drake. Energy and Carbon-Emission Analysis of Integrated Green-Roof Photovoltaic Systems: Probabilistic Approach. Citation of Journal of Infrastructure Systems. 2017. № 24(1):04107044.

13. Nicholls J.C., M. Wayman, K. Mollenhauer, C. McNally, A. Tabaković. A. Varveri, S. Cassidy, R. Shahmohammadi, R. Taylor. Effects of using reclaimed asphalt and/or lower temperature asphalt on availability of road network. Conference: Transport Research Arena, TRA 2014. At: Paris, France. Volume: Proceedings of the transport research arena 2014. DOI: 10.1201/b18538-83.

14. Fawaz Kaseer, Lorena Garsia Cucalon, Edith Arambula, Jon Epps. Practical tools for optimizing recycled materials content and recycling agent dosage for improved short-and long-term Performance of rejuvenated binder blends and mixtures. Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists- Proceedings of the Technical Sessions. March 2018.

15. Pratik Nayak & Umesh C. Sahoo. A rheological study on aged binder rejuvenated with Pongamia oil and Composite castor oil, International Journal of Pavement Engineering. 2015. DOI: 10.1080/10298436.2015.1103851.

16. Senthil Kumar Kaliyavaradhan, Arjun Ramakrishna Kurup. Novel Fibrous Concrete Mixture Made from Recycled PVC Fibers from Electronic Waste. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste. 2017. № 21(2).

17. Sikai Chen, Tariq Usman Saeed, Samuel Labi. Impact of road-surface condition on rural highway safety: A multivariate random parameters negative binomial approach. *Analytic Methods in Accident Research*. September 2017.
18. Raab C., Camargo I., Partl M.N. Ageing and performance of warm mix asphalt pavements, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2017.
19. Елькин А.В., Запорожан И.Д., Выровой В.Н. Декоративный печатный бетон для реставрации дорожных покрытий в аутентичной архитектуре города Одессы. Проблемы та перспективі розвитку будівельного комплексу м. Одеси: зб. тез II наук.-практ. конф. (вересень 2018 р.). С. 76–77. ISBN 978-617-7195-70-1.
20. Sultana M., Chai G., Chowdhury S., Martin T. Deterioration of flood affected Queensland roads – an investigative study. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2016.
21. URL: <https://www.the-digital-insurer.com/natural-catastrophe/>.
22. Montgomery R., Schirmer H.Jr., Hirsch, A. Improving Environmental Sustainability in Road Projects. Citation of Environment and natural resources global practice discussion paper; no. 2. World Bank, Washington, DC, 2015.
23. Manfred N. Partl, Christiane Raab, and Martin Arraigada. Innovative asphalt research using accelerated pavement testing, *Journal of Marine Science and Technology*. 2015. Vol. 23. № 3. P. 269–280.
24. Ninat Morova, Serbal Terzi, Süleyman Gökova, Mustafa Karaşahim. Pavement Management Systems Application with Geographic Information System Method. *Journal of Natural and Applied Sciences*. 2016. Vol. 20. Issue 1.
25. Клименко Є.В. Актуальні проблеми збереження житлового фонду. Проблеми та перспективі розвитку будівельного комплексу м. Одеси: зб. тез II наук.-практ. конф. Одеськ. держ. акад. будівн. та арх-ри. 2018. С. 81–82.
26. URL: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/ukraine/13246.pdf>.
27. URL: <https://mtu.gov.ua/files/projects/str.html>.