

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 625.7/.8

Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, **Малько М.М.**, канд. техн. наук,
Лук'яненко В.В.

ЗАСТОСУВАННЯ ЗБІРНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ І БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В УКРАЇНІ

Анотація. У статті розглянуті проблеми проектування і будівництва довговічного і екологічно безпечного покриття автомобільних доріг. У якості матеріалу для досліджень моделі полімерної дорожньої плити був використаний фторопласт-4. Запроектована модель має параметри, що забезпечують її надійне і довговічне функціонування в складних природних умовах, а також зручність в її подальшій експлуатації.

Ключові слова: автомобільні дороги, дорожнє покриття, екологічні проблеми, збірне полімерне покриття, модель, полімерні дорожні плити, фторопласт.

УДК 625.7/.8

Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, **Малько М.М.**, канд. техн. наук,
Лук'яненко В.В.

ПРИМЕНЕНИЕ СБОРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УКРАИНЕ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы проектирования и строительства долговечного и экологически безопасного покрытия автомобильных дорог. В качестве материала для исследований модели полимерной дорожной плиты был использован фторопласт-4. Запроектированная модель имеет параметры,

обеспечивающие ее надежное и долговечное функционирование в сложных природных условиях, а также удобство в ее дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожное покрытие, экологические проблемы, сборное полимерное покрытие, модель, полимерные дорожные плиты, фторопласт.

UDC 625.7/.8

Balashova, Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Malko M.M.**, Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), **Lukianenko V.V.**

THE USE OF PRECAST POLYMER COATINGS IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION ROADS IN UKRAINE

Abstract. The article considers the problem of designing and building durable and environmentally safe coating of roads. As a material for polymer studies, models the road plates were used fluoroplastic-4. Designed model has parameters that ensure its reliable and durable operation under severe natural conditions, as well as the convenience in its future operation.

Keywords: roads, paving, environmental concerns, precast polymer coating, model, plastic road plates, PTFE.

Вступ

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку світової дорожньо-будівельної галузі існує досить широкий спектр технологій і ефективних способів вирішення проблем пов'язаних з передчасним руйнуванням і зносом дорожніх покриттів. До числа таких заходів може входити як застосування найсучасніших матеріалів на етапі створення дорожньої конструкції, так і регулярне проведення профілактичних і дорожньо-ремонтних робіт в процесі експлуатації дороги.

Процедури технічного обслуговування дорожнього полотна часто виявляються неефективними і ненадійними через їхню нездатність усунути саме причину проблеми.

Саме тому переважна стратегія довгострокового дорожнього виробництва полягає в створенні гарантій безпеки і захисту на всіх етапах будівництва, включаючи початковий, та в період експлуатації.

В умовах частої і кардинальної зміни погодних умов середовища (частого переходу температури через точку нуля; зміни періодів перезволоження, періодами посушливості та ін.) без дотримання всіх аспектів експлуатації дорожнє покриття вкрай швидко втрачає несучу здатність і руйнується.

Ями, вибоїни, відколи, просадки, проломи, зрушення, тріщини і колійність - всі ці дефекти невідворотно виникають через 2-3 роки після введення нової автомобільної дороги в експлуатацію або капітальної реконструкції старої ділянки асфальтобетонної дороги. Утворення цих дефектів і пошкоджень асфальтобетонного покриття обумовлено цілим комплексом різних факторів, які можуть мати місце не тільки в процесі експлуатації дороги, а й виникати на етапі її проектування і будівництва.

На сьогоднішній день в Україні найчастіше використовують асфальтобетон у якості верхнього шару дорожнього покриття. Але асфальтобетон, як матеріал для дорожнього полотна має ряд істотних недоліків [1], що не дозволяє застосовувати його в якості довгострокового матеріалу в умовах нашого клімату. Що ж стосується полімерів, як матеріалу для покриття доріг, то вони підходять ідеально.

Аналіз останніх публікацій. Перша "пластиковая" дорога Jambulingam Str. була побудована в 2002 році в Індії і вже встигла стати місцевою легендою. Ця дорога без особливих руйнувань витримала незліченну кількість повеней, кілька мусонів, постійний тепловий вплив і безперервний потік автомобілів, вантажівок і авторикш. Патент на технологію будівництва такої дороги у 2006 році отримав Thiagarajar College of Engineering.

У Канаді пластикові відходи переробляють у воскоподібну речовину, якою згодом заливають дорогу разом з асфальтовою сумішшю. Щільність і довговічність такого "воскового" асфальту нічим не поступається звичайному. Вартість виробництва такого дорожнього покриття не відрізняється від вартості виробництва звичайного асфальтового покриття. Патент на технологію належить компанії GreenMantra, що отримала в 2013 році від Уряду Канади інвестиції в розмірі \$750 тис. на розвиток нової технології.

Велика голландська дорожня компанія KWS Infra разом з інженерами з VolkerWessels готуються впровадити в Роттердамі перший у світі проект будівництва автомобільних доріг з переробленого пластику. Концепт пластикових доріг був розроблений KWS в 2015 році. Він передбачає можливість створення спеціальних модулів з переробленого пластику для будівництва автомобільних доріг. Ці модулі здатні витримувати таке ж навантаження, як і асфальтобетон, але мають масу переваг. Зокрема, завдяки малій вазі їх легко транспортувати, збирати і підтримувати в належному стані, а ґрунт при цьому набагато менше схильний до осідання [2].

Пластик практично не деформується під впливом ваги, вібрацій, і, навіть, під впливом температур. Розробники підкреслюють, що пластикова дорога не буде схильна до корозії і вивітрюванню, зможе витримувати температури від -40 до 80 градусів Цельсія і, тому, виявиться втричі довговічнішою ніж асфальтобетонна, яка вимагає заміни або ремонту після 12 років використання. Середній термін служби пластикової дороги складає близько 30 років, тому реалізація проекту зможе привести до істотної економії.

Дороги PlasticRoad будуть зроблені таким чином, що всередині залишаться порожні простори, в яких в будь-який час відповідні служби зможуть прокласти кабель або труби. При цьому їм не доведеться розбивати асфальт і розкопувати все навколо, створюючи багатокілометрові пробки.

У концепції є й інші переваги. PlasticRoad складається з готових модулів, які об'єднуються в дорогу, не вимагаючи поступового її укладання шар за шаром (рис. 1). Це скорочує терміни будівництва з декількох місяців до декількох тижнів. Звичайно, для пластикових ділянок дороги також потрібна надійна основа, але фахівці заявляють, що це може бути просто дуже добре утрамбований пісок.

Важливим є і той факт, що, коли термін служби модулів закінчується, вони можуть бути перероблені знову [3].

Таким чином пластикові дороги - більш надійні і довговічні. Їх застосування, слід зазначити, значно змінить екологічну ситуацію на краще.

Мета досліджень. Пошук нових матеріалів, нових конструктивних рішень для підвищення довговічності дорожніх конструкцій, звеличення міжремонтних строків, зручність в експлуатації, а також підвищення екологічної безпеки.



Рисунок 1 – дорога PlasticRoad [3]

Основна частина

У якості матеріалу для досліджень моделі полімерної дорожньої плити ПДП – був використаний фторопласт-4. Завдяки наявності в своїй структурі великої кількості атомів фтору, фторопласти відрізняються дуже високою хімічною, радіаційною та корозійною стійкістю, а також мають відмінну атмосферостійкість, теплостійкість і морозостійкість. Фторопласти негорючі або самогасяться при займанні. Ці полімерні матеріали мають низький коефіцієнт тертя, дуже низьке водопоглинання і газопроникність, хороші діелектричні характеристики і високу електричну міцність. Фторопласти погано розчиняються або взагалі нерозчинні у багатьох органічних розчинниках.

Фторопластові еластомери також мають високу бензо- і маслостійкість.

Найбільше практичне застосування серед фторполімерів отримав фторопласт-4 через свою виняткову хімічну інертність по відношенню практично до всіх агресивних середовищ і унікальних антифрикційних характеристик.

Фторопласт-4 - кристалічний полімер, з температурою плавлення кристалітів 327°C і температурою скловання аморфних ділянок від -100 до -120°C . Навіть при температурі вище температури розкладання (415°C)

фторопласт-4 не переходить у в'язко-текучий стан, тому переробка його можлива тільки методом спікання відпресованих таблеток.

Фторопласт-4 не розкладається під дією кислот, окислювачів, лугів, розчинників. На нього діють тільки розплавлені лужні метали і їх комплексні з'єднання з аміаком, нафталіном, піридином, а також трьохфтористого хлору і елементного фтору при підвищених температурах. Водопоглинання за 24 години (і більш тривалий час) - нижче помилки зважування (0,00%). Точні характеристики представлені у табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристики матеріалу фторопласт-4

Тип фторопласта	Політетрафторетілен (фторопласт-4)
Щільність	2,2 (г/см ³)
Зусилля на розрив	9,5 (МПа)
Відносне подовження	450,0 (%)
Модуль Юнга	500 (МПа)

За наведених характеристиках, виготовлення дорожнього полотна з такого матеріалу більш ніж обґрунтовано.

Параметри запроєктованої моделі ПДП

Досліджувана дорожня плита виготовлена з матеріалу фторопласт-4 шириною 3800 мм, довжиною 6000 мм, висотою 150 мм, ширина крайніх поздовжніх стійок 25 мм, внутрішніх поздовжніх стійок 10 мм, товщина знімної контактної поверхні з колесами транспортних засобів 10 мм. Вага однієї плити становить 1356,3 кг. Конфігурація запроєктованої моделі представлена нижче (рис. 2).

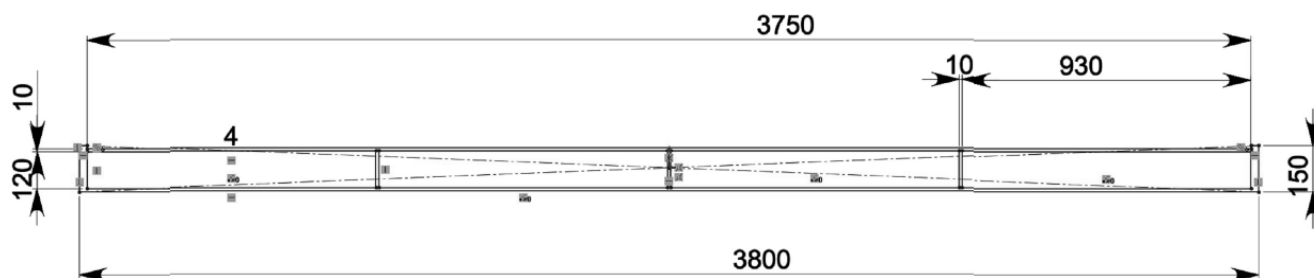


Рисунок 2 – Запроєктована модель ПДП (вид спереду)

Вертикальні перегородки уздовж плити сприяють рівномірному розподілу навантаження, включаючи горизонтальні деформації. Таким чином, даючи можливість додаткового зниження ваги конструкції, при збереженні її міцності.

Мала вага плит полегшує їх транспортування до місця будівництва і безпосередню збірку плит в єдине дорожнє полотно.

У разі пошкодження окремих плит, їх можна з легкістю замінити новими, не впливаючи на сусідні плити. Якщо ж була ушкоджена лише контактна поверхня, її можна замінити новою, не впливаючи на саму плиту.

Всередині плити є порожній простір. Така особливість конструкції дозволяє використовувати вільний простір для прокладання інженерних мереж і допоміжних дорожніх механізмів, наприклад, внутрішніх водовідводів, датчиків руху, генераторів електроенергії, обігрівачів поверхні дорожнього покриття і т. ін. Це значно полегшує подальшу експлуатацію вбудованих в плити доповнень і дає можливість для розвитку технологій дорожнього обслуговування.

Перевірка запроектованої моделі ПДП на міцність у програмному середовищі SOLID WORKS

Модель з зазначеними вище характеристиками була створена в програмному середовищі SOLID WORKS в вигляді об'ємного тіла. У даній програмі є функція SimulationXpress, призначена для симуляції роботи створеного об'єкта при заданих умовах. У нашому випадку, дослідженню піддавалася модель ПДП з висловленим припущенням, що навантаження, прикладене на кожну точку поверхні, яка буде контактувати з колесами транспортних засобів, буде однакове і дорівнювати 10-ти тоннам.

Властивості застосованого матеріалу представлені у табл. 2.

При здійсненні перевірки нижня грань змодельованого тіла, що теоретично лежить на ґрунтовій подушці, вважалася жорстко зафіксованою в просторі. Навантаження було прикладене на верхню межу моделі, яку визнано контактною поверхнею з колесами транспортних засобів.

Таблиця 2 - Властивості застосованого матеріалу фторопласт-4

Вигляд моделі	Властивості матеріалу	
	Ім'я	Фторопласт
	Тип моделі	Лінійний пружний ізотропний
	Межа текучості	1,04e+007 N/m ²
	Межа міцності при розтягуванні	2,452e+007 N/m ²

Інформація про модель представлена у табл. 3.

Таблиця 3 - Основні характеристики запроєктованої моделі

	
Об'ємні властивості	Маса: 1356,3 kg Об'єм: 0,6165 m ³ Щільність: 2200 kg/m ³ Маса: 13291,7 N
Запропонована модель розглядається програмою як тверде тіло	

Критерій максимального напруження по Мизесу ґрунтується на теорії Мізес-Хенкі (Mises-Hencky), також відомої як теорія енергії формозміни. В обчисленні головних напружень s_1 , s_2 і s_3 , напругу по Мизесу виражено як:

$$s_{\text{vonMises}} = \{[(s_1 - s_2)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_1 - s_3)^2]/2\}^{(1/2)}$$

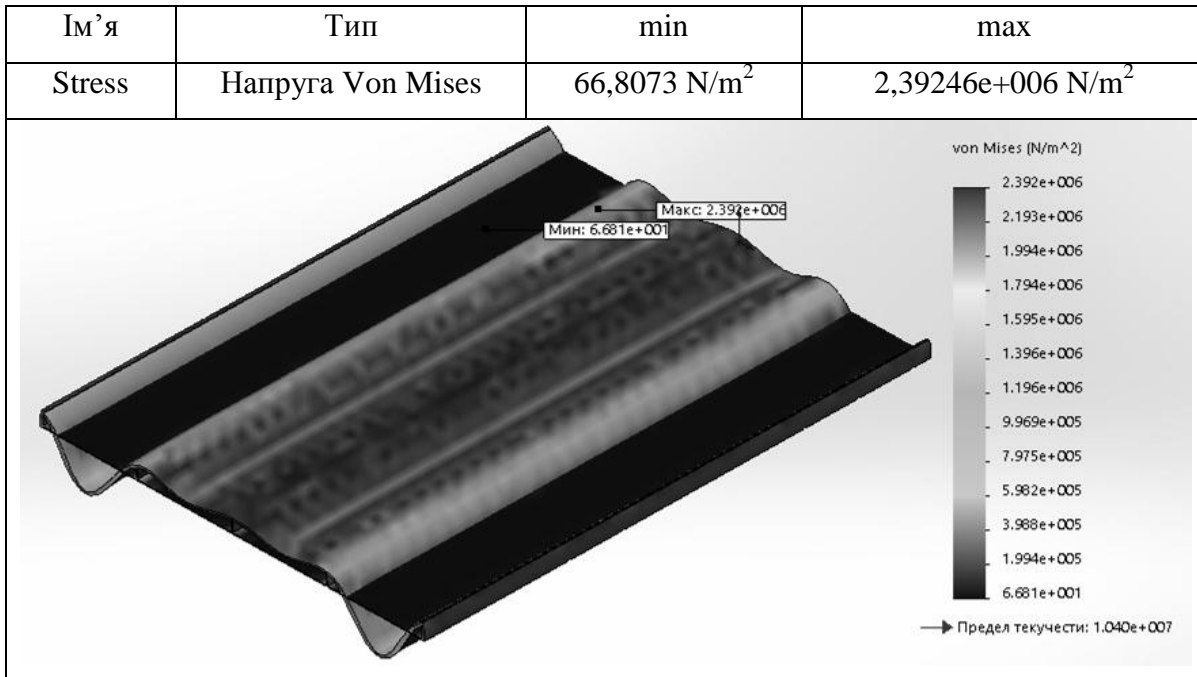
Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає пошкоджуватися в місцях, де напруга по Мизесу стає рівною граничній напрузі.

Межа текучості - властивість, що залежить від температури. Справжня задана величина межі текучості повинна враховувати температуру компонента.

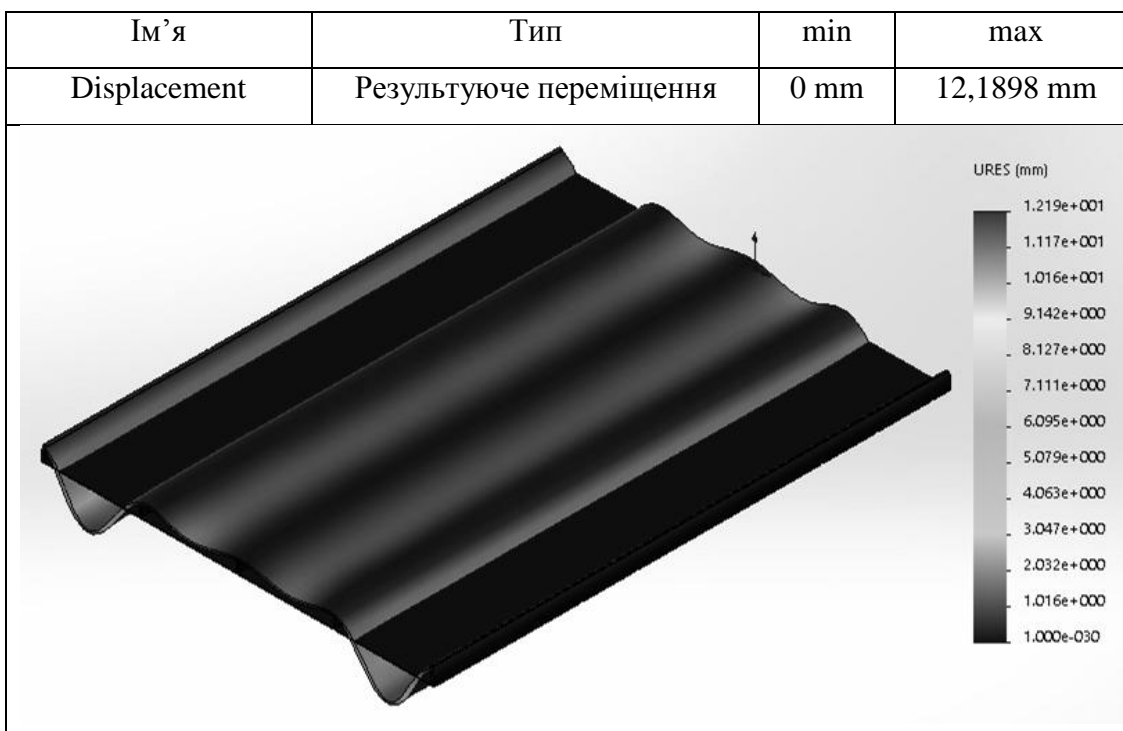
Результати досліджень представлені у вигляді таблиць 4-6.

Проаналізувавши, отриману шляхом симуляції роботи спроектованої моделі в програмі SOLID WORKS, інформацію можна зробити висновок, що при заданих параметрах ПДП, кріплень і прийнятого навантаження, модель є працездатною і має значний запас міцності.

Таблиця 4 - Напруження Von Mises

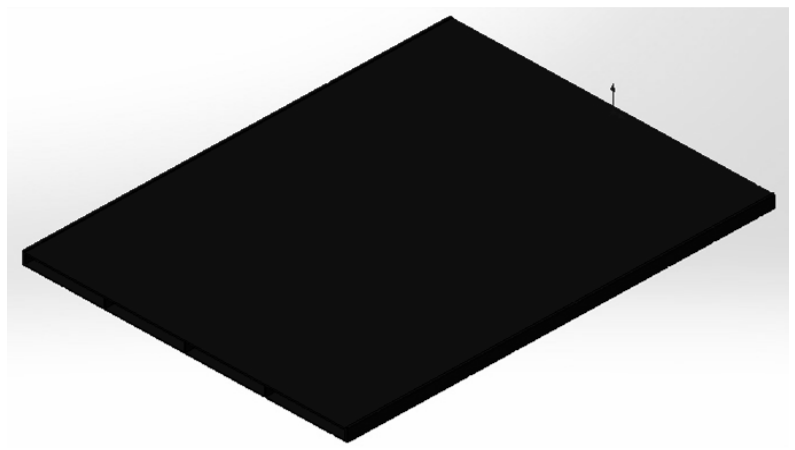


Таблиця 5 - Результуюче переміщення в моделі



Таблиця 6 - Запас міцності моделі

Ім'я	Тип	min	max
Factor of Safety	Максимальна напруга Von Mises	4,347	155672



Висновки

1. В ході виконаних досліджень була запроєктована модель збірного полімерного покриття для доріг, яка має параметри, що забезпечують її надійне і довговічне функціонування в складних природних умовах, а також, зручність в її подальшій експлуатації.

2. На відміну від представлених на ринку розробок, дана модель має знімний контактний шар, який забезпечує комфорт при русі і, у випадку пошкоджень, може бути замінений новим без особливих витрат часу і праці. Так само, в запроєктованій моделі передбачається встановлення внутрішнього водовідведення через гнучкий трубопровід, щоб максимально захистити шар ґрунту від перезволоження і втрати міцності.

3. Слід зазначити, що полімерні покриття не вимагають додаткових робіт по влаштуванню шарів зі шлаку, гравію, і інших способів знизити навантаження на поверхню ґрунту. Досить сформувати земляне полотно з ґрунтовою подушкою, а конструктивні особливості плити захистять ґрунт від точкових навантажень, здатних видавлювати ґрунт і деформувати підстильний шар. Це означає, що вартість однієї плити можна прирівняти до вартості всіх основних робіт по влаштуванню дорожнього покриття заданої площі. Зауважимо, що товщина запроєктованої плити становитиме всього 150 мм,

замість одного або двох метрів, що витрачається на стандартне, багат шарове укладання доріг.

4. Застосування даного покриття буде високоефективним і економічно обґрунтованим рішенням проблем, пов'язаних з експлуатацією дорожніх покриттів в складних природних умовах, з антропогенним забрудненням навколишнього середовища.

5. Необхідно виконати ще великий обсяг робіт щодо вдосконалення ідеї використання полімерного покриття, для того, щоб втілити це на практиці. Однак, перспектива будівництва довговічних доріг з мінімумом шкоди для навколишнього середовища, використовуючи полімерні матеріали, що підлягають переробці, варто витрачених зусиль.

Література

1. Джахилов М.Ф. Учет истирающего воздействия колес автомобилей при прогнозировании износа асфальтобетонных покрытий / Дис. канд. техн. наук: Москва, 2004 г.
2. Автотрассу из пластика построят в Нидерландах в 2017 году. [Електронний ресурс] – Доступно з:
<https://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad>
3. PlasticRoad // VolkerWessels. [Електронний ресурс] – Доступно з:
[URL:https://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad](https://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad)

Рецензенти:

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **25.12.2016 р.**