

ДК 625.7/.8

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.250423.7.925

## АЛЬТЕРНАТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

БАЛАШОВА Ю. Б.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ДЕМ'ЯНЕНКО В. В.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
БОНДАРЕНКО Л. П.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ЛУК'ЯНЕНКО В. В.<sup>4</sup>, маг.,  
БАЛАШОВ А. О.<sup>5</sup>, студ.

<sup>1\*</sup> Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (050) 786-54-46, e-mail: [balashova.yuliia@pdaba.edu.ua](mailto:balashova.yuliia@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-2286-9263

<sup>2</sup> Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (096) 728-38-94, e-mail: [demianenko.viktor@pdaba.edu.ua](mailto:demianenko.viktor@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-0427-4263

<sup>3</sup> Кафедра транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, Київ, 01010, Україна, тел. +38 (099) 142-56-47, e-mail: [BondarenkoLP@gmail.com](mailto:BondarenkoLP@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8239-065X

<sup>4</sup> Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (063) 786-58-24, e-mail: [gestantgloria@gmail.com](mailto:gestantgloria@gmail.com)

<sup>5</sup> Будівельний факультет, кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (050) 678-37-54, e-mail: [andbalashov@hotmail.com](mailto:andbalashov@hotmail.com), ORCID ID: 0009-0007-5833-0888

**Анотація. Постановка проблеми.** Забруднення навколишнього середовища пластиковими відходами – серйозна проблема, яка стала актуальною в наш час. Пластикові відходи дуже шкідливо впливають на довкілля, це глобальна проблема, яка вимагає негайних заходів для їх зменшення. Альтернативним методом утилізації пластикових відходів на сьогоднішній день вважається застосування їх для будівництва покриттів автомобільних доріг. **Мета статті** – аналіз зарубіжного досвіду застосування альтернативних матеріалів для покриттів автомобільних доріг та обґрунтування доцільності їх використання в умовах України на основі виконаних експериментальних досліджень дорожніх плит із залізобетону та пластику. **Висновок.** Проведено експериментальні дослідження щодо аналізу доцільності застосування пластику для панелей автодорожніх покриттів. Виконано моделювання і розрахунки панелей із традиційного матеріалу – залізобетону (ЗБ), а також із найбільш поширеного пластику – поліетилентерефталату (ПЕТ) і найбільш міцного пластику – політетрафторетилену (ПТФЕ). Дослідження проводили з моделями однакових геометричних розмірів. Аналіз роботи спроектованих моделей виконували в програмі SolidWorks. Отримано дані щодо напруження та деформації у дорожніх плитах із залізобетону та полімерів. Порівняно фізичні властивості змодельованих панелей: за масою, густиною, об'ємом та площею поверхні. Також виконано економічне порівняння досліджених панелей за вартістю. На основі досліджень для покриттів автомобільних доріг рекомендовано панель із поліетилентерефталату (ПЕТ) як найбільш оптимальну за міцністю і вартістю. Ця модель може бути рекомендована для застосування на автомобільних дорогах України.

**Ключові слова:** *пластикові відходи; покриття автомобільних доріг; залізобетонні плити (ЗБ); поліетилентерефталат (ПЕТ); політетрафторетилен (ПТФЕ); збірні полімерні плити (ЗПП)*

## ALTERNATIVE MATERIALS FOR PAVEMENTS OF ROADS

BALASHOVA Yu.B.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
DEMIANENKO V.V.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
BONDARENKO L.P.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
LUKIANENKO V.V.<sup>4</sup>, *Master*,  
BALASHOV A.O.<sup>5</sup>, *Stud.*

<sup>1\*</sup> Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 786-54-46, e-mail: [balashova.yuliia@pdaba.edu.ua](mailto:balashova.yuliia@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-2286-9263

<sup>2</sup> Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (096) 728-38-94, e-mail: [demianenko.viktor@pdaba.edu.ua](mailto:demianenko.viktor@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-0427-4263

<sup>3</sup> Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 01010, Kyiv, Ukraine, tel. +38 (099) 142-56-47, e-mail: [BondarenkoLP@gmail.com](mailto:BondarenkoLP@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8239-065X

<sup>4</sup> Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (063) 786-58-24, e-mail: [gestantgloria@gmail.com](mailto:gestantgloria@gmail.com)

<sup>5</sup> Faculty of Civil Engineering, Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 678-37-54, e-mail: [andbalashov@hotmail.com](mailto:andbalashov@hotmail.com), ORCID ID: 0009-0007-5833-0888

**Abstract. Problem statement.** Environmental pollution by plastic waste is a serious problem that has become relevant in our time. Plastic waste has a very harmful effect on the environment, which is a serious problem that requires immediate measures to reduce it. Today, an alternative method of plastic waste utilization is to use it for the construction of road pavements. **The purpose of the article** is to analyze foreign experience in the use of alternative materials for road pavements and to substantiate the feasibility of their use in Ukraine based on experimental studies of road panels made of reinforced concrete and plastic. **Conclusions.** Experimental studies were conducted to analyze the feasibility of using plastic for road pavement panels. The modeling and calculations of panels made of traditional material – reinforced concrete (RC), as well as the most common plastic – polyethylene terephthalate (PET) and the most durable plastic PTFE polytetrafluoroethylene are performed. The investigations with models of the same geometric dimensions are conducted. The analysis of the designed models was performed using the SolidWorks software. Data on stresses and strains in road panels made of reinforced concrete and polymers are obtained. The physical properties of the modeled panels are compared in terms of mass, density, volume, and surface area. An economic comparison of the studied panels in terms of cost is also fulfilled. Based on the research, a polyethylene terephthalate (PET) panel is suggested for road pavements as the most optimal in terms of strength and cost. This model can be recommended for use on Ukrainian roads.

**Keywords:** *plastic waste; road pavement; reinforced concrete panels (RCP); polyethylene terephthalate (PET); polytetrafluoroethylene (PTFE); precast polymer panels (PPP)*

**Постановка проблеми.** Забруднення навколишнього середовища пластиком – це серйозна проблема, яка стала актуальною в наш час. Оцінити точну кількість пластикових відходів, що потрапляють у навколишнє середовище, досить складно, оскільки це залежить від багатьох факторів, таких як кількість виробництва пластику, його використання, спосіб видалення відходів та їх розкладання в природі. Однак, за даними дослідницької організації «Break Free From Plastic», у 2020 році в світі було вироблено понад 368 мільярдів одиниць пластикових упаковок, які можуть стати відходами [1]. Інші організації, такі як «The Ocean Cleanup», оцінюють, що у світових океанах може перебувати понад 150 млрд кг пластикових відходів [2].

Пластикові відходи дуже шкідливо впливають на довкілля. Вони можуть потрапляти у водні ресурси, такі як океани, річки та озера, що спричинює забруднення води та негативно впливає на екосистему. Відходи пластику забруднюють ґрунт,

викликаючи погіршення його якості та втрату родючості. Це може негативно позначитися на сільськогосподарському виробництві та екосистемах.

Виробництво та спалювання пластикових відходів викидає шкідливі речовини в повітря, що спричинює забруднення повітря, їжі та води, а також загрожує здоров'ю людей. Пластикові відходи небезпечні для тварин, які можуть їх випадково з'їсти або потрапити в пастку. Це може призвести до травм, хвороб або навіть смерті тварин [3].

Отже, шкідливий вплив пластикових відходів на довкілля становить серйозну проблему, яка вимагає негайних заходів для їх зменшення.

**Аналіз публікацій.** Альтернативним методом утилізації пластикових відходів на сьогоднішній день вважається застосування їх для будівництва автомобільних доріг [4–7]. Провідні університети світу досліджують тему використання пластикових відходів для будівництва доріг. Університет Каліфорнії в Берклі, США – університетська лабораторія

The Partners for Advanced Transportation Technology (PATH) [8]; Університет Техасу в Остині, США [9]; Університет Сіднея в Австралії [10]; Лабораторія NPL (National Physical Laboratory) у Великобританії [11] вивчають проблему використання пластикових відходів для будівництва доріг та випробування різних технологій.

Це не єдині університети та лабораторії, де проводять дослідження щодо використання пластикових відходів для будівництва доріг, але вони стали наочним прикладом такої роботи.

Вчені та дослідники, які займаються дослідженнями пластикових доріг протягом багатьох років:

Rajagopalan Vasudevan – індійський хімік, який розробив технологію переробки пластикових відходів на дорожнє покриття. Його технологія передбачає розмелювання пластмаси та її змішування з кам'яно-пиловим матеріалом [12–13]. Дослідження професора R.Vasudevan допомогли знизити використання традиційних матеріалів для дорожнього будівництва та зменшити кількість пластикових відходів у навколишньому середовищі. Він також дослідив тему використання пластикових відходів у бетоні, що може бути корисним для будівництва доріг.

Toby McCartney – засновник компанії MacRebur, яка використовує пластикові відходи для виробництва дорожнього покриття. Компанія MacRebur – британський стартап, який спеціалізується на виробництві дорожнього покриття з переробленого пластику. Компанія заснована в 2016 році, щоб знайти ефективний спосіб переробки пластикових відходів та зниження використання невідновлюваних вуглеводнів у дорожньому будівництві.

Матеріали MacRebur виготовляються з відходів, таких як пластикові пляшки, пакети та інші вироби з поліетилену з низькою та середньою щільністю, які зазвичай викидаються на смітник. Перероблений пластик додають до асфальтобетонної суміші замість традиційного бітуму. Це дозволяє зменшити використання нафти та знизити викиди в атмосферу під час

виготовлення дорожнього покриття. Компанія виробляє бітумні суміші, у яких до 80 % агрегату складається з пластикових відходів [14].

Компанія MacRebur уже побудувала пластикові дороги в різних країнах, включаючи Великобританію, Нову Зеландію, Австралію та США [15].

Eric Kievit – генеральний директор компанії PlasticRoad, яка виробляє дорожнє покриття з пластикових відходів. Компанія PlasticRoad з Нідерландів пропонує інноваційний підхід до будівництва доріг, використовуючи перероблені пластикові відходи. Замість традиційних матеріалів, таких як бітум або бетон, компанія використовує свої власні пластикові модульні покриття, які можна швидко та ефективно встановлювати на будь-яких типах ґрунту [16].

Модулі PlasticRoad виготовляються з переробленого пластику, вони легкі, міцні та довговічні. Кожен модуль має гнучкий дизайн, що дозволяє йому витримувати великі навантаження та швидко відновлюватися після пошкоджень [17].

У галузі досліджень пластикових доріг досягнуто декілька важливих результатів за останні роки. Розроблено спеціальні технології переробки пластикових відходів, які дозволяють отримувати високоякісний матеріал.

Пластикові дороги можуть бути більш міцними і довговічними, ніж традиційні. Вони майже вчетверо міцніші, ніж традиційні асфальтові дороги, і довше зберігають свою структуру.

Використання пластикових доріг може знизити кількість відходів, які потрапляють у навколишнє середовище. Пластикові дороги більш екологічні, ніж традиційні. Дослідження показали, що використання пластикових відходів для будівництва доріг може знизити викиди вуглецю та забруднення навколишнього середовища.

Пластикові відходи можуть бути використані не тільки для будівництва доріг, а й на різних інших об'єктах будівництва. Наприклад, для створення покриття для пішохідних та велодоріжок. Такі доріжки

більш міцні та довговічні, ніж традиційні. Такі відходи можуть бути використані у будівництві мостів та тунелів, зупинок громадського транспорту, бар'єрів, огорож, паркінгів й інших об'єктів. Споруди з таких матеріалів можуть бути більш міцними та довговічними, ніж із традиційних.

**Мета статті** – аналіз зарубіжного досвіду застосування альтернативних матеріалів для покриттів автомобільних доріг та обґрунтування доцільності їх використання в умовах України за результатами проведених числових експериментальних досліджень дорожніх плит із залізобетону та пластику.

**Результати досліджень.** Проведені попередні дослідження щодо можливості використання для дорожніх покриттів найбільш розповсюдженого в світі пластику – ПЕТ (поліетилентерефталат) та пластику з більш високими характеристиками щодо міцності – ПТФЕ (політетрафторетилен) для навантаження 10 тонн показали доцільність їх використання [18]. Була запроєктована плита дорожнього покриття з такими характеристиками: довжина 5 000 мм, ширина 3 800 мм, висота 150 мм. У ході досліджень варіювалася ширина крайніх і внутрішніх поздовжніх стінок. Для дорожньої плити з ПЕТ прийнято товщину крайніх стінок 35 мм, внутрішніх – 30 мм. Для більш міцної плити з ПТФЕ прийнято товщину крайніх стінок 25 мм, внутрішніх – 10 мм.

Підвищимо навантаження до 20 тонн і проведемо дослідження й порівняння характеристик дорожніх плит з альтернативних матеріалів і традиційного бетону.

Використання залізобетонних плит для покриттів доріг – одна з традиційних технологій будівництва доріг, і вона використовується у деяких країнах більш широко.

Наприклад, в Європі та Північній Америці бетонні плити широко використовуються для дорожнього покриття на дорогах з високим трафіком, включаючи міські магістралі та автостради. У Німеччині та Польщі, бетонні плити для покриттів доріг теж досить поширені.

У країнах, Південної Америки традиційно використовуються асфальто-бетонні покриття.

В Україні бетонні плити застосовуються на певних ділянках автомобільних доріг і трас, де збільшене навантаження на дорожнє покриття або на перехрестях із великим трафіком автотранспорту.

Один з найбільших проєктів використання бетонних плит для покриття доріг в Україні – це будівництво автодороги М-03 Київ–Харків, ділянки Ізюм–Балаклія. На цій ділянці використано понад 160 000 бетонних плит для побудови шляхопроводу і 10 км дорожнього покриття.

Однак в Україні, в порівнянні з іншими країнами, використання бетонних плит для покриттів доріг менш поширене. Це пов'язано з високими витратами на будівництво таких покриттів, а також із нестачею сировини й обладнання для виробництва бетонних плит.

Проте уряд України активно розробляє програми для розвитку і поліпшення дорожньої інфраструктури в країні, включаючи застосування новітніх технологій і матеріалів.

Використання бетонних плит для автомобільних доріг має такі переваги:

- 1) довговічність: бетонні плити витримують важкі навантаження, що забезпечує їх ефективну експлуатацію протягом багатьох років;
- 2) швидкість відновлення: у випадку пошкодження ремонт або заміна плити зазвичай займає менше часу, ніж для ремонту асфальтованого шару;
- 3) посилена безпека: бетонні плити мають більшу міцність та меншу схильність до деформації за впливу навантажень, що забезпечує кращу безпеку для автомобілів та пішоходів;
- 4) економічність: бетонні плити мають меншу потребу в регулярному обслуговуванні та ремонті, що зменшує загальні витрати на дорожнє утримання протягом років;
- 5) екологічність: бетонні плити виготовляються з природних матеріалів, таких як пісок, гравій та цемент;

б) водостійкість: бетонні плити мають низьке водопоглинання, що забезпечує ефективний стік води та запобігає утворенню бруду та болотистих ділянок на дорогах.

Для досліджень обрано дорожню плиту ІП 30.18-30, що має наступні характеристики: довжина 3 000 мм, ширина 1 750 мм, товщина 300 мм; матеріал – бетон класу В25 (міцність на стиск – 25 МПа). Армвання виконується з металевих арматурних каркасів із ненапруженої арматури класу А-400С  $d = 10\text{--}12$  мм, що підвищує їх міцність та довговічність. Форма плити – прямокутна із закругленими кутами. Водопоглинання – не перевищує 6 % від ваги плити. Марка морозостійкості – не нижче F150.

Дані характеристики забезпечують високу міцність та довговічність дорожніх плит ІП 30.18-30, що дозволяє їх ефективно використовувати для будівництва дорожнього покриття.

Для досліджень модель із зазначеними вище характеристиками була створена в програмному середовищі SolidWorks у вигляді об'ємного тіла [19]. У цій програмі є функція SimulationXpress, призначена для симуляції роботи створеного об'єкта за заданих умов. У нашому випадку, дослідженню піддавалася модель дорожньої плити з висловленим припущенням, що навантаження, прикладене на кожен точку поверхні, яка буде контактувати з колесами транспортних засобів, буде однакове і дорівнювати 20 тоннам.

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. Інформація про модель 1 залізобетонної плити (ЗБП) наведена у таблиці 1.

Виконано аналіз роботи спроектованої моделі ЗБП в програмі SolidWorks.

Результати досліджень показані в таблицях 2 та 3.

Для подальшого аналізу можливості використання збірних полімерних плит (ЗПП) для автодоріг із пластику ПТФЕ (політетрафторетилен) проводимо дослідження моделі 2 також для навантаження 20 тонн. Результати досліджень наведені в таблицях 4 та 5.

Для можливості аналізу доцільності застосування пластику для автодорожніх плит і порівняння проведено дослідження зі збірними полімерними плитами з пластику ПЕТ (поліетилентерефталат). Використовуємо дві моделі: модель 3 – з такими ж характеристиками, як у моделі ЗПП з ПТФЕ, модель 4 – з потовщеними крайніми стінками. Результати досліджень полімерних плит з ПЕТ показані в таблицях 6–9.

Проаналізувавши інформацію, отриману шляхом симуляції роботи спроектованої моделі в програмі SolidWorks, можна зробити висновок, що за заданими параметрами ПДП, кріплення і прийнятого навантаження, модель працездатна і має значний запас міцності.

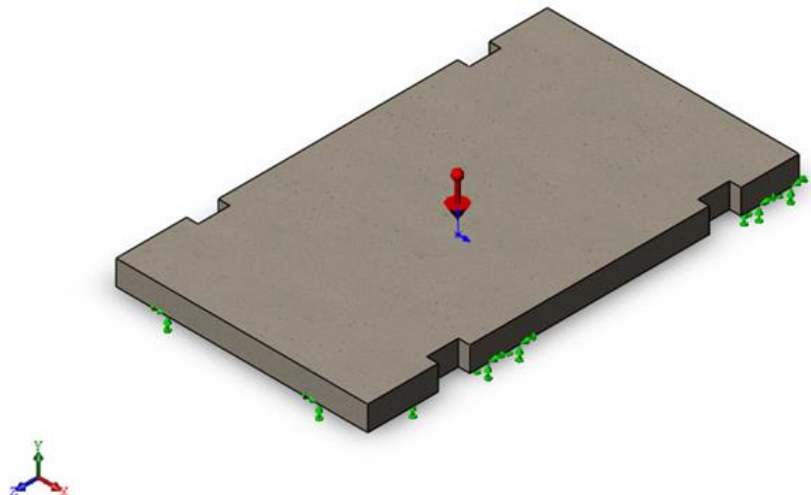
Аналіз результатів досліджень, отриманих шляхом симуляції роботи спроектованих моделей у програмі SolidWorks, показав, що за заданих параметрів полімерних плит дорожніх покриттів та прийнятого навантаження модель 2 з ПТФЕ і модель 4 з ПЕТ придатні для експлуатації, мають значний запас міцності і можуть скласти конкуренцію класичним залізобетонним плитам.

Побудувавши чотири моделі збірних дорожніх плит, виготовлених із бетону та полімерів, а також виконавши аналіз моделей, отримали дані щодо напружень та деформацій у плитах.

Таблиця 1

**Основні характеристики запроєктованої моделі 1 залізобетонної плити**

Характеристики моделі	
Маса	2 113,28 кг 2 0710,1 Н
Об'єм	0,880 532 м <sup>3</sup>
Щільність	2 400 кг/м <sup>3</sup>

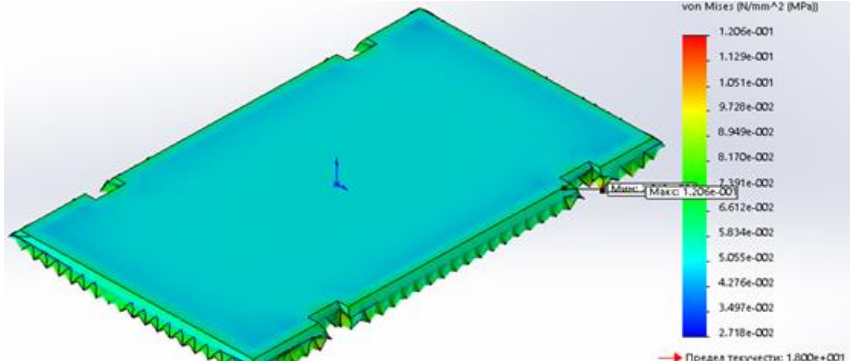


Запропонована модель розглядається програмою як тверде тіло

Таблиця 2

**Результати визначення напруг у моделі 1 ЗБП Von Mises за навантаження 20 т**

Name	Stress
Type	Von Mises
Min	2,718e-002 Н/мм <sup>2</sup>
Max	1,206e-001 Н/мм <sup>2</sup>

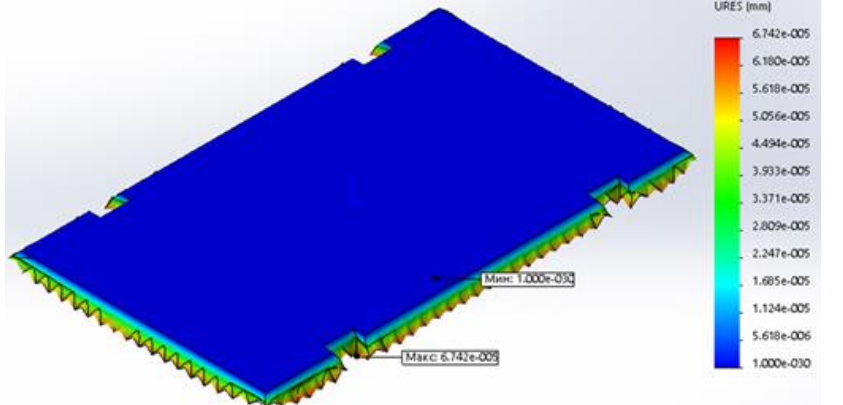


→ Предел текучести: 1.800e+001

Таблиця 3

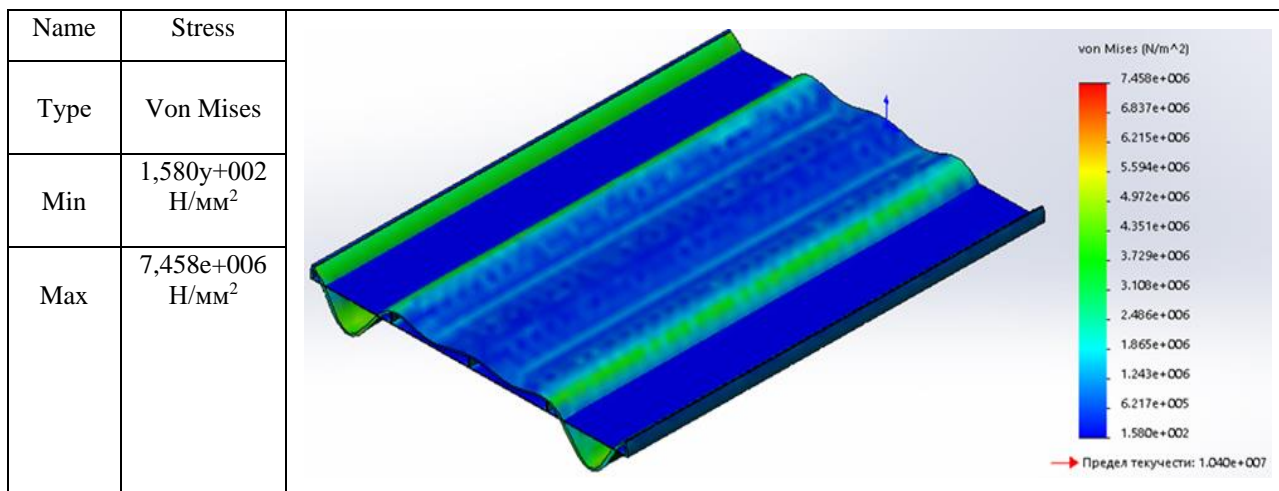
**Результуюче переміщення в моделі 1 ЗБП за навантаження 20 т**

Name	Displacement
Type	Resulting Displacement
Min	1,000e-030 мм
Max	6,742e-005 мм



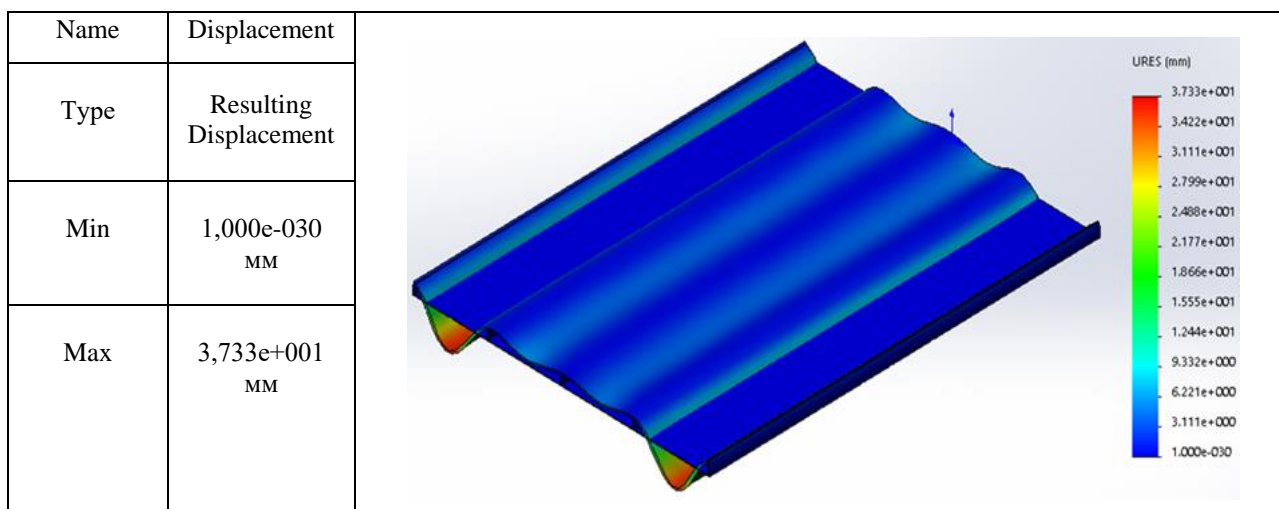
Таблиця 4

Результати визначення напруг у моделі 2 ЗПП з ПТФЕ Von Mises за навантаження 20 т



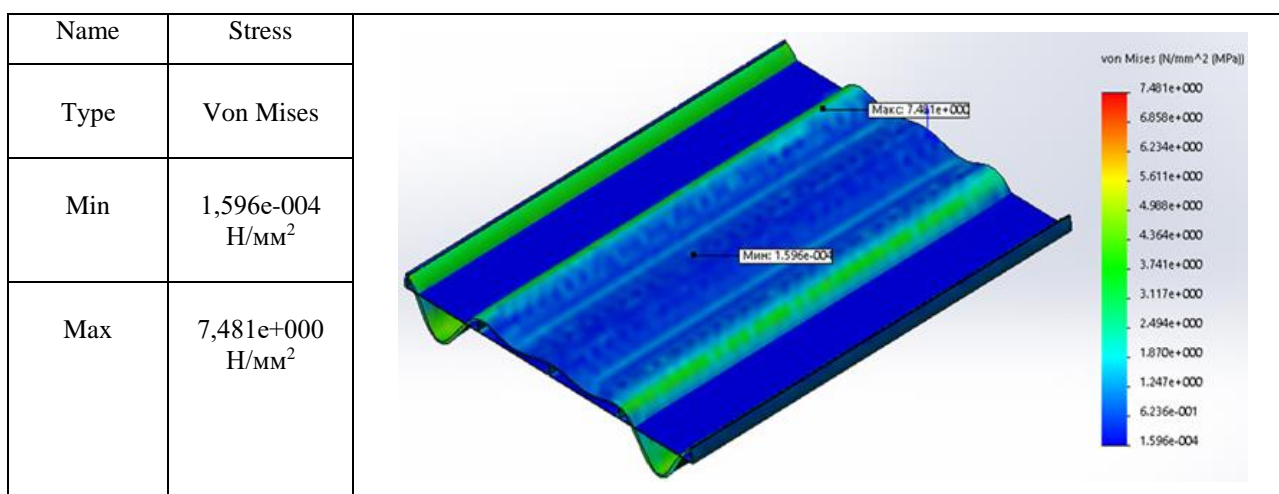
Таблиця 5

Результуюче переміщення в моделі 2 ЗПП з ПТФЕ за навантаження 20 т



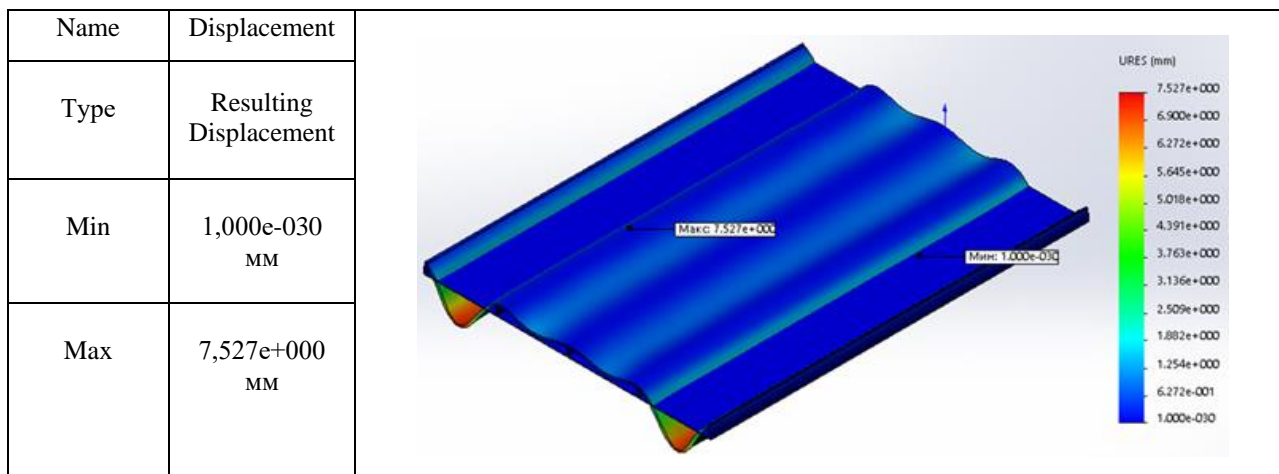
Таблиця 6

Результати визначення напруг у моделі 3 ЗПП з ПЕТ Von Mises за навантаження 20 т



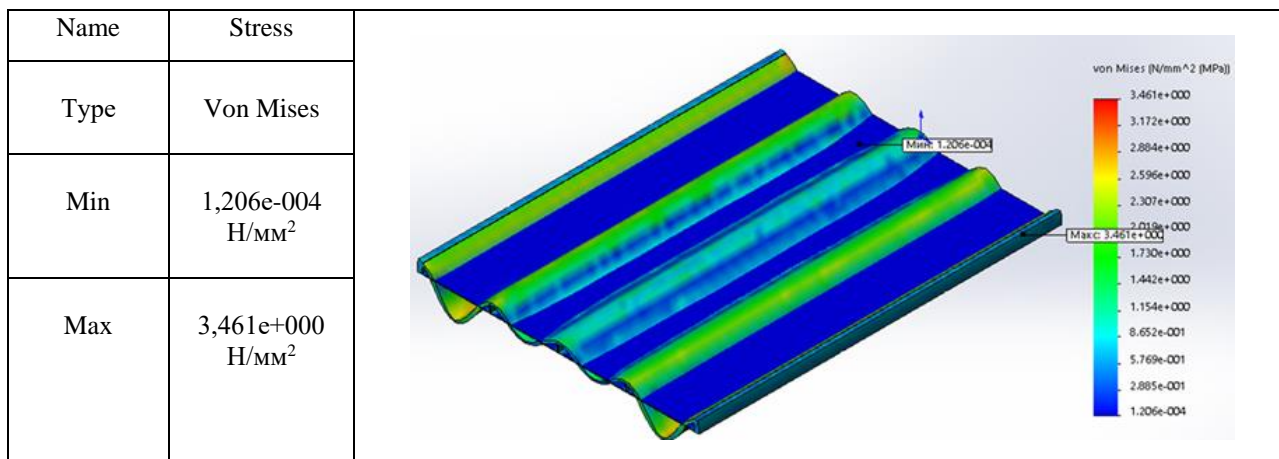
Таблиця 7

**Результуюче переміщення в моделі 3 ЗПП з ПЕТ за навантаження 20 т**



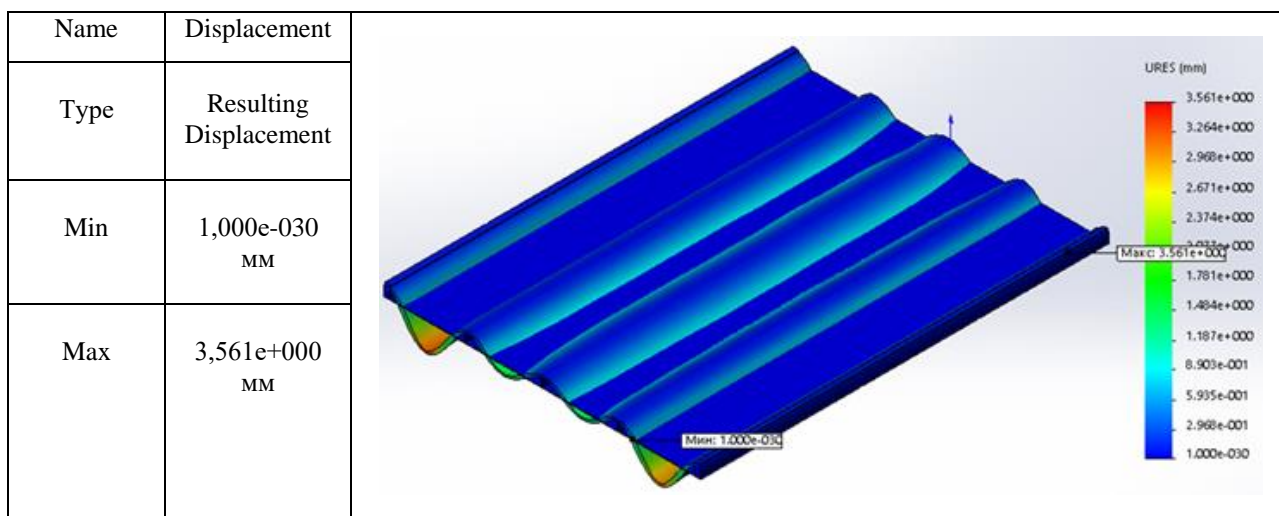
Таблиця 8

**Результати визначення напруг у моделі 4 ЗПП з ПЕТ з потовщеними стінками Von Mises за навантаження 20 т**



Таблиця 9

**Результуюче переміщення в моделі 4 ЗПП з ПЕТ з потовщеними стінками за навантаження 20 т**





Порівнюємо дані фізичних властивостей змодельованих плит (табл. 10).

Виконане порівняння чотирьох моделей плит за масою показано на рисунку 1.

Порівняння моделей за об'ємом наведено на рисунку 2.

Порівняння моделей за густиною – на рисунку 3.

Порівняння моделей за площею поверхні показано на рисунку 4.

Полімерні плити займають у 3,5 раза більшу площу поверхні, ніж бетонні

(табл. 11), тому темпи будівництва таких доріг будуть швидшими.

У зв'язку з меншою вагою полімерного матеріалу та більшою пружністю та міцністю на розрив побудовано полімерну модель плити, що значно перевищує площу покриття бетонної, за близьких обсягів витрачених матеріалів.

Згідно з розрахунками, полімерні плити мають вищу вартість за одиницю продукції, але при порівнянні за вартістю робочої поверхні вони практично не відрізняються.

Таблиця 10

#### Порівняння фізичних властивостей моделей

Фізичні властивості	Од. вим.	ЗПП ПТФЕ	ЗПП ПЕТ	ЗПП ПЕТ потовщений	ЗБП (1П30.18-30)
Маса	кг	1 356,30	875,43	1 224,75	2 113,28
Об'єм	м <sup>3</sup>	0,62	0,62	0,86	0,880532
Площа поверхні	м <sup>2</sup>	18,75	18,75	18,75	5,25
Густина	кг/м <sup>3</sup>	2 200,00	1 420,00	1 420,00	2 400
Розміри	м	3,75·5·0,15	3,75·5·0,15	3,75·5·0,35	1,75·3·0,17
Товщина крайньої стойки і перекриття	м	0,15; 0,10	0,15; 0,10	0,35; 0,30	–

Таблиця 11

#### Порівняння площі покриття полімерної плити та бетонної

	Од. вим.	ЗПП	ЗБП
Площа покриття	м <sup>2</sup>	18,75	5,25
	%	100-28=72	

Таблиця 12

#### Економічне порівняння дорожніх плит

Вартість плити	Од. вим.	ЗПП ПЕТ	ЗПП ПЕТ потовщений	ЗБП (1П30. 18-30)
	грн	13599,8	19026,49	3800
1кг		15,54	15,54	1,80
1м <sup>2</sup>		725,32	1014,75	723,81

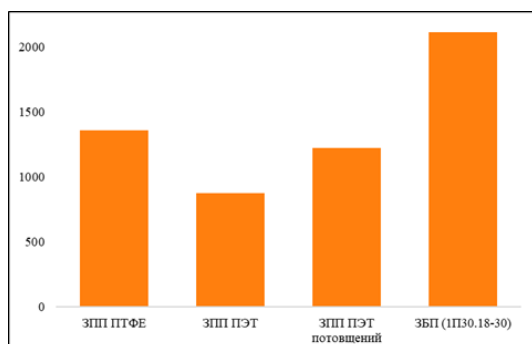


Рис. 1. Порівняння маси моделей (по вертикалі – маса, кг)

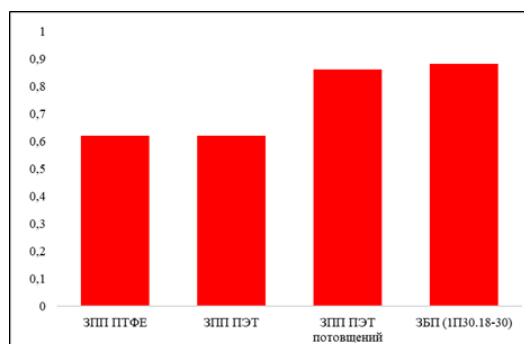


Рис. 2. Порівняння об'єму моделей (по вертикалі – об'єм, м<sup>3</sup>)

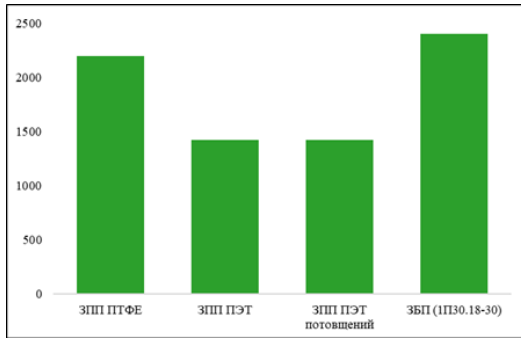


Рис. 3. Порівняння густини моделей (по вертикалі – густина, кг/м³)

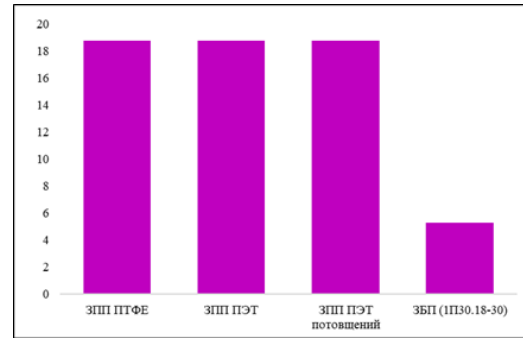


Рис. 4. Порівняння площі поверхні моделей (по вертикалі – площа, м²)

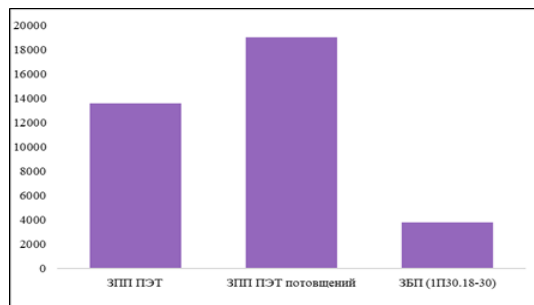


Рис. 5. Порівняння вартості плити із пластику та залізобетону (по вертикалі – вартість, грн)

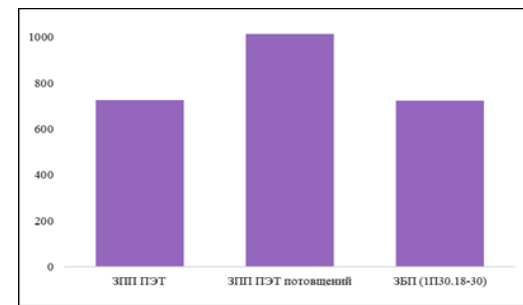


Рис. 6. Порівняння вартості 1 м² плити із пластику та залізобетону (по вертикалі – вартість, грн)

## Висновки

1. Досліджено моделі полімерних плит із поліетилентерефталату (ПЕТ), як найбільш поширеного пластику, із політетрафторетилену (ПТФЕ), як найбільш міцного і якісного пластику, а також залізобетонних плит як класичного покриття для автомобільних доріг.

2. У ході досліджень запроєктовано й оптимізовано модель збірної полімерної плити покриття для доріг із поліетилентерефталату (ПЕТ), яка має параметри, що забезпечують її надійне і довговічне функціонування в складних природних умовах, а також зручність в її подальшій експлуатації.

3. Розрахунки виконувались у програмі SolidWorks. Результати розрахунків показали, що за заданих параметрів полімерних плит дорожніх покриттів та прийнятого навантаження 20 т, модель 2 з ПТФЕ і модель 4 з ПЕТ придатні для

експлуатації та мають значний запас міцності.

4. Порівняльний аналіз запропонованих моделей по масі, об'єму і щільності показав, що полімерні плити з поліетилентерефталату (ПЕТ), модель 4, можна використовувати на автодорогах України. Полімерні плити займають у 3,5 раза більшу площу поверхні, ніж бетонні, тому темпи будівництва таких доріг будуть швидшими.

5. Виконано порівняння досліджених плит по вартості. Модель 2 із ПТФЕ має високу вартість і використовувалась у дослідженнях як еталон якісного і міцного пластику, тому порівняння виконувалось для моделей із ПЕТ і залізобетону. Згідно з розрахунками, полімерні плити із ПЕТ мають більшу ціну за одиницю продукції, але за ціною робочої поверхні із залізобетонними плитами вони несуттєво відрізняються.

6. На основі виконаних досліджень для покриттів автомобільних доріг рекомендовано модель 4 з поліетилен-терефталату

(ПЕТ) як найбільш оптимальну за міцністю і вартістю.

7. Застосування даної моделі пластикового покриття буде високо-ефективним і економічно обґрунтованим рішенням проблем, пов'язаних з експлуатацією дорожніх покриттів в складних природних умовах, з антропогенним забрудненням навколишнього середовища.

8. Ця модель має знімний контактний шар, який забезпечує комфорт під час руху 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.

9. Полімерні покриття не вимагають додаткових робіт з улаштування шарів зі

шлаку, гравію та 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 підстилковий шар. Це означає, що за вартості однієї такої плити, рівної до вартості плити з бетону, при площі поверхні в 3,5 раза більшій, всі основні роботи з улаштування дорожнього покриття заданої площі будуть дешевшими.

10. Необхідно виконати ще великий обсяг робіт щодо вдосконалення ідеї використання полімерного покриття для втілення її на практиці. Однак перспектива будівництва довговічних доріг із мінімумом шкоди для навколишнього середовища, з використанням полімерних матеріалів, що підлягають переробці, варта витрачених зусиль.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Break Free From Plastic Pollution Act. URL: <https://www.beyondplastics.org/bffppa>
2. The Ocean Cleanup. URL: <https://theoceancleanup.com/>
3. Borrelle S. B., Ringma J., Law K. L., Monnahan C. C., Lebreton L., McGivern A., Murphy E., Jambeck J., Leonard G. H., Hilleary M. A., Eriksen M., Possingham H. P., De Frond H., Gerber L. R., Polidoro B., Tahir A., Bernard M., Mallos N., Barnes M., Rochman C. M. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*. 2020, Sep. 18. Vol. 369 (6510). Pp. 1515–1518. doi: 10.1126/science.aba3656. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32943526/>
4. Giustozzi Filippo, Nizamuddin Sabzoi. Plastic Waste for Sustainable Asphalt Roads. eBook ISBN: 9780323909303; Paperback ISBN: 9780323857895; January 13, 2022. URL: <https://www.elsevier.com/books/plastic-waste-for-sustainable-asphalt-roads/giustozzi/978-0-323-85789-5>
5. PlasticRoad: Solution to the plastic waste problem. 2022. URL: <https://www.startupselfie.net/2022/05/11/plasticroad-solution-to-plastic-waste-problem/>
6. Using waste plastic to build more sustainable roads. 2022. URL: <https://www.lgcplus.com/services/environment/using-waste-plastic-to-build-more-sustainable-roads-24-03-2022/>
7. LTA testing out new road mix incorporated with plastic waste at PIE & West Coast Highway. 2023. URL: <https://mothership.sg/2023/02/lta-upcycling-plastic-waste-roads/>
8. The Partners for Advanced Transportation Technology (PATH). URL: <https://path.berkeley.edu/>
9. Plastic-eating Enzyme Could Eliminate Billions of Tons of Landfill Waste. URL: <https://news.utexas.edu/2022/04/27/plastic-eating-enzyme-could-eliminate-billions-of-tons-of-landfill-waste/>
10. New technology turns a liability into an asset. URL: <https://www.sydney.edu.au/research/research-impact/a-new-plastic-recycling-technology-converts-liability-into-asset.html>
11. CSIR-NPL. Develops Technology to Convert Plastic Waste into Tiles. URL: [https://www.csir.res.in/sites/default/files/csirnews\\_sep16.pdf](https://www.csir.res.in/sites/default/files/csirnews_sep16.pdf)
12. Vasudevan R., Nigam S. K., Velkennedy R., Ramalinga Chandra Sekar A., Sundarakannan B. Utilization of waste plastics for flexible pavement. *Indian High Ways (Indian Road Congress)*. Vol. 34, № 7. Pp. 105–111. (July 2006). URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.555.1740&rep=rep1&type=pdf>
13. Rajasekaran S., Dr. Vasudevan R., Dr. Paulraj Samuvel. Reuse of Waste Plastics Coated Aggregates-Bitumen Mix Composite for Road Application – Green Method (*American Journal of Engineering Research (AJER)*). e-ISSN: 2320-0847, p-ISSN: 2320-0936. Vol. 02, iss. 11. Pp. 01–13. 2013. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.683.7359&rep=rep1&type=pdf>
14. Toby McCartney, CEO of the Plastic Road Company. URL: <https://environmentjournal.online/articles/interview-toby-mccartney-ceo-of-the-plastic-road-company/>

15. New York Gets. Its First Plastic Roads. Via UK's MacRebur. 2022. URL: <https://www.forbes.com/sites/jeffkart/2022/12/15/new-york-gets-its-first-plastic-roads-via-uks-macrebur/?sh=471fbfaa422e>
16. Netherlands: Plastic roads to be made from recycled ocean waste. URL: <http://www.inspiration.news/en/2016/09/16/netherlands-plastic-roads-to-be-made-from-recycled-ocean-waste/>
17. PlasticRoad smart sustainable infra solutions. URL : <https://plasticroad.com/en/>
18. Balashova Yuliia, Demianenko Viktor, Sankov Petro, Lukianenko Vladislav, Youb Khadija. New construction solutions and materials for panels of road pavements. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2678. Pp. 020001. 2023. DOI: 10.1063/5.0118620. URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0118620>
19. SOLIDWORKS. URL: <https://www.solidworks.com/community>

## REFERENCES

1. The Break Free from Plastic Pollution Act. URL: <https://www.beyondplastics.org/bffppa>
2. The Ocean Cleanup. URL: <https://theoceancleanup.com/>
3. Borrelle S.B., Ringma J., Law K.L., Monnahan C.C., Lebreton L., McGivern A., Murphy E., Jambeck J., Leonard G.H., Hilleary M.A., Eriksen M., Possingham H.P., De Frond H., Gerber L.R., Polidoro B., Tahir A., Bernard M., Mallos N., Barnes M. and Rochman C.M. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*. 2020, Sep. 18, vol. 369 (6510), pp. 1515–1518. doi: 10.1126/science.aba3656. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32943526/>
4. Giustozzi Filippo and Nizamuddin Sabzoi. Plastic Waste for Sustainable Asphalt Roads. eBook ISBN: 9780323909303; Paperback ISBN: 9780323857895; January 13, 2022. URL: <https://www.elsevier.com/books/plastic-waste-for-sustainable-asphalt-roads/giustozzi/978-0-323-85789-5>
5. PlasticRoad: Solution to the plastic waste problem. 2022. URL: <https://www.startupselfie.net/2022/05/11/plasticroad-solution-to-plastic-waste-problem/>
6. Using waste plastic to build more sustainable roads. 2022. URL: <https://www.lgcplus.com/services/environment/using-waste-plastic-to-build-more-sustainable-roads-24-03-2022/>
7. LTA testing out new road mix incorporated with plastic waste at PIE & West Coast Highway. 2023. URL: <https://mothership.sg/2023/02/lta-upcycling-plastic-waste-roads/>
8. The Partners for Advanced Transportation Technology (PATH). URL: <https://path.berkeley.edu/>
9. Plastic-eating Enzyme Could Eliminate Billions of Tons of Landfill Waste. URL: <https://news.utexas.edu/2022/04/27/plastic-eating-enzyme-could-eliminate-billions-of-tons-of-landfill-waste/>
10. New technology turns a liability into an asset. URL: <https://www.sydney.edu.au/research/research-impact/a-new-plastic-recycling-technology-converts-liability-into-asset.html>
11. CSIR-NPL. Develops Technology to Convert Plastic Waste into Tiles. URL: [https://www.csir.res.in/sites/default/files/csirnews\\_sep16.pdf](https://www.csir.res.in/sites/default/files/csirnews_sep16.pdf)
12. Vasudevan R., Nigam S.K., Velkennedy R., Ramalinga Chandra Sekar A. and Sundarakannan B. Utilization of waste plastics for flexible pavement. *Indian High Ways (Indian Road Congress)*. Vol. 34, no. 7, pp. 105–111. (July 2006). URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.555.1740&rep=rep1&type=pdf>
13. Rajasekaran S., Dr. Vasudevan R. and Dr. Paulraj Samuvel. Reuse of Waste Plastics Coated Aggregates-Bitumen Mix Composite for Road Application – Green Method (*American Journal of Engineering Research (AJER)*). e-ISSN: 2320-0847, p-ISSN: 2320-0936. Vol. 02, iss. 11, pp. 01–13, 2013. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.683.7359&rep=rep1&type=pdf>
14. Toby McCartney, CEO of the Plastic Road Company. URL: <https://environmentjournal.online/articles/interview-toby-mccartney-ceo-of-the-plastic-road-company/>
15. New York Gets. Its First Plastic Roads. Via UK's MacRebur. 2022. URL: <https://www.forbes.com/sites/jeffkart/2022/12/15/new-york-gets-its-first-plastic-roads-via-uks-macrebur/?sh=471fbfaa422e>
16. Netherlands: Plastic roads to be made from recycled ocean waste. URL: <http://www.inspiration.news/en/2016/09/16/netherlands-plastic-roads-to-be-made-from-recycled-ocean-waste/>
17. PlasticRoad smart sustainable infra solutions. URL : <https://plasticroad.com/en/>
18. Balashova Yuliia, Demianenko Viktor, Sankov Petro, Lukianenko Vladislav and Youb Khadija. New construction solutions and materials for panels of road pavements. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2678, pp. 020001, 2023. DOI: 10.1063/5.0118620. URL: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0118620>
19. SOLIDWORKS. URL: <https://www.solidworks.com/community>

Надійшла до редакції: 03.03.2023.