

**Фомін О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Козинка О.С.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Фоміна А.М.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**Лісничий В.С.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## ЗАСТОСУВАННЯ М'ЯКИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ НЕСІВНИХ СКЛАДОВИХ РУХОМОГО СКЛАДУ

*В роботі досліджено застосування м'яких полімерних покриттів для несівних складових рухомого складу. Полімери – це великі молекули, що складаються з одиниць, що повторюються, які можуть бути оброблені і перетворені на різні форми і конструкції. У полімерному машинобудуванні використовуються різні технології та матеріали, які дозволяють створювати продукти з різноманітними властивостями та функціональністю. В статті розглянуто застосування каучуку (виробництво гуми), полімерні покриття, полімерні антифрикційні покриття, переваги та недоліки полімерних покриттів та його нанесення, переваги та виклики полімерного машинобудування, а також його перспективи. У полімерному машинобудуванні використовуються різні полімерні матеріали, такі як пластмаси, гуми, композити та інші. Ці матеріали мають різні властивості, такі як міцність, гнучкість, стійкість до хімічних впливів і тепла, що робить їх ідеальними для використання в різних галузях промисловості. Роблячи огляд полімерів і пластмаси, можна сказати, що їм властива загальна наявність якісних характеристик. Обидва з'єднання експлуатуються в різних галузях людської діяльності, наприклад, при виробництві машин, в сільсько-господарських цілях, в медицині, при виготовленні літаків, в суднобудуванні тощо. Повсякденна обстановка людини не може обійтися без цих речовин. Завдяки сполукам високомолекулярного типу, можливе виробництво різних волокон, гуми і, власне, пластмаси. Розглянули власні коливальні процеси, що протікають у різних технічних пристроях, мають величезний, часто навіть вирішальний вплив на умови експлуатації цих об'єктів, їхню міцність і довговічність. При конструюванні механічного об'єкта важливо розуміти, наскільки далеко чи близько від резонансних будуть його експлуатаційні режими.*

**Ключові слова:** корозія, полімерні покриття, каучук, антифрикційні покриття, власні коливання, рухомий склад.

**Постановка проблеми.** Будівництво та подальша експлуатація залізниць передбачає використання великої кількості металоконструкцій різних типів. Більшість з них знаходяться просто під відкритим небом, а значить, потребують посиленого захисту від корозії. Обробка сучасними антикорозійними засобами необхідна, зокрема, для наступних елементів: металевих частин вокзалів та інших будівель; рейок, кріплень та іншого колійного обладнання; рухомого складу – локомотивів, вагонів, платформ, цистерн; мости та інші компоненти залізничної інфраструктури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На промислових підприємствах ланцюгові полімери почали виготовляти на початку 20-го століття.

З моменту зародження галузі з їх виробництва шляхи утворення з'єднань розділилися на дві гілки. Перша займалася переробкою полімерів, органічної та природної форми. З їх допомогою створювалися штучні види. Процес синтезу, як правило, проходить за участю низькомолекулярного ряду з'єднань.

В вагонобудуванні та автомобільній промисловості полімерне машинобудування використовується для створення різних деталей та компонентів, таких як панелі приладів, бампери, кермові колонки та інші. Полімерні матеріали мають легкість, міцність і хорошу стійкість до корозії, що робить їх ідеальним вибором для автомобільних додатків.

**Постановка завдання.** Метою роботи є застосування м'яких полімерних покриттів для несівних складових рухомого складу. Для досягнення поставленої мети, поставлені та вирішені наступні завдання:

- визначення особливостей застосування каучуку (виробництво гуми) для покриттів;
- розгляд властивостей поширених полімерних покриттів;
- визначення особливостей застосування полімерних антифрикційних покриттів;
- аналіз переваг та недоліків полімерних покриттів та їх нанесення;
- визначення особливостей застосування захисного епоксидного покриття для металу;
- модальний аналіз несівної металевої деталі рухомого складу з гумовим покриттям.

**Виклад основного матеріалу.** Каучуки – це натуральні або синтетичні високомолекулярні матеріали (еластомери). Полімери, що володіють високими еластичними властивостями у процесі експлуатації. Каучуки можуть розтягуватися до розмірів, що багаторазово перевищують їхню початкову довжину [1, с. 246]. Каучуки еластичні та водонепроникні. Вони не проводять електричний струм, що дозволяє застосовувати їх як ізолюючі матеріали. Вони не розчиняються у воді, добре розчиняються в бензині, бензолі, ефірі та інших легких рідинах. З них отримують гуми та ебоніти.

Вони поділяються на матеріали загального та спеціального призначення. До полімерів із групи загального призначення відносяться зразки з високими міцнісними та еластичними характеристиками, так би мовити, зі стандартними властивостями та застосовуються вони стандартних умов. Матеріали ж із специфічними властивостями, мають не тільки гарну еластичність та міцність, а й стійкість, здатні працювати при дії екстремальних температур, агресивних хімічних факторів тощо [1, с. 253; 7, с. 46].

Найширше застосування, яке виявили, що натуральний, що штучний каучук – це виробництво гуми. І не тільки гуми, а гуми з певними властивостями. Одержувана з каучуку гума, включає певні добавки. Вона стійкіша до зовнішніх факторів, еластична. Гума застосовується у всіх галузях у машинобудуванні, у хімічній промисловості, важкій промисловості, сільському господарстві, у виробництві одягу та взуття, в автомобілі та авіабудуванні тощо [2, с. 257; 3, с. 438]. Її застосовують для виробництва покришок та камер для будь-якої техніки, що працює на колісному ході.

Полімерні покриття призначені для обробки металевих поверхонь з метою захисту від корозії та надання декоративного зовнішнього вигляду. Розглянемо самі поширені полімерні покриття, такі як поліестер, та полівінілденфторид (ПВДФ) [4, с. 204; 6, с. 343].

Поліестер (поліефір) найбільш популярний полімер, який використовується як покриття. Він характеризується високою стійкістю до УФ-випромінювання, відмінними антикорозійними властивостями, еластичністю (легко формується).

Полівінілденфторид (ПВДФ) застосовується для захисту металів не набагато рідше, ніж поліестер. Цей полімер складається з полівінілхлориду (80%) та акрилу (20%). Полівінілденфторид стійкий до механічного впливу і має найбільший термін служби серед усіх полімерів. ПВДФ використовується для обробки металевих поверхонь, які експлуатуються під впливом агресивного довкілля.

Особливим різновидом полімерних захисних матеріалів є антифрикційні твердозмащувальні покриття. Зовні вони схожі на фарби, проте пігмент у їхньому складі замінюють високодисперсні частинки твердих мастил: дисульфиду молібдену, графіту, політетрафторетилену та ін [5, с. 617; 9, с. 83]. Тверді мастила рівномірно розподілені в полімерному сполучному: епоксидної, титанатової, поліуретанової, акрилової, фенольної та інших смолах.

Затребуваність антифрикційних твердозмащувальних покриттів обумовлена їх відмінними робочими характеристиками: високою несучою здатністю, широким діапазоном експлуатаційних температур, протизадирними та антикорозійними властивостями [8, с. 219].

До переваг полімерів можна віднести: непроникність, відносну термостійкість, електроізоляційні властивості, стійкість до води, екологічність, високу адгезію.

Однак, поряд з позитивними сторонами полімерні покриття не позбавлені недоліків. Головний з них – висока вартість нанесення, що складається з вартості самого полімеру, допоміжних (грунтувальних) матеріалів, спеціального обладнання та ін. Ще одним мінусом полімерних покриттів є складність їхнього видалення. Вони досить стійкі до хімікатів, тому розчинником видалити полімерний шар не вийде. Зняти покриття можна лише за допомогою спеціального інструменту. Істотний недолік полімерів – неможливість їх нанесення без спеціальних інструментів, які

мають тільки промислові підприємства або вузькі фахівці. Крім того, полімерними сумішами можна покривати не всі метали, а тільки ті, які проводять електричний струм. Це з особливим способом нанесення полімерів – шляхом магнітної індукції.

Епоксидна емаль користується найбільшим попитом серед інших різновидів емалевих фарб. На високий попит на емаль, виготовлену на основі епоксидної смоли, великий вплив зробили її переваги:

- епоксидне лакофарбове покриття створює надійний захист від різних кислот, газів та лужних розчинів, залишаючись у вигляді плівки на фарбованій поверхні;

- високий рівень адгезії забезпечує надійне, рівномірне покриття робочих поверхонь з будь-яких матеріалів та щільне зчеплення з ними;

- епоксидна емаль не зазнає негативного впливу будь-яких видів розчинників та інших продуктів нафтової промисловості. Тому вона широко використовується у автомобілебудуванні;

- після фарбування епоксидною емаллю будь-яка поверхня стає захищеною від іржі, хвороботворних грибків та бактерій, а також негативного впливу води;

- епоксидну емаль у більшості випадків допускається наносити навіть в один шар. Цього цілком достатньо для всебічного захисту виробу;

- фарбування будь-яких поверхонь епоксидною емаллю дозволяє суттєво продовжити термін їхньої служби.

Розглянемо та проаналізуємо модальний аналіз несівної металевої деталі рухомого складу з гумовим покриттям. Модальний аналіз використовується для обчислення власних частот та форм коливань моделі.

Розглянемо власну частоту коливань металевої деталі на прикладі шпонки з гумовим покриттям. Створюємо 3D-модель в SolidWorks металевої шпонки з гумовим покриттям (рис. 1).

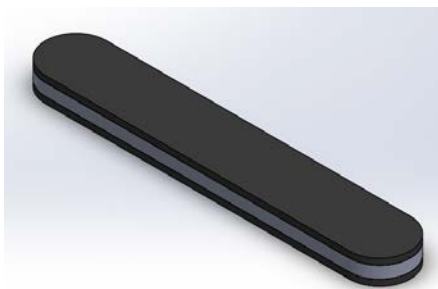


Рис. 1. Металева шпонка з гумовим покриттям

Створюємо повне закріплення знизу, шпонкової деталі з гумовим покриттям (рис. 2).

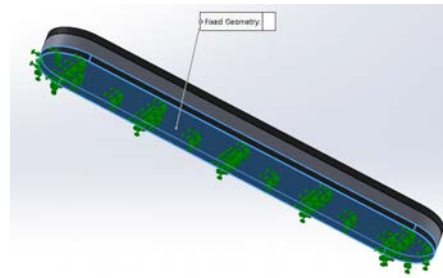


Рис. 2. Закріплення моделі

Побудуємо кінцево-елементну сітку з параметрами за замовчуванням (рис. 3).

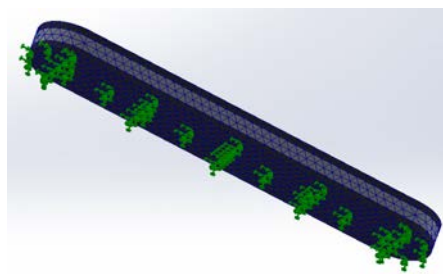


Рис. 3. 3D-модель з накладеною кінцево-елементною сіткою

Форма коливань показує, які відносні деформації (переміщення) випробовуватиме конструкція у разі виникнення резонансу на відповідній частоті. Форми коливань, відображаються у вікні постпроцесора після завершення розрахунку, являють собою відносні амплітуди коливань. Аналізуючи ці форми, можна зробити висновок про характер резонансних переміщень, але не про їхню фактичну амплітуду. Знаючи очікувану форму коливань на деякій власній частоті, наприклад, можна задати додаткове закріплення або опору в області конструкції, що відповідає максимуму даної форми коливань, що призведе до ефективної зміни спектральних властивостей виробу.

На (рис. 4) наведено візуалізацію результатів для перших чотирьох власних розрахованих власних частот шпоночної деталі.

На (рис. 5) бачимо масову участь коливань, яка повідомляє, які режими найбільш небезпечні і скільки частот необхідно, щоб точно захопити весь динамічний відгук конструкції (власна частота).

На (рис. 5) в таблиці ми бачимо, що серед усіх напрямків небезпечними є вздовж осі X, 3-я мода, сумарна ефективна маса – 0,97882 з частотою 7, 2172 Гц (рис. 6). Вздовж осі Y, 6-та мода, сумарна ефективна маса – 0,975 з частотою 22, 362 Гц. Вздовж осі Z, 1-ша мода, сумарна ефективна маса – 0,97265 з частотою 7, 0475 Гц.

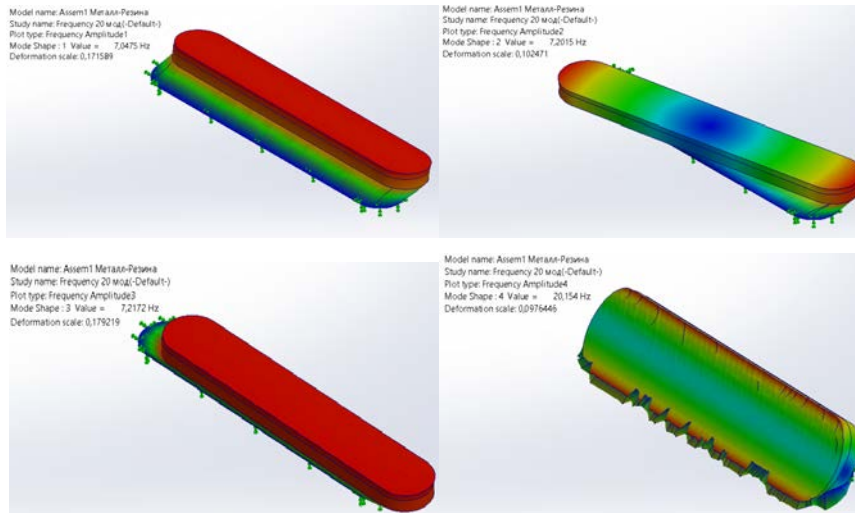


Рис. 4. Частоти та форми коливань шпонки

Частотні дослідження можуть допомогти уникнути резонансу та при проектуванні систем віброізоляції. Вони також формують базу для оцінки реакції лінійних динамічних систем, у яких реакція системи на динамічне середовище приймається рівною сумою вкладів мод, що враховуються в аналізі.

**Висновки.** 1. Полімерні матеріали мають низьку щільність, що робить їх легкими і зручними для використання. У той же час, вони мають високу міцність і стійкість до різних впливів, таких як удари, вібрації та корозія. Це дозволяє створювати міцні та довговічні вироби за мінімальної ваги. Крім того, полімерні матеріали мають довговічність і стійкість до зовнішніх впливів, що збільшує їх термін служби і знижує витрати на обслуговування та ремонт.

Mode No.	Freq (Hertz)	X direction	Y direction	Z direction
1	7,0475	3,70E-06	2,12E-07	0,97265
2	7,2015	0,00027371	1,64E-08	7,51E-08
3	7,2172	0,97882	1,49E-09	3,75E-06
4	20,154	1,50E-08	9,96E-07	0,0066285
5	22,011	0,00013563	0,00011489	1,37E-07
6	22,362	2,84E-08	0,975	2,96E-07
7	45,439	6,08E-10	6,05E-09	6,97E-09
8	45,499	2,21E-09	4,63E-09	4,77E-10
9	45,605	4,65E-09	4,52E-09	2,83E-10
10	45,811	1,11E-11	3,02E-08	4,64E-12
11	45,865	1,35E-07	7,47E-07	7,41E-10
12	45,987	5,88E-08	5,10E-11	1,94E-08
13	46,051	1,97E-06	3,25E-08	1,98E-09
14	46,19	1,02E-08	6,43E-09	2,68E-08
15	46,234	3,49E-08	1,29E-07	2,49E-09
16	46,465	4,84E-08	1,37E-07	2,85E-07
17	46,594	2,38E-07	8,48E-08	1,70E-06
18	46,664	3,08E-07	4,43E-09	4,31E-06
19	46,801	3,10E-08	2,02E-08	4,10E-06
20	46,914	1,94E-09	7,89E-08	4,37E-06
		Sum X = 0,97924	Sum Y = 0,97511	Sum Z = 0,9793

Рис. 5. Масова участь коливань

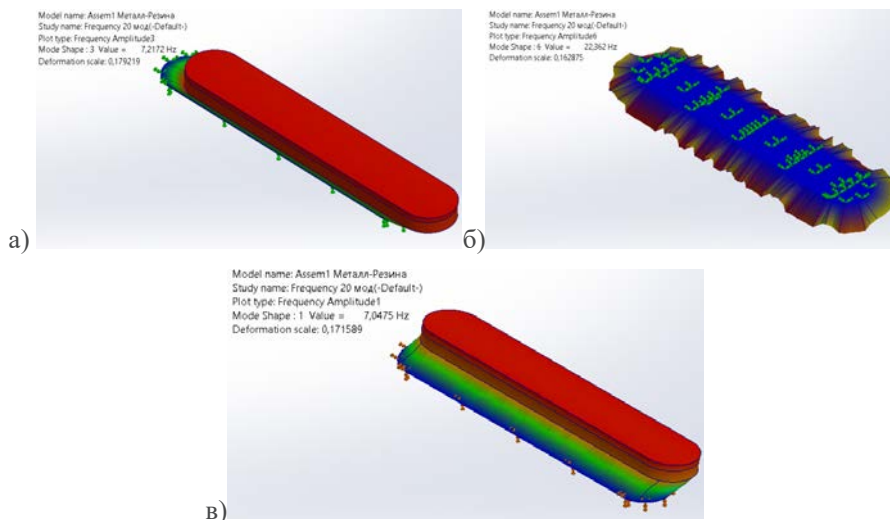


Рис. 6. Небезпечні коливання а) вздовж осі X в третій моді; б) вздовж осі Y, шоста мода; в) вздовж осі Z, перша мода



2. Особливим різновидом полімерних матеріалів є антифрикційні покриття, які не тільки перешкоджають зношуванню деталей, але і виконують функцію змащення. На відміну від звичайних полімерних покриттів, антифрикційні витримують тривалий вплив хімічно-агресивних середовищ та екстремальних навантажень. При цьому вони виконують не тільки захисну, але і функцію мастила, чим також віграють у полімерів.

3. Вільні коливання у чистому вигляді зустрічаються в механічних системах не надто часто. Проте їх вивчення дуже важливе, оскільки саме характеристики вільних коливань, такі як власні частоти та відповідні їм власні форми, повністю визначають індивідуальні фізичні та динамічні властивості механічної системи та мають найважливіше значення при аналізі вимурених коливань.

#### Список літератури:

1. Мелехов Р.К. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. Властивості, деградація // Мелехов Р.К., Похмурський В.І. – Київ, вид-во «Наукова думка», 2003. – 374 с.
2. Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж / Матеріали наук.-практ. конф. (м.Донецьк, 9-12 червня 2003 р.) – Донецьк: УАМК, 2003. – 247 с.
3. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / 36. наук, статей // Наук, керівник акад. Б.С. Патон. – Київ: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. – 589 с.
4. H. Mahmoodi Khaha, O. Soleimani, Properties and Applications of Polymers: A Mini Review. J. Chem. Rev., 2023, 5(2), 204-220. <https://doi.org/10.22034/jcr.2023.383915.1213>
5. Пермяков В.О. Металеві конструкції. / Пермяков В.О., Нілов О.О., Шимановський О.В., Белов І.Д. та ін. // За заг. ред. В.О. Пермякова та О.В. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – 812 с.
6. Кузьменко М. Я., Бурмістр М. В., Кобельчук Ю. М. Технологія виробництва та перероблення високомолекулярних сполук: підручник. Кн. 2. Синтетичні смоли та полімери (синтез, властивості, застосування). Дніпропетровськ : ДВНЗ «Укр. держ. хім.-технол. ун-т», 2015. 489 с.
7. Тимофєєва Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 1. 67 с.
8. Сосунов Н. Н. Підвищення ефективності процесів експлуатації та технічного обслуговування рухомого складу у системі ремонтних підприємств галузі. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганск, 2006. С. 219–223.
9. Коновал В. П. Стійкість до високотемпературного окислення композиційних матеріалів та покриттів на основі диборидатитану-хрому / Коновал В. П. // Доповіді НАН України. – 2015. – № 5. – С. 83–89.

#### Fomin O.V., Kozynka O.S., Fomina A.M., Lisnychy V.S. APPLICATION OF SOFT POLYMER COATINGS FOR LOAD-BEARING COMPONENTS OF ROLLING STOCK

*The study investigates the application of soft polymer coatings for load-bearing components of rolling stock. Mechanical engineering is one of the key industries, and selecting the right material is essential for creating quality and reliable products. Various metals such as steel, aluminum, copper, iron, and titanium are widely used in mechanical engineering. Each has its unique properties that make it suitable for specific operating conditions. In polymer engineering, various technologies and materials are used to create products with diverse properties and functionalities. Polymers are large molecules made up of repeating units that can be processed and transformed into different shapes and structures. The article examines the application of rubber (rubber production), polymer coatings, polymer anti-friction coatings, the advantages and disadvantages of polymer coatings and their application, the benefits and challenges of polymer engineering, and its prospects. Various polymer materials, such as plastics, rubbers, composites, and others, are used in polymer engineering. These materials have different properties, such as strength, flexibility, resistance to chemical impacts and heat, making them ideal for use in various industrial sectors. Reviewing polymers and plastics, it can be said that they have general high-quality characteristics. Both compounds are used in different fields of human activity, for example, in machine production, agricultural purposes, medicine, aircraft manufacturing, shipbuilding, and more. Everyday human life cannot do without these substances. High-molecular compounds enable the production of various fibers, rubber, and plastics. We considered the intrinsic oscillatory processes occurring in various technical devices, which have a significant, often decisive impact on the operating conditions of these objects, their strength, and durability. When designing a mechanical object, it is important to understand how far or close to resonance its operating modes will be.*

**Key words:** corrosion, polymer coatings, rubber, anti-friction coatings, intrinsic oscillations, rolling stock.