Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження сфери застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» у відповідності до вимог інтероперабельності
за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: 8-Інтер

(підпис студента) / Ольга ДАЦЮК /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: (підпис) / к.т.н, доцент Андрій МІЛЯНИЧ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер: (підпис) / зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (підпис)

Дніпро – 2024 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Building, architecture and infrastructure
(faculty/TRC)

Transport infrastructure
(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis
Master
(higher education degree)

on the topic: Study of the scope of application of composite materials in the design of freight wagons of JSC «Ukrzaliznytsia» in accordance with the requirements of interoperability

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport

in the Specialization: 273 Rail transport
(Specialization and its code)

Done by the student of the group: 8-Inter / Olga DATSYUK /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / ph.d., assoc. prof. Andriy MILYANYCH/
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
Кафедра: «Транспортна інфраструктура»
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«Транспортна інфраструктура»

_____ Олексій ТЮТЬКІН
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

Дата 22.04.2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

студенту Дацюк Ользі Олександрівні
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження сфери застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» у відповідності до вимог інтероперабельності»

Керівник роботи: Міляніч Андрій Романович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «26» квітня 2023 р. № 360ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Дослідження сфери застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» у відповідності до вимог інтероперабельності

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
Вступ. Розділ 1. Аналіз сучасний стан парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця». Розділ 2. Композитні матеріали – матеріали майбутнього. Розділ 3. Застосування композитних матеріалів у вагонобудуванні. 4. Кроки, які необхідні пройти українським вагонобудівникам для виготовлення інноваційних вагонів з композитних матеріалів. 5. Проектування структури та властивостей композитного матеріалу. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 16 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз сучасний стан парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця».	30.09.2023-15.11.2023	
2	Розділ 2. Композитні матеріали – матеріали майбутнього.	15.11.2023-30.11.2023	
3	Розділ 3. Застосування композитних матеріалів у вагонобудуванні.	30.11.2023-13.12.2023	
4	Розділ 4. Кроки, які необхідні пройти українським вагонобудівникам для виготовлення інноваційних вагонів з композитних матеріалів.	13.12.2023-03.01.2024	
5	Розділ 5. Проектування структури та властивостей композитного матеріалу.	01.01.2024-03.01.2024	
6	Висновки. Оформлення ВКР.	03.01.2024-08.01.2024	
7	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024-14.01.2024	
8	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
9	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент _____ (підпис) Ольга ДАЦЮК (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____ (підпис) Андрій МІЛЯНИЧ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

98 стор., 36 рис., 4 табл., 132 літературних джерел.

Об’єкт дослідження – в даній роботі є вантажний рухомий склад, який застосовується на українських залізницях, Європі та ін.

Мета роботи – дослідження можливості створення вагонів нового покоління для українських залізниць та удосконалення наявного вантажного парку за рахунок застосування композитних матеріалів для підвищення ефективності вантажних перевезень як у внутрішньому, так і міжнародному сполученні.

Метод дослідження – аналіз, синтез, дедукція, індукція та моделювання.

Автором роботи виконано проведений аналіз сучасного стану парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» та визначені його проблеми, досліджено композитні матеріали – як матеріали майбутнього у машинобудуванні, розглянута можливість застосування композитних матеріалів у вагонобудуванні, проаналізовані теоретичні дослідження з використання композитних матеріалів у конструкції європейських вантажних вагонів, вимоги європейських норм щодо композитних матеріалів та елементів конструкції вантажних вагонів, виготовлених з них, використання композитних матеріалів у конструкції вагонів залізниць США та Росії, визначені кроки, які необхідні пройти українським вагонобудівникам для виготовлення інноваційних вагонів з композитних матеріалів та проведено проектування структури та властивостей композитного матеріалу.

Ключові слова: ВАНТАЖНИЙ ВАГОН, ВАНТАЖНИЙ ПАРК, НЕСПРАВНІСТЬ, КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, МАТРИЦЯ, ВОЛОКНА, ВИМОГИ.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПАРКУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» 11
1.1 Парк вантажних вагонів українських залізниць……..….11
1.2 Несправності вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» за останні п’ять років……14
1.3 Виробництво вагонів нового покоління в Україні з поліпшеними експлуатаційними характеристиками 16
2 КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ – МАТЕРІАЛИ МАЙБУТНЬОГО. 21
2.1 Загальні відомості про композитні матеріали 21
2.2.1 Класифікація композитних матеріалів 21
2.2.1.1 Класифікація композитних матеріалів за матеріалом та природою матриці 22
2.2.1.2 Класифікація композитних матеріалів за геометрією армуючих елементів 23
2.2.1.3 Класифікація композитних матеріалів за структурою та розташуванням компонентів 23
2.2.1.4 Класифікація матричних композитних матеріалів за схемою армування та анізотропією матеріалу 24
2.2.1.5 Класифікація композитних матеріалів за методами отримання 24
2.2.1.6 Класифікація композитних матеріалів за природою наповнювача 25
2.2.1.7 Класифікація композитних матеріалів за кількістю компонентів 25
2.2.1.8 Класифікація композитних матеріалів за обсягом вмісту наповнювача. 25
2.2.1.9 Класифікація композитних матеріалів за функціональністю 25
2.3 Методи виробництва деталей із композитних матеріалів 26
2.3.1 Контактний метод формування виробів 27
2.3.2 Метод формування виробів з використанням еластичної діафрагми 28
2.3.3 Метод формування виробів на матриці 30
2.3.4 Метод намотування 30

2.3.5 Метод пневмовакуумного формуванням 31
2.3.6 Метод реакційного формування (rim) 31
2.3.7 Метод ротаційного формування 32
2.3.8 Лиття без тиску (хімічне формування) 33
2.3.9 Метод виготовлення композитних матеріалів пултрузією 35
2.4 Загальні переваги та недоліки застосування композитних матеріалів 37
2.5 Модифікація композитних матеріалів 43
3 ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВАГОНОБУДУВАННІ 49
3.1 Можливі варіанти застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів 49
3.2 Європейська програма з впровадження композитних матеріалів у конструкції вагонів країн Європи – Hycotrans 57
3.3 Теоретичні та практичні дослідження з використання композитних матеріалів у конструкції європейських вантажних вагонів 59
3.4 Вимоги європейських норм щодо композитних матеріалів та елементів конструкції вантажних вагонів, виготовлених з них 63
3.5 Використання композитних матеріалів у конструкції вагонів залізниць США 65
3.6 Застосовування композитних матеріалів у вагонобудуванні Росії 70
4 КРОКИ, ЯКІ НЕОБХІДНІ ПРОЙТИ УКРАЇНСЬКИМ ВАГОНОБУДІВНИКАМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ВАГОНІВ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ 76
4.1 Загальні заходи з розвитку вагонобудування в Україні 76
4.2 Заходи, які необхідні для виготовлення вантажних вагонів з композитних матеріалів 78
5 ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ 81
ВИСНОВКИ 85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 87

ВСТУП

Постійні зміни в світі, такі як глобальні економічні кризи, світова пандемія коронавірусу, війни і відповідні обмеження та збитки, які вони собою несуть, вимагають змін в достатньо консервативній сфері – залізничному транспорті. Ці зміни, насамперед, передбачають впровадження різних інновацій, які повинні зачіпати як інфраструктуру, так і рухомий склад. Інноваційний рухомий склад за своїми техніко-економічними показниками значно перевершує існуючий, а у його конструкції реалізовуються останні досягнення в галузі науки та техніки [1, 2].

Аналіз експлуатаційної надійності вантажних вагонів і прийняті з його урахуванням рішення технічного та технологічного характеру при розробці та подальшій експлуатації рухомого складу нового покоління дозволять реалізувати високі техніко-економічні показники вагонного парку, що відповідатимуть вимогам всіх учасників перевізного процесу – вантажовідправників, власників транспортних засобів і АТ «УЗ» як власника інфраструктури та організатора перевізного процесу.

У «Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року» до основних напрямів інноваційної діяльності віднесені:

- збільшення перевезень контейнерів та інших вантажів через територію України, зокрема в рамках розвитку транспортних маршрутів: країни ЄС – Китай („Новий Шовковий шлях”), країни ЄС – Іран, Індія, країни ЄС – Туреччина та інші (не менше 1 млн. TEU в 2025 році та 2 млн. TEU в 2030 році);

- розвиток мультимодальних перевезень;

- забезпечення інтероперабельної (експлуатаційної сумісності) національної транспортної системи з мультимодальною світовою транспортною мережею, у тому числі залізничною мережею колії шириною 1435 міліметрів;

- стимулювання оновлення тягового та іншого рухомого складу;

- забезпечення комплексного інноваційного розвитку транспорту:

- модернізація вагонів і поліпшення їх техніко-економічних характеристик:

- збільшення швидкостей руху і навантаження на вісь;

- зниження маси тари вантажного вагона;

- використання високотехнологічного рухомого складу.

Стосовно світових тенденцій щодо інноваційного розвитку залізничного транспорту слід виділити такі напрямки:

- використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів;

- застосування супутникової навігації, принципів мультимодальності, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу;

- широка контейнеризація перевезень, інтероперабельність транспортних систем у складі ланцюгів поставок;

- пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища;

- своєчасна та прискорена доставка вантажів за рахунок швидкісних видів транспорту та розвитку логістики;

- застосування композитних матеріалів, зниження металоємності, покращення аеродинаміки та безпечності транспортних засобів, тощо [3].

З вищенаведеного видно, що стратегія розвитку залізничного транспорту України та світові тенденції частково збігаються, а на перший план виходить застосування інновацій та рухомого складу нового покоління.

При цьому на сьогодні сучасний стан залізничної галузі України не повною мірою відповідає вимогам ефективної реалізації євроінтеграційного курсу та інтеграції національної транспортної мережі в європейську транспортну мережу. Однією з найголовніших причин критичного рівня розвитку залізничної галузі стало постійне недофінансування, неякісне технічне обслуговування інфраструктури та рухомого складу, низький рівень поповнення парку вантажних вагонів, а також технічна відсталість.

В таких умовах необхідним є впровадження інноваційних рішень, зокрема, застосування сучасних матеріалів при виготовленні рухомого складу, що володіють широким набором експлуатаційних властивостей, які не можуть механічно бути досягнуті при використанні традиційних матеріалів. Такими матеріалами можуть бути композити.

Композитні матеріали завдяки своїм унікальним властивостям знаходять все більш широке застосування в різних областях техніки, і все більше – в

залізничному транспорті. Велику групу композитних матеріалів складають композити з полімерної матрицею, армованої скляними, базальтовими та вуглецевими волокнами. Полімерні композиційні матеріали мають високі функціональні можливості та забезпечують зниження маси виробу одночасно з підвищенням надійності, стійкості до втоми, збільшенням ресурсу роботи та можливістю експлуатації в складних умовах [4]. Це далеко не повний перелік переваг у застосуванні композитних матеріалів. Більш детально їх буде розглядати у подальшому.

Проте тут слід пам’ятати, що створення вагонів із застосуванням композитних матеріалів вимагає розробки конструкторської та нормативно-технічної документації у вигляді відповідних міждержавних стандартів і норм проектування. При цьому велике розмаїтість композитів за властивостями, структурою, областям застосування, технологією виготовлення та іншим параметрам ускладнює розробку методики проектування цих матеріалів. Враховуючи, що багато технічних рішень і інноваційні матеріали будуть застосовуватися вперше, для виготовлення рухомого складу нового покоління вже сьогодні необхідне проведення відповідних науково-дослідних робіт, випробувань і розрахунків.

В зв’язку з вищевикладеним, в роботі поставлена *мета* – дослідження можливості створення вагонів нового покоління для українських залізниць та удосконалення наявного вантажного парку за рахунок застосування композитних матеріалів для підвищення ефективності вантажних перевезень як у внутрішньому, так і міжнародному сполученні.

Об’єктом дослідження в даній роботі є вантажний рухомий склад, який застосовується на українських залізницях, Європі та ін.

Предметом дослідження являється ефективність застосування композитних матерів при виготовленні нових та модернізації вантажних вагонів для українських залізниць.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПАРКУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»

1.1 Парк вантажних вагонів українських залізниць

На сьогодні в Україні вантажних парк вагонів складає 110,5 тис., з них – 50 тис. піввагонів. Близько 90 тис. вагонів знаходиться в робочому парку, решта – не експлуатується, оскільки перебуває у запасі або в ремонті.

При наявному обсязі вантажних перевезень – приблизно 1 млн т на добу необхідно близько 145 тис. одиниць вантажних вагонів [5, 6].

У процентному розподілі склад вантажного парку АТ «Укрзалізниця» наступний: 66,05 % – піввагони, 12,18 % – цистерни, 11,62 % – криті, 8,05 % – платформи, інші – 2 % (рис. 1).

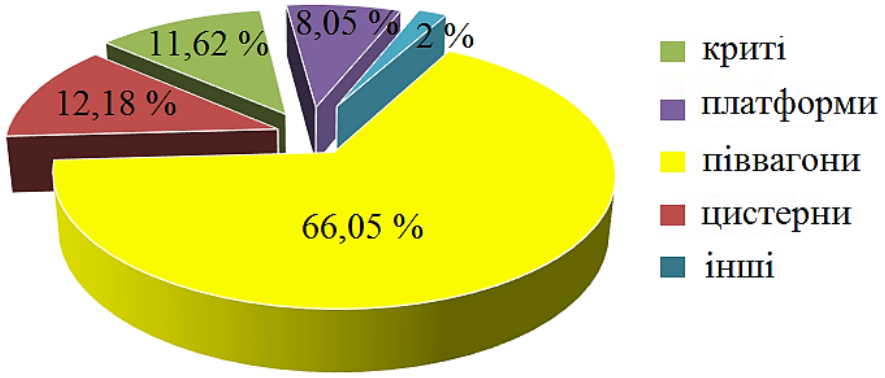

Рисунок 1 – Частка вантажних вагонів за типами від всього парку АТ «Укрзалізниці» [7]

Значна кількість вантажних вагонів, близького 86 % від загального парку, виготовлених з 1970 по 1990 роки, а середній знос парку становить приблизно 90,2 %, з них піввагонів – 89 %.

Так в 2015 року вийшов термін служби у шістнадцяти тисяч піввагонів, тисяча двісті зерновозів, у 2016 році – відповідно дев’ять з половиною тисяч піввагонів і однієї тисячі зерновозів, у 2017 році – близько десяти тисяч піввагонів і дві тисячі шістсот зерновозів.

Основним інструментом, який на сьогодні використовується для підтримки чисельності вагонного парку є продовження терміну експлуатації. Такий спосіб

був запропонований ще в 1980-х роках минулого століття.

На рис. 2, 3 наведемо загальну тенденцію скорочення парку вантажних вагонів в Україні до 2020 та середній вік піввагонів в Україні в порівняні з іншими країнами [5, 8].

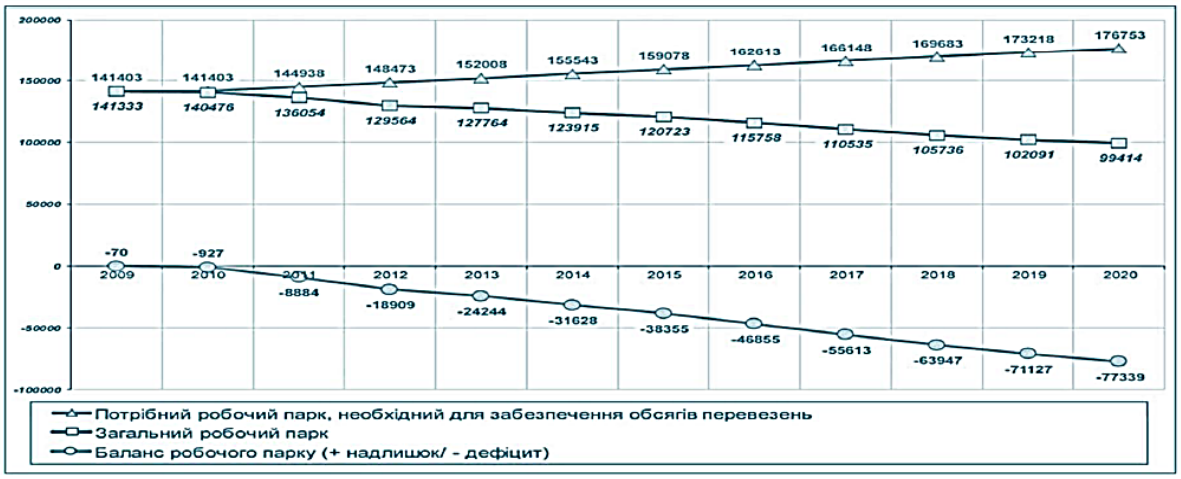

Рисунок 2 – Баланс робочого парку вантажних вагонів в період до 2020 року [5, 8]

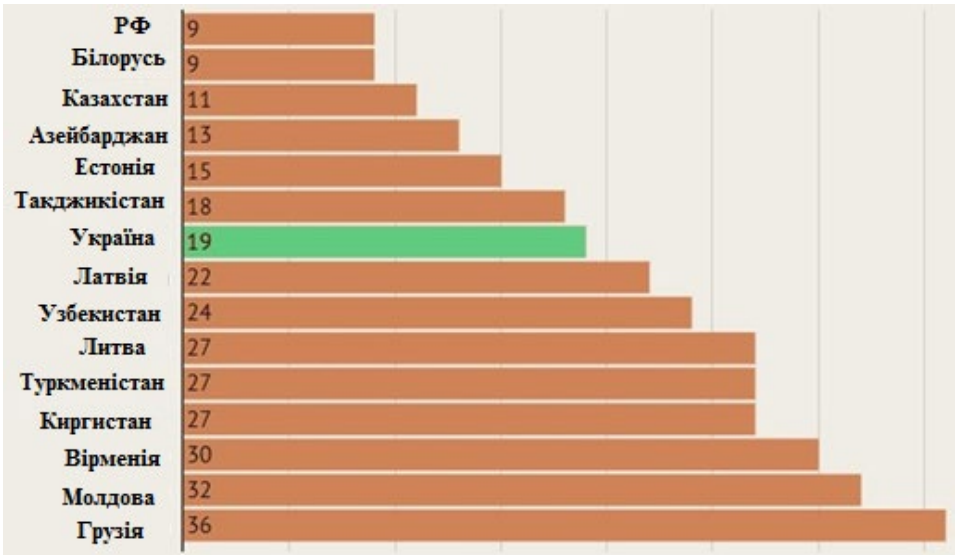

Рисунок 3 – Середній вік піввагонів різних країн [9]

Стосовно виготовлення нових вантажних вагонів, то як бачимо значене зростання відбулося в 2010 – 2012 роках, коли, за даними «Concorde Capital», Україна стала світовим лідером з експорту залізничних вагонів (рис. 4).

Проте поступово кількість виготовлених нових вантажних вагонів почала

падати. Причиною стало ввезення вагонів з Росії, де вони втратили ціну через обмеження терміну служби. На російських залізницях експлуатація подібної застарілої техніки не допускається, і власникам вагонів доводиться її списувати. В той же час в Україні списання мінімальні. Так, до прикладу, у 2020 р вивели з експлуатації близько 3,3 тис. вагонів, в 2019 ще менше – 562 одиниці. Хоча, за підрахунками аналітиків списанню за віком тільки в 2020 році підлягали понад 33 тис. вантажних вагонів. Така ситуація негативно позначився на замовлення нових вагонів в національних виробників [7].

Для захисту свого ринку вагонів в 2019 році урядом України було прийнято рішення про обмеження ввезення вагонів з Росії. Проте повністю вирішити проблему не вдалося, оскільки вантажний рухомий склад продовжили завозити з інших країн – Білорусі, країн Балтії. В середині 2020 року мораторій на імпорт вантажних вагонів посилили.

Рисунок 4 – Діаграма виготовлення вантажних вагонів в Україні з 2003 по 2022 роки [9]

Тут слід зазначити, що українські вагонобудівні заводи ніколи не були орієнтовані на місцевий ринок. Таким ринками, зазвичай, служили залізниці Казахстану та Росії. Удар по позиціям українських вагонобудівників на цих ринках завдало створення Митного союзу між Росією, Білоруссю та Казахстаном,

війна на Донбасі, коронакриза та нові потужності з будівництва вагонів в РФ.

Російські вагонобудівні підприємства до прикладу у 2021 році виготовили сімдесят дві тисячі вантажних вагонів, що стало рекордною кількістю. Так «Тихвинський вагонобудівний завод» у вересні виготовив 2,7 тис, а усі українські заводи за рік виготовили лише 2,6 тис. вагонів (рис. 4) [9].

Узагальнивши вищесказане, українські залізниці відчувають значний дефіцит вантажних вагонів, переважно піввагонів та зерновозів. Інтенсивна ж їхня експлуатація призводять постійних пошкоджень та, як наслідок, надходження у технічне обслуговування та ремонт.

1.2 Несправності вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» за останні п’ять років

Всі несправності вантажних вагонів можна звести в три групи: технологічні, експлуатаційні та пошкодження.

Технологічні несправності обумовлюються якістю виготовлення та виконанням планових (позапланових ремонтів) вантажних вагонів на вагоноремонтних, вагонобудівних заводах, депо, а також якістю проведення їхнього технічного обслуговування при підготовці до перевезень на пунктах технічного обслуговування;

Експлуатаційні несправності виникають внаслідок природнього зносу конструктивних елементів та деталей вагона в ході експлуатації або обумовлюються причинами, які не пов’язані з якістю виготовлення або ремонту вагона.

Пошкодження – це несправність, яка полягає у порушенні справного стану об’єкта (при збереженні його працездатності), що, зазвичай, зумовлюється порушенням встановлених правил і умов експлуатації вагона. Часто пошкодження виникають при здійсненні маневрових і вантажно-розвантажувальних операціях на під’їзних коліях промислових підприємств та коліях загального користування.

Відповідно кожній зафіксованій несправності вантажного вагона відповідно

до причини її виникнення відповідає номер, зазначений у класифікаторі основних несправностей вантажних вагонів [10].

На рис. 5 наведемо загальний розподіл несправностей вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» за 2016-2022 роки в залежності від причин їхнього виникнення.

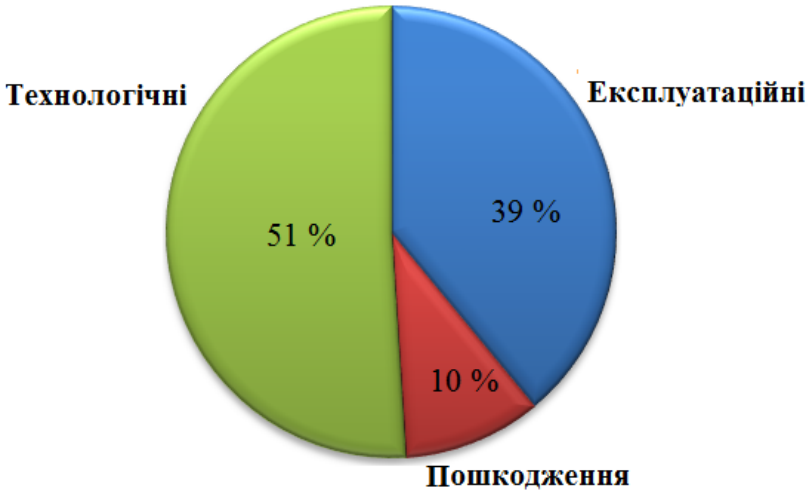

Рисунок 5 – Розподіл несправностей вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» за 2016-2022 роки в залежності від причин їхнього виникнення [11].

Розподіл несправностей за конструктивних елементах вантажних вагонів представимо на рис. 6.

Рисунок 6 – Пошкодження конструктивних елементів вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» за 2016-2022 роки [11]

З аналізу вищенаведених рисунків видно, що технологічний характер пошкоджень (рис. 6) конструктивних елементів вагонів – в основному кузовів та рам, становить більше ніж половину від усіх пошкоджень. Причинами цьому є вже згадана зношеністю рухомого складу та інфраструктури, низька якість ремонтів, технічного обслуговування та й недостатня кількість запчастин та матеріалів.

1.3 Виробництво вагонів нового покоління в Україні з поліпшеними експлуатаційними характеристиками

Як бачимо з попередніх розділів ситуація з виготовленням в Україні нових вагонів достатньо складна. Попиту на нову техніку немає з боку найбільшого в країні замовника такої продукції – АТ «Укрзалізниця». Компанія вже кілька років заявляє про готовність закупити вантажні вагони, але успіхів у цьому напрямку мало.

Незважаючи на це, в Україні роботи із проектування та створення вагонів нового покоління не припинилися. В основному це заслуга фахівців та науковців Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), Крюківського вагонобудівного заводу (КВБЗ), , Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ), Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України (ІЕ НАНУ) та Українського науково-дослідного інституту вагонобудування (УкрНДІВ) та ін.

Завдяки ним було проведено значну кількість як теоретичних, так і експериментальних робіт:

- досліджувалась значна кількості модифікацій закордонних і вітчизняних конструкцій вантажних вагонів;

- виконані розрахунки напружено-деформованого стану та ресурсу конструкцій основних конструктивних елементів вагонів, нормативних вимог

щодо нових конструкційних матеріалів, динаміки взаємодії рейкової колії та вагонів з новими перспективними параметрами візків;

- проведені дослідження механічних властивостей, мікро- і макроструктури листового металопрокату, режимів їх зварювання, а також показників міцності та холодостійкості зварних з'єднань із цих сталей, тощо [12].

В результаті вищенаведених робіт винайдені новаторські проектні рішення, конструкційні матеріали та технологічні процеси, які дали змогу виготовляти вагони нового покоління, що не поступаються світовим розробкам і створюють високу конкуренцію їм як на внутрішньому, так зовнішніх ринках.

Прикладом тут можуть служити піввагон моделі 12-7023-01 з візками 18-7020 (рис. 7), піввагон моделі 12-7039-01 з віками 18-7033 (рис. 8), що дозволяють перевозити вантажі з осьовим навантаженням 25 т, вагон-платформа моделі 13-7024 (рис. 9), яка використовується для перевезення великотоннажних контейнерів, цілий ряд бункерних вагонів для перевезення зерна, цементу і т.п. – моделей 19-7016, 19-7017 (рис. 10, 11), 19-7053-02 тощо.

Рисунок 7 – Піввагон моделі 12-7023-01 [13]

Рисунок 8 – Піввагон моделі 12-7039-01 [14]

Рисунок 9 – Вагон-платформа моделі 13-7024 [15]

У 2013 році в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна проводився цілий комплекс випробувань піввагона нового покоління моделі 12-7039-01 та вагона для зерна моделі 19-7053 на візках моделі 18-9836. Вони складалися з дослідження на відповідність вагонів габариту, вписування в криві малого радіуса, міцнісних статичних та міцнісних ходових випробувань, визначення ходових динамічних показників, ходових та стаціонарних гальмівних та ударних випробувань.

Рисунок 10 – Вагон - хопер моделі 19-7016 [16]

Рисунок 11 – Вагон - хопер моделі 19-7017 [17]

Стосовно вагона-хопер для зерна моделі 19-7053-02, що виготовляється ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (рис. 12), то тут слід відзначити про збільшення об’єму його кузова до 116 куб. метрів при вантажопідємності 70,5 тонн.

Рисунок 12 – Вагон - хопер моделі 19-7053-02 [18]

Ця модель довжиною по осях автозчепів 14720 мм має конструктивну

швидкість 120 км / год і термін служби 30 років. Форма конструкції кузова не містить каркасних елементів, тобто номенклатура вузлів і деталей зменшилася. Завдяки плавному переходу бокових стін в дах, гладкій внутрішній поверхні забезпечується швидке гравітаційне розвантаження, що значно зменшує корозію кузова.

Також як бачимо крюківські вагонобудівники віддали перевагу конструкціям каплевидної форми, відмовилися від використання класичної хребтової балки, що дозволило отримали високі характеристики міцності, ходові, гальмівні та експлуатаційні характеристики.

Слід відзначити, що ефективності вищенаведених вантажних вагонів проявляється в наступному [19, 20]:

- значене зниження виляння візків, особливо у прямих ділянках колії завдяки застосуванні ковзунів постійного контакту, зменшення маси тари вагонів;

- збільшення практично в півтора рази тривалості життєвого циклу вагонів, зменшення коефіцієнта їх матеріалоємності з 0,336 до 0,322–0,318;

- виробництво стін вагонів з гарячекатаних та гнутих профілів з низьколегованих сталей класом міцності 375-390 МПа, хребтової балки із зетового профілю з класом міцності не менше ніж 390 МПа;

- збільшення міжремонтного пробігу до п’ятсот тисяч кілометрів, зниження середньорічних витрат на ремонт та обслуговування вагонів у три з половиною рази.

Тобто на сьогодні в українському вагонобудуванні чітко намітилася тенденція щодо зменшення тари вагонів нового покоління, збільшення їхнього міжремонтного пробігу та осьового навантаження. Проте тут все залежить на пряму від матеріаломісткості конструкції вантажного рухомого складу, її довговічності, вартості виробництва, експлуатаційних витрат, тощо. Причому основні параметри виготовлених з традиційних матеріалів вантажних вагонів, такі як маса тари, вантажопідйомність, довговічність та ін. практично не мають резерву для їх поліпшення. Обмеженість вдосконалення цих параметрів стала одним з чинників зростання актуальності питання розробки та впровадження

інновацій в галузь вагонобудування, зокрема, застосування композитних матеріалів у виробництві вагонів.

На даний момент використання композитних матеріалів в залізничному транспорті українських залізниць обмежилося застосуванням в панелях внутрішнього інтер'єру пасажирських вагонів, гальмівних колодках, кабінах управління локомотивами та візках вантажних вагонів, модернізованих відповідно до проекту С 03.04 компанії «A. Stucki». Дана модернізація включає в себе модернізацію надресорної балки, бокової рами, ресорного комплекту, ковзунів шворневої балки вагона та заміну колісних пар (рис. 13).

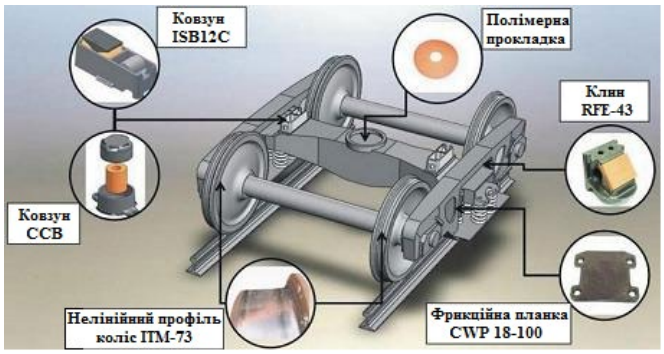

Рисунок 13 – Візок модернізований відповідно про проекту С 03.04

Стосовно модернізації ресорного підвішування, то тут слід відзначити наявність фрикційного клина з накладкою з композитного матеріалу – поліуретан, ковзунів – пружно-коткового ковзуна з зносостійким роликом з композитного матеріалу та надресорної балки – наявність у ній полімерної прокладки [21].

У перспективі є пропозиції застосування композитних матеріалів на основі вуглецевих нанотрубок у втулці гальмової важільної передачі та зносостійкій планці фрикційного клина, кришці букси вагонів, облицюванні внутрішньої поверхні контейнерів-цистерн, вагон-цистерн, хопер-дозаторів, піввагонів для сипучих вантажів, тощо.

З огляду на вищевикладене в перспективі застосування композитних матеріалів можливо практично в будь-якому вузлі вантажних вагонів будь-якого типу.

2 КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ – МАТЕРІАЛИ МАЙБУТНЬОГО

2.1 Загальні відомості про композитні матеріали

Композитні матеріали (КМ) – багатоскладові матеріали, які зазвичай складаються з полімерної, металічної, вуглецевої, керамічної або іншої матричної основи з розподіленими в ній армуючими волокнами або дисперсними частками (рис. 14) [20].

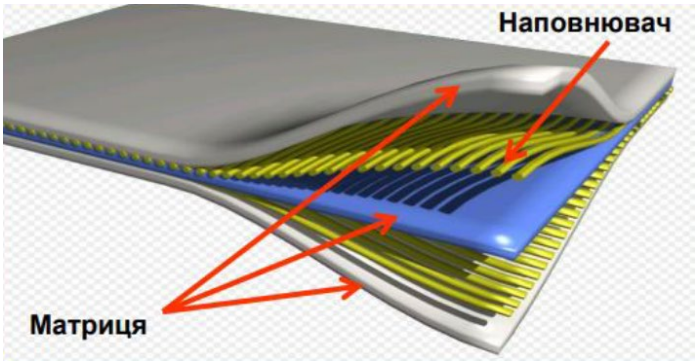

Рисунок 14 – Шар композитного матеріалу

Поєднання різноманітних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого помітно відрізняються від властивостей кожного з його компонентів. Широкий спектр матеріалів з необхідним набором властивостей отримують варіюючи склад, кількісний склад наповнювачів і матриці, орієнтацію наповнювача. Властивості композитних матеріалів залежать не тільки від фізико-хімічних властивостей компонентів, але і від міцності зв’язку між ними. Межі розділу, в першу чергу адгезійна взаємодія волокна з матрицею, визначають рівень властивостей композитів і їх сталість в умовах експлуатації. Максимальна міцність досягається, якщо між матрицею і арматурою відбувається утворення твердих розчинів або хімічних сполук [22].

2.2.1 Класифікація композитних матеріалів

Єдиної загальноприйнятої класифікації композитних матеріалів немає. Це пояснюється тим, що композитні матеріали представляють найширший клас матеріалів, що поєднують метали, полімери та кераміку [20].

Тому на основі загальних відомостей про такі матеріали приведемо можливу схему їхньої класифікації (рис. 15).

Рисунок 15 – Схема класифікація композитних матеріалів

На основі наведеного рисунку більш детально зупинимося на особливостях кожного з наведених видів композитних матеріалів.

2.2.1.1 Класифікація композитних матеріалів за матеріалом та природою матриці

Найбільш часто використовується класифікація композитних матеріалів, в основу якої покладено їх поділ за матеріалознавчою ознакою.

Найбільш важливою ознакою класифікації композитних матеріалів є матеріал матриці.

Композитні матеріали з металевою матрицею називають металевими композитними матеріалами (МКМ), з полімерною матрицею – полімерними композитними матеріалами (ПКМ), з керамічної – керамічними композитними матеріалами (ККП). Композитні матеріали, що містять два і більше різних за складом матричних матеріали, називають поліматричними [3].

Крім цього, композитні матеріали розрізняють в залежності від природи матриці, яка може бути:

- термопластична;

- термореактивна;

- гібридна;

Термопластична матриця розплавляється для просочення наповнювача, а потім охолоджується. Це, насамперед, поліаріленсульфони, сульфіди, кетони та ін.

Отримання термореактивної матриці відбувається за рахунок затвердінням епоксидних, ефірних, імідних, кремнійорганічних та інших полігомерів.

Останній з перелічених видів матриці композитних матеріалів об’єднує термореактивні та термопластичні компоненти [20, 23].

2.2.1.2 Класифікація композитних матеріалів за геометрією армуючих елементів

Класифікація композитних матеріалів відповідно до геометрії армуючих елементів (порошки або гранули, волокна, пластини) приведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Класифікація композитних матеріалів відповідно до геометрії армуючих елементів [24]

Армуючий елемент	Композитні матеріали
Пластини	Пластинчасто-шаруваті композитні матеріали, що складаються з безперервних і дискретних пластин, що чергуються
Порошки	Порошкові-дисперсно-зміцнені композитні матеріали

2.2.1.3 Класифікація композитних матеріалів за структурою та розташуванням компонентів

Композитні матеріали діляться на групи з матричною, шаруватою, каркасною та комбінованою структурою.

Матричну структуру мають дисперсно-зміцнені та армовані композитні матеріали.

До матеріалів з шаруватою структурою відносяться композити, які отримують з набору шарів фольги або листів матеріалів різної природи та складу, що чергуються.

До композитних матеріалів із каркасною структурою відносяться матеріали, отримані методом просочування.

Комбіновану структуру мають матеріали, які вібрали комбінацію перших

трьох груп [24].

2.2.1.4 Класифікація матричних композитних матеріалів за схемою армування та анізотропією матеріалу

Розрізняють ізотропні та анізотропні композитні матеріали [25]. Ізотропними називають композити, матеріал яких має однакові властивості в усіх напрямках. Властивості анізотропних матеріалів залежать від їхнього напрямку у виробі.

Розрізняють композити з хаотичним розташуванням частинок і волокон, з ізотропною структурою; композити з односпрямованою орієнтацією волокон (впорядковано-армовані), з різко вираженою анізотропією; композити з перехресною орієнтацією, ортотропною орієнтацією (0, 90, 0) із заданою анізотропією; композити з косокутною орієнтацією волокон під кутами, відмінними від 90; композити з різнонаправленою структурою, що складається з шарів з різною орієнтацією волокон.

Існують також «квазіізотропний» композитний матеріал. Він є анізотропним в мікрооб'ємі, але ізотропним в об'ємі всього виробу.

2.2.1.5 Класифікація композитних матеріалів за методам отримання

Композитні матеріали діляться на матеріали, отримані рідкофазним і твердофазним методами, а також методами осадження – напиленням та комбінованими методами [25].

До рідкофазних методів належать просочення (просочення арматури полімерами або розплавленими металами) та спрямована кристалізація сплавів.

До твердофазних методів отримання композитних матеріалів відносяться прокатка, екструзія, кування, штампування, ущільнення вибухом, дифузійне зварювання, волочіння і ін. Композиційні матеріали, одержані твердофазним методом, використовуються у вигляді порошку або тонких листів.

При отриманні композитних матеріалів методами осадження-напилення матриця наноситься на волокна з розчинів солей або інших сполук, з парогазової фази, верб плазми і т.п.

Комбіновані методи полягають в послідовному або паралельному застосуванні декількох методів.

2.2.1.6 Класифікація композитних матеріалів за природою наповнювача

В залежності від природи наповнювача композитні матеріали діляться на органічні та неорганічні речовини природного або штучного походження. Модуль пружності наповнювача може бути нижчим або вищим модуля пружності сполучної речовини. Низькомодульні наповнювачі – еластомери, дають можливість не знижуючи теплостійкості та твердості полімеру, надати матеріалу підвищену стійкість до знакозмінних і ударних навантажень, однак підвищується коефіцієнт його термічного розширення та знижується деформаційна стійкість. Чим вищий модуль пружності наповнювача та ступінь наповнення, тим вища деформаційна стійкість матеріалу [23].

2.2.1.7 Класифікація композитних матеріалів за кількістю компонентів

За кількістю компонентів композитні матеріали поділяються на:

- двокомпонентні;

- трьохкомпонентні, що поєднують дисперсні частинки та короткі волокна;

- поліволоконні гібридні композити поєднують волокна з близькою або істотно різною деформативністю, поліматричної структури, наприклад, на основі поєднання термореактивних і термопластичних сполучників [23].

2.2.1.8 Класифікація композитних матеріалів за обсягом вмісту наповнювача

В залежності від обсягу вмісту наповнювача композитні матеріали поділяються на матеріали:

- з неорієнтованою структурою – вміст наповнювача 30-40% ;

- з орієнтованою структурою – 50-75%;

- високо- і гранично наповнені органоволокніти – 75-95% [23].

2.2.1.9 Класифікація композитних матеріалів за функціональністю

В залежності від своєї функціональності композитні матеріали поділяються на:

- однофункціональні (конструкційні);

- багатофункціональні, здатні до самодіагностування (розумні);

- багатофункціональні, здатні до самодіагностування та самоадаптації [23].

2.3 Методи виробництва деталей із композитних матеріалів

Методи отримання заготовок і деталей з композитних матеріалів включають наступні стадії: отримання вихідних компонентів, проміжних напівфабрикатів (складання вихідних компонентів), щільних напівфабрикатів і виробів (полімеризацію, спікання), обробку та нанесення покриттів.

Методи виготовлення виробів з композитних матеріалів дуже різні за апаратурно-технологічним оформленням та залежать від форми та розмірів виробу, типу наповнювача й сполучної речовини.

Всі методи формування виробів можуть бути в найзагальнішому вигляді розділені на відкриті та закриті (рис. 16).

До відкритих методів належать: контактне формування, напилювання, намотування, відцентрове формування і ряд інших, що представляють собою їхні різновиди. У них використовується одна формотворна поверхня. Внаслідок цього значно ускладняються контроль за отриманням заданого об’ємного вмісту наповнювача в композиції, так як товщина стінки виробу є функцією ряду параметрів: в’язкості сполучної речовини, пружності наповнювача, конструктивних особливостей пристроїв, що використовуються для локального ущільнення наповнювача та ін. Додаткове ущільнення вільної поверхні виробів, які формуються відкритим способом, дозволяє підвищити стабільність технології та поліпшити їхню якість.

Рисунок 16 – Класифікація методи виготовлення виробів з композитних матеріалів

До закритих методів належать лиття, пресування, на матриці, реаційне, ротаційне формування, тощо. Вся поверхня виробу формується в контакті з відповідними елементами форми. Як правило, при закритому формуванні не потрібна додаткова обробка поверхні виробу і при цьому досягається значно вища точність товщини стінок [26].

2.3.1 Контактний метод формування виробів

Одним із найпростіших технологічних методів отримання готових виробів з композитних матеріалів є контактне формування, яке використовують для виробництва великогабаритних деталей складної конфігурації – баків, різноманітних кожухів механізмів, корпусів, тощо. Даний вид виготовлення виробів може виконуватися двома методами – напиленням або методом ручної викладки. Як основне оснащення застосовують різноманітні моделі, форми та вставки. Вони мають аналогічне призначення що й традиційне оснащення, яке застосовують при виливі виробів, але при цьому мають ряд особливостей, що залежить від матеріалу, який використовується. Для отримання форм за вказаними на кресленні розмірами виготовляють модель з дерева, гіпсу, фанери або іншого матеріалу.

Технологія ручної викладки включає наступні основні операції:

- нанесення роздільних покриттів на форми;
- розкроювання тканих або нетканих армуючих матеріалів;
- приготування сполучної речовини;
- укладання армуючого матеріалу на форму;
- нанесення на армуючий матеріал сполучної речовини та просочення нею арматури;
- затвердіння сполучної речовини при кімнатній температурі або при нагріванні до 70-95 ° С;
- витяг виробу з форми та його механічна обробка відповідно до вимог креслення;
- контроль якості виробу.

Метод формування напиленням відрізняється від описаного тим, що волокниста арматура (скловолокно, базальтове волокно, вуглеволокно) у вигляді нескінченного ровінгу рубається на короткі відрізки, які доставляються в форму одночасно з сумішшю відповідної смоли та каталізатора. Варіювання співвідношення смоли та наповнювача, виду армуючого матеріалу і системи його укладання, типу смоли та її наповнювачів дозволяє в широких межах змінювати властивості композитних пластиків, оскільки структура та властивості композиту, та й сам виріб формоутворюється в процесі його отримання.

При конструюванні деталей необхідно володіти даними про напруження, які вони будуть відчувати в процесі зберігання та експлуатації, що дозволяє визначити необхідні характеристики міцності матеріалу, який буде застосовуватися [23, 26, 27].

2.3.2 Метод формування виробів з використанням еластичної діафрагми

До методу виготовлення виробів з еластичної діафрагми відноситься: вакуумне формування, формування під тиском і формування в автоклаві. При цьому весь технологічний процес відбувається за схемою, яка аналогічна контактному формуванню, однак після укладання всіх армуючих шарів, поки смола ще не полімеризувалася, на матрицю з корпусом накидається вакуумний мішок (діафрагма) і герметизується стрічкою. Під діафрагмою мається на увазі еластична мембрана з силоксанового каучуку. З герметичної порожнини, що виникає між виробом, що виготовляється і діафрагмою, відкачують повітря, для того, щоб тиск там був нижчий, ніж на зовнішній стороні діафрагми. За рахунок того, що виникає перепад тиску з протилежних сторін діафрагми відбувається притискання композиційного матеріалу до форми, яка має відповідну конфігурації – таким чином забезпечується конструктивне формування деталі. В результаті такого процесу отримують виріб, зовнішня та внутрішня поверхні якого повністю повторюють морфологію поверхні формуючих елементів, тобто самої форми та діафрагми. Окрім цього, в процесі притискання виріб

ущільнюється в результаті усунення пустот і видалення надлишку смоли. Затвердіння проходить в притиснутому до форми стані за кімнатної температури або при нагріванні повітряними сушарками та іншими пристроями.

Слід відзначити, що при такому способі виготовлення матеріал деталі виходить незвичайно щільним, міцним та значно перевищує вироби ручного формування [28].

При вакуумному формуванні у деяких випадках затвердіння композитів з еластичною діафрагмою проходить при кімнатній температурі. Проте з метою поліпшення властивостей виробу затвердіння виробу виконують при нагріванні.

При формуванні під тиском і автоклавному формуванні стиснення композитів під час затвердіння виконується гарячими газами.

Формування виробу під тиском достатньо широко використовується при переробці термореактивних смол. Щоб одержати готовий виріб на основі таких смол і армуючих волокон цей метод використовується практично без змін. Даний метод має багато переваг, а його недолік – низька продуктивність, обумовлена багатостадійністю процесу [28].

У випадку автоклавного формування препреги або багатошаровий пакет з препрегів на основі армуючих волокон розміщують на формі, після цього разом з нею вставляють у вакуумний мішок, в якому знижують тиск. Такий метод називають формуванням за допомогою вакуумного мішка. Оскільки часто надлишковий зовнішній тиск створюють за допомогою автоклава, то цей метод нерідко називають автоклавним формуванням.

Завдяки автоклавному методу виготовлення деталей існує можливість:

- одержати готовий виріб рівномірної товщини;
- виготовляти великогабаритні вироби;
- одержати високу якість поверхні виробів;
-отримати виріб з низькою пористістю (завдяки вакуумному мішку).

Даний метод малопридатний для багатосерійного виробництва та знаходить більш широке застосування у виробництві невеликих партій високоякісних виробів. Мінусом автоклавного методу є висока вартість самого автоклава, а також наявність ручної праці, що вимагає високої кваліфікації персоналу [23, 26].

2.3.3 Метод формування виробів на матриці

Даний метод виготовлення передбачає те, що матеріал приймає необхідну конфігурацію при заповненні та змиканні форми, в якій відбувається також його затвердіння. В загальному даний процес включає велику кількість різних підпроцесів. Це, насамперед, формування матів і попередньо відформованих заготовок, підготовку преміксів для формувальних композицій, листових формувальних матеріалів, а також процеси прямого пресування, литого пресування та лиття під тиском реактопластів, холодного пресування, спільного формування, тощо. При цьому для всіх випадків формування реактопластів на матриці застосовується форма або штамп.

У випадку застосування даного методу форма, або комплект формуючих деталей мають дві основні частини: матриці та пуансона, причому одна з них входить в іншу з дотриманням заданого зазору між ними. З метою одержання отримання виробів складної конфігурації іноді потрібні спеціальні форми, що комплектуються декількома основними елементами.

До основних переваг даного методу можна віднести простоту технології, яка обумовлюється застосуванням волокнистого армуючого матеріалу в сухому вигляді, можливість застосовування для отримання виробів порівняно простої форми. За результатами однієї операції можна одержати легкі тришарові вироби (у вигляді сандвіча), що мають високу жорсткість. Також даний метод не передбачає застосування високих тисків, що зменшує витрати на виготовлення форми [23, 26, 28].

2.3.4 Метод намотування

Для виготовлення виробів, що мають форму тіл обертання, зазвичай

використовують метод намотування. Для його застосування необхідне спеціальне обладнання, яке забезпечує обертання оснащення (яка руйнується або багаторазово використовується), просочення армуючого матеріалу сполучною речовиною, зворотно-поступальне переміщення супорта з армуючим матеріалом уздовж оснащення. Блок управління шляхом зміни швидкості обертання оснащення та переміщення супорта забезпечує отримання необхідної структури матеріалу у виробі. Намотувати можна попередньо просочений армуючий матеріал, і частково той, що затвердів.

Після закінчення намотування оснащення з виробом поміщається в термокамеру, де відбувається остаточне затвердіння сполучного матеріалу. Однак процес цей досить тривалий і застосовується для виготовлення досить відповідальних виробів [29].

2.3.5 Метод пневмовакуумного формуванням

Метод формування листового матеріалу-напівфабрикату також знаходить застосування для виготовлення великогабаритних виробів. Термопласти без армуючого матеріалу переробляються на вакуум-формувальних машинах, а з армуючим матеріалом – на пресах, які забезпечені штампами. І в тому, і в іншому випадках листи попередньо нагріваються до температури, близької до температури плавлення полімеру, а потім формуються. Після охолодження готовий виріб витягується з форми.

Основною перевагою пневмовакуумного формування є простота конструктивного оформлення процесу і можливість візуального спостереження за ним, істотним недоліком – місцеве тоншання виробів при витяжці листа. Практично це призводить до невиправданого збільшення маси виробу та підвищеної витрати матеріалу за рахунок застосування більш товстих листів. При вакуумному формуванні не можна отримувати товстостінні вироби та вироби складної конфігурації [29].

2.3.6 Метод реакційного формування (RIM)

Метод реакційного формування (RIM) полягає в подачі рідких компонентів,

наприклад пінополіуретану, в герметично закриту форму, встановлену в спеціальному носії форм, який забезпечує поворот їх на 45° для видалення повітря, отримання якісного виробу і розкриття форми (наприклад, поворот верхньої частини на кут, що забезпечує вільне видалення виробу з нижньої частини та очищення форми). В процесі реакції між компонентами тиск у формі зростає (чим вона вища, тим щільніше виходить матеріал). Отримання об'ємних порожнистих виробів здійснюється головним чином або методом роздування, або методом ротаційного (відцентрового) формування термопластів. Такі вироби не можна отримати ніякими іншими методами.

Перевагами методу є порівняльна простота технології, висока продуктивність обладнання, невисока вартість оснащення.

Існує кілька варіантів цього методу:

- склеювання або зварювання двох половин заготовок, отриманих литтям під тиском або вакуум-формуванням, з подальшим нагріванням і роздуванням;

- отримання литтям під тиском трубчастої заготовки з подальшим її роздуванням;

- роздув труби, яка одержана екструдуванням.

Перший варіант не набув поширення через низьку продуктивність процесу. За допомогою другого варіанту можна отримувати вироби з рівномірною товщиною стінок, без відходів, але невеликого розміру. Для отримання великих ємностей придатний третій варіант. Однак недоліком його є різна товщина стінок одержуваного виробу і утворення значної кількості відходів (до 50% від маси виробу) [29].

2.3.7 Метод ротаційного формування

Метод ротаційного формування знаходить все більше застосування для отримання великих порожнистих виробів з термопластів (поліетилену). Суть методу полягає в тому, що матеріал у вигляді порошку вводиться в форму, що складається з двох половин, які потім приводиться в обертання в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Це призводить до рівномірного розподілу

порошку по робочій поверхні форми. Форма вводиться в камеру нагріву, в якій відбувається розплавлення порошку і формування після охолодження рівномірної корки.

До переваг методу відноситься переробка без відходів, незначні витрати на оснащення, порівняльна простота обладнання та простота процесу виготовлення виробів [29].

2.3.8 Лиття без тиску (хімічне формування)

Лиття без тиску (хімічне формування) – це формування виробів з мономерів, які полімеризуються безпосередньо в формі за наявності каталізаторів без додатку зовнішнього тиску. Даний метод, об'єднавши в єдиний технологічний цикл синтез полімеру та його переробку в вироби, дозволяє отримувати вироби з унікальною схемою: мономер – готовий виріб. При литті термопластів без тиску мономер або суміш мономерів з необхідними добавками заливається в форму, в якій процеси структурного утворення та формування виробу протікають одночасно. В результаті утворюються термопластичні матеріали з упорядкованою структурою та високим вмістом кристалічної фази, що обумовлює їхні підвищені фізико-механічні властивості.

Обсяг виробництва виробів методом лиття без тиску постійно збільшується, оскільки цей технологічний процес вимагає менших трудозатрат і забезпечує скорочення виробничого циклу. Відомо, що класичні методи переробки пластмас (пресування, лиття під тиском і ін.) вимагають громіздкого та дорогого обладнання, оснащення, а головне, дозволяють отримувати вироби обмежених розмірів і маси. Багатосерійне виробництво великогабаритних виробів з пластмас в даний час обмежене потужністю ливарних машин, розмірами робочих столів пресів, можливістю виготовлення прес-форм і рядом технологічних труднощів.

З впровадженням методу лиття без тиску з'являється можливість безпосередньо в формі при атмосферному тиску отримувати готові вироби (або заготовки для них) практично будь-яких розмірів і маси з високими фізико-

механічними властивостями.

Залежно від призначення виробу до складу полімеризаційної суміші крім мономера та каталізатора можуть входити різні добавки (прискорювачі, пластифікатори, стабілізатори, барвники і т.д.). Значні перспективи має використовувати декількох мономерів, що дає можливість змінювати властивості одержуваного матеріалу у виробах в бажаному напрямку. Полімеризаційні суміші можуть використовуватися в якості матриці в композитних матеріалів (наприклад, стіклопластиках).

Лиття термопластів без тиску здійснюють двома основними способами: гарячої та холодної полімеризації. При гарячій полімеризації суміш заливають в попередньо нагріті форми, а процес проводять при температурах, близьких до температури плавлення полімеру. При холодній полімеризації весь процес протікає при кімнатній температурі.

Лиття без тиску розрізняють і за механізмом реакції полімеризації: радикальному, іонному та координаційно-іонному. Все залежить від типу мономера, який використовується, природи активного центру та механізму зростання ланцюга. Практичними труднощами цього методу є чутливість полімеризаційних сумішей до незначних домішок різних речовин, що руйнують активні центри полімеризації.

До числа найбільш перспективних матеріалів, що переробляються даним методом, відносяться поліаміди, полікрілати, ефіри целюлози, полімери аллілових з’єднань і ін.

При замішуванні композиції для холодної полімеризації вводять розчинений в порції мономера активатор, що забезпечує затвердіння виробів без підведення зовнішнього тепла. Після цього безпосередньо в формі протікають процеси набухання та розчинення полімерних частинок, полімеризація мономера і формування виробу.

При виборі матеріалу форм велике значення мають умови протікання процесу полімеризації (холодна або гаряча полімеризація). Для здійснення

гарячої полімеризації (140 ° С) застосовують форми з алюмінієвих сплавів, для холодної (80 ° С) – форми з пластмас, гіпсу, цементу, листового скла, фанери, картону. При виготовленні невеликих виробів серійного та масового виробництв використовують форми із сталі або мідних сплавів з обов'язковим хромуванням і полірування робочих поверхонь. Особливістю форм із пластмас є той факт, що вони можуть бути жорсткими або еластичними (з жорстким огорожею). Форми для отримання складних за конфігурацією виробів роблять розбірними (при серійному виробництві) або суцільними – разового використання (при одиничному виробництві) [29].

2.3.9 Метод виготовлення композитних матеріалів пултрузією

Технологія пултрузії ґрунтується на виробництві безперервним способом профільних виробів з волокнистих одновісно-орієнтованих пластиків. За цим методом можна отримати виріб відповідного профілю з незмінним поперечним перерізом з обраного матеріалу.

Завдяки спеціальній пултрузійний машині відбувається виготовлення профілю зі склопластику (рис. 17). Така машина складається з секції для подачі армуючих матеріалів, фільєра, з секції для просочення, агрегату, що тягне, блоку управління нагрівальними елементами та секції для обрізки. Паковку орієнтованого волокна ліпше зміцнювати в сухому стані та просочувати полімерною композицією, що прокачується через суху паковку. Завдяки такій технології в матеріал не потрапляє повітря. Надлишки смоли стікають назад в піддон і надходять на рециркуляцію. Ровінг, який використовується, як армуючий матеріал змотується з бобін в сухому стані та збирається в пучок спеціальним способом. Потім матеріал надходить в пристрій просочення – це спеціальна ванна зі смолою, де повністю змочується поліефірною, епоксидною або іншою сполучною речовиною. Потім вже просочений матеріал відправляється в нагріту філєру, завданням якої є сформувати конфігурацію профілю. Потім композиція твердне при зазначеному температурному режимі. В результаті вийшов профіль зі склопластику, конфігурація якого повторює

форму фільєри.

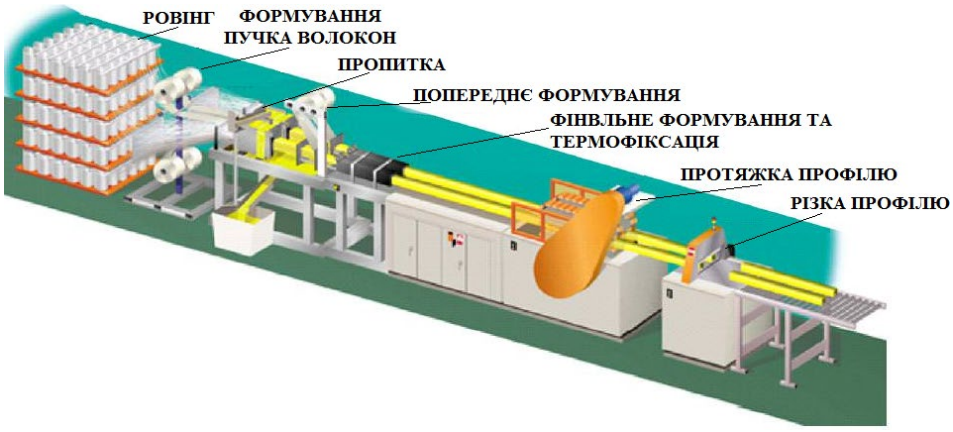

Рисунок 17 – Виготовлення виробу на пултрузійній машині

Доведено, що вироби, отримані шляхом пултрузації, за властивостями перевершують деталі, виконані класичними методами формування. Збільшення вартості такого методу обумовлюється рядом переваг, які характерні для цього процесу. До переваг можна віднести строгість контролю натягу і спрямованість волокна, зменшення кількості пор і утримання незмінного вмісту волокна в композиті. Очевидно, що навіть властивість міжшарового зсуву покращується.

На даний момент розроблено кілька варіантів головного процесу пултрузії, які цікавлять багатьох і багато значать для промисловості. Його перевагами є хороші електричні, фізичні, хімічні та теплові властивості отриманого виробу, висока продуктивність і відмінний допуск за розмірами. Для виготовлення постійних пластинчастих і листових напівфабрикатів якраз і призначений метод пултрузії.

Однак кожен метод виготовлення деталей з композитних матеріалів має свої недоліки. Для цього методу характерний такий недолік як швидкість процесу, яка буде залежати від температури та швидкості затвердіння сполучної речовини. Зазвичай вона невелика для низькотеплостійких поліефірних смол. Ще одним недоліком є те, що важко надати однаковий переріз виробам по довжині, за винятком виробів з нескладною формою перерізу – квадратною, круглою, двотавровою та ін. Щоб отримати виріб необхідно використовувати тільки нитки або джгути. Однак за останній час ці недоліки методу отримання

профільних виробів помаленьку усунулися та застосування цього процесу помітно розширилося. Композиція, яка ґрунтується на полівінілових ефірах і епоксидних смолах використовуються в якості полімерних матриць. Застосування таких полімерних матриць на основі полісульфону, поліефірсульфона і пластифікованого поліімідa дає можливість досягти швидкості формування стрижнів діаметром близько п’яти мм зі швидкістю близько сто два м / хв.

На поточний момент розроблені методи отримання трубчастих виробів, які поєднують в собі намотування спірального шару та протяжку. Вже розроблене оснащення для формування напівфабрикатів для листових ресор, які мають криволінійну поверхню та непостійний поперечний переріз [29].

2.4 Загальні переваги та недоліки застосування композитних матеріалів при виготовленні деталей

Композитні матеріали – це матеріали майбутнього. Створення та застосування композитних матеріалів – один з найбільш перспективних шляхів забезпечення виробництва надійними конструкційними матеріалами та вирішення завдання підвищення експлуатаційних параметрів техніки, економії ресурсів, тощо.

До основних переваг композитних матеріалів належить:

- варіюючи склад матриці та наповнювача, їх співвідношення, застосовуючи спеціальні додаткові реагенти і т.д., можна отримати широкий спектр матеріалів з необхідним набором властивостей. Так, наприклад, можна спроектувати конструкцію з нульовий коефіцієнтом температурного розширення.

- можливість виготовляти складні зігнуті поверхні за одну технологічну операцію;

- висока питома, ударна та втомна міцність, жорсткість;

- підвищена теплостійкість;

- знижена газо- і паропроникність;

- регульовані електричні властивості;

- можливість знизити масу конструкції на 25-50%;

- зносостійкість та довговічність;

- стійкість до гниття, нагріву, корозії;

- не потребують дорогих оздоблювальних матеріалів;

- висока стійкість до циклічних напружень. При цьому межа витривалості практично не змінюється в широкому температурному інтервалі. Зі збільшенням модуля пружності волокон спостерігається пропорційне підвищення втомної міцності матеріалу.

- високий опір вібраційним навантаженням (віброміцність) [30-34].

Стосовно переваг композиту перед сталлю то тут слід відзначити такі як корозієстійкість, стійкість до подряпин, деформації, агресивного середовища, менша вага (табл. 2). До переваг композитів над пластиком можна віднести: довговічність та міцність, не має необхідності армування металом, стійкість до механічних впливів, не виділяють отруйних речовин при нагріванні, більш стійкі до агресивних середовищ, не деформуються. В порівнянні з поліпропіленом і поліетиленом: володіють широким температурним діапазоном, значно меншою горючістю, самогаснуть після припинення дії вогню, мають стабільні фізико-механічні характеристики.

Таблиця 2 – Порівняння фізико-механічних властивостей деяких композитних матеріалів, сталі та пластику [35-41]

Параметр	Сталь	Склопластик	Вуглепластик	Боропластик	Поліпропілен
Густина, кг/м^3	7800	2100	1500	2000	900
Модуль пружності, ГПа	210	57	180	210	1,19
Межа міцності при розтягуванні, ГПа	2,9	1,75	1,1	1,6	0,26-0,4
Питомий модуль	2,7	2,7	12	10,5	0,13

пружності, 10^{-3} м					
Питома міцність,10^{-3} м	37	83	73	80	28,88-44,44
Корозійна стійкість до навколишнього середовища	Низька	Абсолютна	Абсолютна	Абсолютна	Абсолютна
Гігроскопічність, %	Відсутня	0,5	0,5	0,5	0,2
Температура експлуатації, °С	від -60 до + 300	від -60 до + 600	від -60 до + 600	від -60 до + 600	від - 20 до +160
Довговічність, років	Близько 40	Близько 80	Близько 80	Близько 80	Більше 50

До основних недоліків композитних матеріалів належать:

- висока вартість. Висока вартість композитних матеріалів обумовлена високою наукоємністю виробництва, необхідністю застосування спеціального дорогого устаткування та сировини, а отже розвиненого промислового виробництва та наукової бази країни.

- анізотропія властивостей. Анізотропія – це залежність властивостей композитних матеріалів від вибору напрямку вимірювання. Наприклад, модуль пружності односпрямованого вуглепластика уздовж волокон в 10-15 разів вищий, ніж в поперечному напрямку. Тим не менше, у багатьох випадках анізотропія властивостей виявляється корисною. Наприклад труби, що працюють при внутрішньому тиску зазнають в два рази більші напруження на розрив в окружному напрямку у порівнянні з осьовим.

- низька ударна в’язкість. Низька ударна в’язкість є причиною необхідності підвищення запасу міцності деталі. Крім цього, низька ударна в’язкість обумовлює високу пошкоджуваність виробів з композитних матеріалів, високу ймовірність виникнення прихованих дефектів, які можуть бути виявлені тільки інструментальними методами контролю.

- значний питомий об’єм. Даний недолік є істотним при застосуванні композитних матеріалів в областях з жорсткими обмеженнями за займаним об’ємом.

- токсичність. При експлуатації композитних матеріалів вони можуть виділяти пари, які часто є токсичними. Якщо з композитного матеріалу виготовляють вироби, які будуть розташовуватися в безпосередній близькості від людини, то для схвалення їхнього застосовування потрібні додаткові дослідження впливу таких матеріалів на неї.

- низька експлуатаційна технологічність. Композиційні матеріали можуть мати низьку експлуатаційну технологічність, ремонтопридатність і високу вартість експлуатації. Це пов’язано з необхідністю застосування спеціальних трудомістких методів (а часом і ручної праці), спеціальних інструментів для доопрацювання та ремонту деталей з композитних матеріалів. Часто вироби з композитних матеріалів взагалі не підлягають будь-якому доопрацюванню та ремонту.

- гігроскопічність. Композиційні матеріали гігроскопічні, тобто схильні вбирати вологу, що обумовлено несуцільністю внутрішньої структури композитних матеріалів. При тривалій експлуатації та багаторазовому переході температури через 0 за Цельсієм вода, яка проникає в структуру композитного матеріалу, руйнує цей виріб зсередини. Справедливості заради потрібно відзначити, що зазначений недолік відноситься до композитів перших поколінь, які мали недостатньо ефективне зчеплення сполучної речовини з наповнювачем, а також великий об’єм каверн в матриці сполучної речовини. Сучасні типи композитів з високою адгезією сполучної речовини до наповнювача (досягається застосуванням спеціальних замаслювачів), які одержуються методами вакуумного формування з мінімальною кількістю залишкових газових каверн цьому недоліку практично несхильні [30, 34].

Ще слід сказати про труднощі, які виникають при діагностиці деталей з композитних матеріалів. Чим ширше застосовуються композитні матеріали, тим більш актуальним постає питання об’єктивної оцінки фактичного стану елемента конструкції з композиційного матеріалу. Це пов’язано з можливістю їхнього пошкодження при дії вологи, ударних навантажень, тощо.

Окрім оцінки фактичного стану, необхідно з метою оцінки рівня надійності конструкції, виготовленої з композитних матеріалів, або яка містить елементи з такого матеріалу, виконувати прогнозування зміни стану з урахуванням конкретних експлуатаційних факторів.

Тут слід зазначити, що на сьогоднішній день виконано досить велика кількість досліджень поведінки композитних матеріалів при впливі на них різних експлуатаційних факторів.

Так, вплив вологи на фізичні властивості полімерних композитних матеріалів дослідив та надав результати в монографії А.А. Кузнецов [42], результати вивчення кліматичного старіння композитних матеріалів досліджені і представлені в роботі [43], вплив ударних навантажень на основі досвіду експлуатації узагальнено фахівцями компанії «Abaris Training Resources» («ATR») [44], що спеціалізується на вивченні композитних матеріалів.

Особливий інтерес викликає монографія Ф.А. Басова [45], в якій розроблено питання інтеграції діагностичного датчика в композиційну конструкцію. Як датчики стану композиційної конструкції передбачається використовувати чутливі елементи на базі вуглецевих ниток, поміщених в композиційний матеріал на стадії його виготовлення. Даний метод дозволяє відстежувати робочі параметри конструкції в режимі реального часу, що має велике значення для прогнозування змін цих параметрів. Однак, при всіх перевагах даного методу контролю, він, зі зрозумілих причин, не може застосовуватися для вже виготовлених конструкцій і крім того, даний метод значно підвищує вартість виготовлення композиційної конструкції.

Перспективними методами діагностики композитних матеріалів є акустичні методи (ультразвуковий, акустичної емісії, низької удару і т.п.), однак і вони вимагають удосконалення, для забезпечення широкого їхнього застосування в експлуатаційних підприємствах.

На сьогоднішній день компаніями «Olympus» і «General Electric» створено та схвалено для застосування ультразвуковий пристрій неруйнівного контролю «Ramp Damage Checkers» («RDC») [44]. При перевірці даним пристроєм

передбачена найпростіша світлова індикація результатів перевірки (індикатори червоного і зеленого кольору). У той же час виробник підкреслює, що RDC – засіб первинної діагностики. Сфера його застосування обмежена пошуком підповерхневих пошкоджень.

Принцип роботи «RDC» заснований на мікропроцесорному порівнянні поточної картини ультразвукової діагностики з картинами типових пошкоджень композиційної конструкції. Однак широке застосування даного пристрою неможливо без збору даних по конкретному типу об’єкта дослідження, що є суттєвим його недоліком.

Ще одним методами діагностики композиційного матеріалу є метод акустичної емісії та контроль його стану за вібраційними характеристиками [46].

Також не слід забувати і про оптичні методи діагностики. Зокрема, метод інфрачервоної оптичної дефектоскопії, який є досить перспективним в області вивчення пошкоджень композитних конструкцій. При певних умовах даний метод діагностики демонструє більш високу точність і достовірність результатів контролю, в порівнянні з традиційними акустичними методами. До недоліків даного методу діагностики необхідно віднести те, що різні типи композитних матеріалів (склопластики, вуглепластики і т.п.) показують різні оптичні властивості, що обумовлює необхідність проведення попередніх досліджень в даній області.

При всій значимості перерахованих вище методів, вплив різних експлуатаційних факторів в них розглядалося відокремлено, в той час як для отримання найбільш достовірного результату необхідне вивчення комплексного впливу на композиційні елементи конструкції зовнішніх чинників з урахуванням відмінностей складу і структури композиційного матеріалу.

Отже, як бачимо, незважаючи на велику кількість переваг, є і низка недоліків та труднощів у застосуванні композитних матеріалів. Для поліпшення характеристик та отримання необхідних властивостей цих матеріалів часто застосовують їхню модифікації.

2.5 Модифікація композитних матеріалів

Отримання комплексу необхідних властивостей на одному типі композитного матеріалу не завжди представляється можливим, а виробництво нових пов’язано з великими економічними витратами. Тому все частіше прибігають до їхньої модифікації [47].

Для цілеспрямованого регулювання будови, структури та властивостей композитних матеріалів використовують різні модифікації: фізичну, хімічну або їхню комбінацію: фізико-хімічну.

Фізична модифікація заснована на зміні фізичних властивостей композитних матеріалів шляхом перетворення їхньої надмолекулярної структури при різних фізичних впливах без зміни хімічної будови макромолекул, наприклад, шляхом впливу зовнішніх чинників (механічних, ультразвукових, високочастотних, опромінення і т.п.); зміни температурно-тимчасових режимів структуроутворення композиту з розплаву; введенням в матрицю різних добавок і ін. При цьому хімічна будова молекул не змінюється.

За допомогою фізичної модифікації здійснюють також орієнтацію волокон композитних матеріалів. Укладаючи волокна або шари наповнювача в певних напрямках, можна зміцнювати матеріал і жорсткість в різних областях виробу. Внаслідок такого управління властивостями композити є незамінними матеріалами для потреб будь-якого виду транспорту.

Хімічна модифікація композитних матеріалів заснована на можливості здійснення багатьох хімічних перетворень. Найбільш широке застосування знайшли: полімераналогічне перетворення, всередині - і міжмолекулярна циклізація лінійних полімерів, блоксополімерізація, прищеплена сополімеризація, поперечне з’єднання лінійних макромолекул (зшивання), варіювання молекулярної маси в процесі синтезу лінійних макромолекул.

Фізико-хімічну модифікацію полімерів проводять шляхом введення в їх склад різних цільових добавок у вигляді наповнювачів, пластифікаторів, стабілізаторів, барвників і т.п. Оптимальне співвідношення модифікуючих добавок забезпечує необхідні технологічні, експлуатаційні та спеціальні

властивості композитних матеріалів [48].

Спрямована зміна властивостей шаруватого металополімерного композиційного матеріалу шляхом спільної термообробки та обробки струмами високої частоти показано в роботах Х.Ш. Яхьева [49]. Даний метод може застосовуватися для виробництва різних металополімерних прокладок в конструкціях, до прикладу, ходових частин вагонів.

За допомогою плазмової модифікації полімерних мембран в роботі [50] вдалося поліпшили структуру поверхневого шару виробу, що сприяло підвищенню його експлуатаційних характеристик.

В роботі [51] представлена ефективна методика ультразвукової девулканізації гуми для реалізації можливостей регенерації та повернення вторинної сировини у виробництво. Також в цій роботі виконані розрахунки з кількісної оцінці параметрів процесу втомного руйнування міжмолекулярних зв’язків.

Однак слід зазначити, що процеси структурної модифікації є енергоємними.

Найбільшого поширення в даний час отримала композитна модифікація: утворення двох або багатокомпонентних сумішей з неорганічними або органічними модифікуючими добавками певної геометрії (волокна, кульки і гранули) [52]. Розрізняють модифікацію довгими волокнами та короткими, які розчиняються у безперервній матриці. Всі ці елементи виконують в основному функцію посилення.

Особливостями гумоволокнистих композитів є анізотропія механічних властивостей, можливість регулювання модулів, поєднання жорсткості та гнучкості матеріалу в перпендикулярних напрямках, підвищений опір руйнуванню при обмежених деформаціях, що обумовлює стабільність розмірів виробів при тривалій дії напружень.

У роботах [53-58] досліджено механізм деформації та руйнування гумоволокнистих композитів і виявлені локальні ділянки підвищених напружень, які є осередками руйнування. Порушення контакту між матрицею, що володіє високою деформативною здатністю та волокнами, що практично не деформуються, починається з утворенням вакуолей на кінцях та перегинах

волокон. Руйнування композиту починається в найбільш напруженій області поблизу поверхні волокна. Зміну напружено-деформованого стану та цілеспрямований вплив на процеси руйнування, властивості гумоволокнистих композитів, можна здійснювати за рахунок відповідних модифікуючих добавок.

При об'ємній модифікації матриці результатом є ріст міцності композитів в статичних умовах і зниження витривалості в динамічних режимах навантаження.

При поверхневій модифікації матриця практично не змінює властивостей, змінюються лише міцність зв'язку на межі поділу фаз і пружні властивості граничного шару, зменшуються чутливість сітки до впливу напружень і швидкість розростання вакуолей. Результатом є підвищення міцності гумоволокнистих композитів як в статичних, так і в динамічних умовах навантаження.

В роботі [59] був досліджений композиційний матеріал з матрицею із силіконової гуми та різної об'ємної частки армуючих волокон з нікелідатитану. Збільшення адгезійної міцності між елементами композиційного матеріалу досягається при зниженні шорсткості поверхні нікелідатитану. При нагріванні попередньо деформованого до 10% композиційного матеріалу з об'ємною часткою армуючого волокна від 10 до 31% зразки повністю відновлюють форму, що свідчить про наявність у отриманого композиційного матеріалу ефекту пам'яті форми.

У роботі [60] було встановлено, що підвищенню деформаційно-міцнісних властивостей і довговічності наповнених композитів сприяє введення в композиційний матеріал резорцинової смоли, яка покращує змочуваність наповнювача та застосовується як адгезійна добавка.

При цьому у роботах [61, 62] було доведено, що введення до складу полімерів кремнійорганічних з'єднань дозволяє поліпшити їхню схильність до формування, показники міцності, а також стабілізувати їх пластоеластичні властивості.

У роботах [63, 64] встановлено, що модифікація полімерів фулеренами і іншими вуглецевими наноматеріалами дозволяє отримувати композиції з

поліпшеним комплексом експлуатаційних властивостей. Суміш фулеренів надає комплексну модифікуючу дію та відповідні фізико-механічні властивості, що дозволяє використовувати її в технології виготовлення гум.

В роботі Kwo Han Kio [65] показав, що термоеластопласти на основі епоксидованого натурального каучуку мають високі показники маслобензостійкості, газонепроникності, а також стійкості до старіння на повітрі.

За допомогою гідрування попередньо епоксидованого каучуку підвищується термостійкість і стійкість до старіння в порівнянні з епокисидованим натуральним каучуком [66].

Поліпшення термостійкості і стійкості до старіння полімерів особливо актуально для амортизуючих елементів залізничного транспорту, що працюють в умовах циклічного стиснення в широкому діапазоні температур.

Одним з перспективних методів модифікації властивостей полімерів є отримання сумішей, оскільки змішування різнорідніх за властивостями полімерів дає можливість отримувати матеріали, що поєднують в собі властивості всіх компонентів системи. Однак, більшість полімер-полімерних пар, при змішуванні проявляють термодинамічну несумісність. У зв’язку з чим, в даний час велика увага приділяється отриманню так званих гібридних сполучників або з’єднювальних речовин другого покоління, які після затвердіння самі представляють собою полімерні композитні матриці [67-70].

Серед демпфуючих матеріалів особливий інтерес представляють нові композиційні матеріали – резинопласти. У резинопласті як матриця використовується термопластичний полімер; наповнювач – частинки гуми (величиною до сотень мікрон), отримані при подрібненні відходів резино-технічних виробів. Відмінність дисперсної порошкової гуми від традиційно жорстких наповнювачів, які на сьогодні використовуються, полягає в першу чергу в тому, що модуль пружності еластичного наповнювача значно менший модуля пружності термопластичної матриці.

В роботі [71] проведено теоретичні та експериментальні дослідження впливу дисперсного наповнювача на деформаційну поведінку наповнених пластичних

полімерів, яка залежить від властивостей матричного полімеру, змісту і розміру часток еластичного наповнювача. Зміст наповнювача при пластично-крихкому переході визначається відношенням міцності до нижньої межі текучості (напругою витяжки шийки) матричного полімеру, при крихко-пластичному і при пластично-пластичному переході – відношенням верхньої межі плинності матричного полімеру до нижньої. При макрооднорідному пластичному розтягуванні композитів з еластичними частинками можливе зростання відносного подовження при розриві. Поблизу дрібних частинок з'являються овальні пори, а поблизу великих – ромбовидні. Ромбовидні пори здатні ініціювати пластично-крихкий перехід при вкрай низькому вмісті наповнювача.

В останні роки за кордоном інтенсивно розвивається виробництво і застосування динамічних термоеластопластів (ДТЕП), які поєднують властивості вулканізованих каучуків при експлуатації та термоеластопластів в процесі переробки. Зміною співвідношення каучуків і термопластів, які використовуються для виготовлення ДТЕП, можна домогтися в виробах з них потрібних показників в діапазоні від гуми до пластмаси. У Росії розроблені наповнені ДТЕП композити [72, 73], які в порівнянні з ненаповненими ДТЕП, володіють поліпшеним комплексом властивостей: підвищеними деформаційно-міцнісними характеристиками (модуль пружності; міцність при розриві; відносне подовження при розриві); а також термостабільністю та маслобензостійкістю [74, 75].

Слід згадати ще про один з перспективних напрямків отримання матеріалів, що поєднують в собі властивості всіх компонентів системи, - створення «сендвічів» з різних матеріалів (рис. 18).

Багатошарові композити типу сендвіч – структур, що складаються з декількох шарів матеріалу різної структури та природи походження, стають все більш затребуваними. Заміна традиційних матеріалів полімерними композитами, здатними поєднувати в собі різні функції, стає все більш актуальнішою [76, 77]. Головним завданням в дослідженнях шаруватих композицій є пошук шляхів підвищення міцності та експлуатаційних характеристик, що дозволяють розширити область їх застосування.

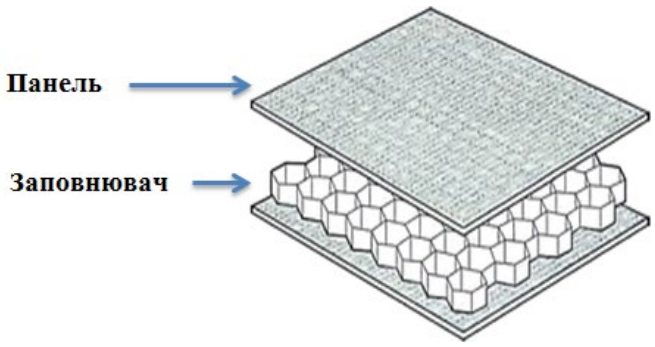

Рисунок 18 – Сендвіч-панель

На сьогодні розроблена конструкція багатошарового композиту з пенополіуретановим заповнювачем, армованим базальтовими нитками, що дозволяє підвищити фізико-механічні характеристики сендвіч структури на 30% [78]. При цьому використання в якості армуючих елементів базальтових ниток, просочених епоксидною смолою, покращує механічні характеристики сендвіч-панелей.

Концепція конструювання багатофункціональних шаруватих композитних матеріалів – це створення сендвіч-панелей з високим віброзахистом і теплоізоляцією, призначених для використання в різних пристроях, що експлуатуються в умовах низьких температур [79].

Морозостійкість композитних матеріалів – важливий напрямок досліджень композитних матеріалів. Проведені натурні випробування матеріалів на основі пропіленоксидного каучуку і політетрафторетилену показали перспективність використання сумішей полімерів для експлуатації в умовах низьких температур [75]. Гума на основі цих матеріалів разом з мінеральною добавкою (цеолітова паста), після експозиції в нафти має більш високий рівень морозо-, маслостійкості та залишкової деформації стиснення в порівнянні з композитними матеріалами, які не містить мінеральної добавки.

Таким чином, сучасні полімерні композиції повинні задовольняти комплексу технічних і технологічних вимог, які поєднати в одному типі матеріалу практично неможливо, але добитися можна за рахунок модифікації матеріалів, розробки гібридних матеріалів, тощо.

3 ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВАГОНОБУДУВАННІ

3.1 Можливі варіанти застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів

Ні для кого не секрет, що сьогодні ринок вантажних залізничних перевезень у світі знаходиться в умовах скорочення обсягів перевезень і інвестиційних можливостей через світову пандемію коронавірусу.

При цьому одним з ключових способів вирішення проблем в галузі залізничного транспорту є перехід на інноваційно-орієнтовану модель розвитку, адже в ситуації, коли економіка сповільнюється, інновації використовуються як інструмент прискорення темпів зростання та дозволяють змінити формат конкурентного середовища. У вагонобудуванні таким інструментів є вагон з поліпшеними характеристиками, який вже довів за вельми нетривалу практику

експлуатації свою ефективність.

Звичайно, сьогодні на ринку вантажного залізничного транспорту існує безліч думок про фінансову доцільність придбання рухомого складу з поліпшеними характеристиками на тлі знижується прибутковості. Однак, на жаль, як і раніше, однією з ключових проблем залишається орієнтація на найближче майбутнє, невміння бачити довгострокові економічні, технологічні та інноваційні тренди. Так, безумовно, практика – найкращий критерій, і на даний момент для досягнення максимального економічного та технологічного ефекту від використання рухомого складу з поліпшеними характеристиками необхідно щоб таких вагонів на мережі було не менше 20%.

Очевидно, що в сучасних умовах гравці перевізного процесу змушені шукати нові методи та інструменти для якісної організації роботи транспортної мережі, для збільшення обсягу перевезень вантажів, для задоволення потреб клієнтів і надання більш якісних послуг. Тому перехід до експлуатації рухомого складу з поліпшеними характеристиками міра, безумовно, доцільна. Використання таких вагонів дозволить поліпшити загальну експлуатаційну

обстановку за рахунок зниження профіциту, зменшивши необхідний парк піввагонів на залізничній мережі до необхідного рівня, в результаті «омолодження» парку скоротити кількість затримок і відмов під час перевезення та зменшити число зривів графіків руху поїздів.

Однак тут необхідна більш чітка державна політика стимулювання, потрібно максимально орієнтувати вагонобудівників на виробництво інноваційного рухомого складу. Переваги, якими володіє інноваційний вагон, затребувані, в першу чергу, кінцевими споживачами-вантажовідправниками [80].

На вітчизняних та світових залізницях все більшої уваги приділяють зменшенню ваги тари вантажного вагона, збільшенню навантаження на вісь та швидкості його руху, скороченню витрат в розрахунку на весь термін служби, підвищенню опору зношенню, пошкодженню, руйнуванню, тощо. Тобто, іншими словами, ведуться активні спроби створення рухомого складу нового покоління – рухомого складу з покращеними характеристиками, який би відповідав загальним технічним вимогам та виготовлявся із застосуванням передових технологій та матеріалів.

На сьогодні вуглецеві сталі застосовують у виготовленні несучих елементів конструкцій вагонів, низьколеговані – в виготовленні зварних конструкцій вагонів, алюміній – в виготовленні деталей і вузлів внутрішнього обладнання вагонів. Проте вже відзначалося вище, вирішення вищезазначених завдань неможливе без застосування в конструкціях залізничного транспорту композитних матеріалів.

Переваги у їхньому використанні для вагонобудування практично повністю відповідають загальним перевагам, які були наведені у попередньому розділі. Це, насамперед:

- висока стійкість до хімічної дії вантажів, що перевозяться та навколишнього середовища;

- питома міцність, віднесена до маси конструкції, близька до характеристики

сталі;

- можливість отримання деталі складної геометрії за одну технологічну операцію;

- полегшення маси;

- корозійна стійкість, стійкість до гниття;

- можливість отримання конструкцію, сумісну з хімічними та харчовими продуктами;

- збереження механічних характеристик протягом всього терміну служби при впливі підвищених і знижених температур;

- відсутність необхідності застосування дорогих покриттів [81];

Перераховані переваги стали підставою для пошуку варіантів застосування неметалічних матеріалів в вантажному вагонобудуванні навіть з урахуванням їхньої високої вартості. Полімерні композиційні матеріали на сьогодні успішно конкурують з традиційними сталями та кольоровими металами, а ефект їхнього використання настільки високий, що у високорозвинених в промисловому відношенні країнах існує стійка тенденція скорочення випуску сталі та збільшення виробництва полімерних матеріалів.

У вагонобудуванні найбільш доцільним являється застосування склопластиків на основі епоксидних смол, що володіють відносно невеликою об’ємною вагою при високій міцності. Міцність скляних волокон склопластиків дуже висока та перевищує міцність натуральних і синтетичних волокон. Крім цього, питома міцність, тобто міцність віднесена до питомої ваги матеріалу, склотекстоліта та анізотропних скловолокнистих пластиків, не поступається, а іноді і перевищує питому міцність сталі, дюралюмінію та титану.

Скляні волокна важко загоряються, негігроскопічні, не піддаються гниттю за рахунок клітинної будови та володіють високою атмосферостійкістю, що підтверджується експлуатацією цих матеріалів в реальних умовах.

Склопластики мають високу здатність поглинати енергію вібрації, що перевищує таку для металів в 3-4 рази. Це якість вигідно відрізняє їх від

металів.

Вони добре опираються дії ударних і динамічних навантажень, мають високу демпфуючу здатністю.

Недоліками склопластиків є порівняно невелика жорсткість і невелике значення межі міцності при стисненні вздовж шарів [82].

Якщо розглядати витрати, то собівартість склопластиків в середньому в три рази більше собівартості сталевого листа, але при цьому ефективність застосування композиційного матеріалу вище завдяки його міцності. При виготовленні деталей, до яких пред'являються підвищені вимоги за механічним властивостям, економія досягається за рахунок зниження товщини та маси деталі в порівнянні з металевим виробом.

В ході виготовлення деталей складної форми витрати на обробку та забарвлення можуть бути значно нижчими в порівнянні з виробництвом аналогічних комплектуючих із стального листа. Вартість виробництва виробу з композитного матеріалу в значній мірі визначається витратами на необхідне технологічне обладнання, яке в свою чергу залежить від кількості виготовлених виробів. На формування деталі зазвичай витрачається більше часу, ніж на штампування сталевого листа. Однак сумарна вартість обробки металу включає в себе ряд додаткових операцій. Так, внаслідок виключення в низці випадків робіт зі складання та фарбування композиційний матеріал може мати економічну перевагу. Крім того, при виготовленні конструкцій з металу застосовуються дорогі та трудомісткі операції зі зварювання та зачистки, нехарактерні для неметалічних матеріалів.

Вартість оснащення для формування склопластика становить близько 10% вартості обладнання для обробки сталевого листа.

При випуску партії виробів загальна економія може бути тим більшою, чим вища вартість одиничного виробу. У зв'язку з цим помірні витрати на обладнання в разі застосування склопластиків дозволяють розглядати композиційний матеріал як найбільш економічний для виготовлення кузовів

вагонів.

Застосування склопластиків при виготовлення котлів цистерн може істотно знизити експлуатаційні витрати за рахунок стійкості склопластиків до впливу агресивних вантажів, більш низьку теплопровідність в порівнянні зі сталлю та досить високу механічну міцність при значно меншій власній масі. У свою чергу, економія маси котла за рахунок використання в його конструкції склопластику може дозволити збільшити корисну вантажопідємність кожної рухомої одиниці на 35%.

Необхідно також відзначити, що котли зі склопластику внаслідок високої чистоти та гладкості, а також за рахунок поганої змочуваності внутрішньої поверхні стінок менше забруднюються вантажами, що перевозяться [83].

Для виробництва таких цистерн необхідно вибрати метод виготовлення склопластику. Доцільним методом виробництва котла зі склопластику є метод намотування. Як відомо з попереднього розділу можна застосувати «сухе» і «мокре» намотування.

Для отримання надійного зчеплення склопластику зі сталлю та алюмінієм ці метали попередньо покривають стравлюючою ґрунтовкою на основі фосфорної кислоти. Такі ґрунтовки випускають фірми «Крода» та «Пайріні». Через короткий проміжок часу ці ґрунтовки потрібно змити, інакше їхній вплив на метал буде тривати навіть під шаром смоли.

Шаруватий склопластик, виготовлений на основі поліефірної смоли, еластичніший від багатьох металів: при порівнянні міцності він еластичніший від сталі в двадцять раз і алюмінію в шість разів. Як правило, першочерговою є вимога забезпечення жорсткості, а не максимальної міцності. Однак не слід вважати, що склопластик як матеріал схожий на гуму. Його еластичність близька до еластичності дерева, і він швидше нагадує пружну фанеру, ніж м’яку, гнучку гуму. Іншими словами, склопластикова конструкція має міцність і товщину металевої конструкції, а еластичність дерев’яної, при цьому за масою вона ближче до конструкції з дерева, ніж з металу.

Склопластик можна свердлити, обробляти напилками, розпилювати,

шліфувати та полірувати, але він не піддається обробці ударами молотка; вирубка або вирізка деталей з нього також викликає труднощі. Отриману одного разу вихідну форму заготовки змінити неможливо, а смола, що є складовою частиною матеріалу, тендітна та схильна до викришування [82].

Склопластик можна обточувати на токарному верстаті, але при цьому не слід допускати його викришування та перегріву. Після розпилювання, обточування, шліфування або обробки шліфувальною шкуркою поверхня матеріалу стає матовою і відполірувати її неможливо, поки вона знову не буде покрита смолою. Механічна обробка не повністю затверділої формованої конструкції утруднюється внаслідок її підвищеної в'язкості.

Варто оцінити економічну ефективність даного виробництва. Будь-яка спроба зіставлення вартості матеріалів буде безглуздою, якщо не враховувати вартість формування. Дерево та сталь можуть бути дешевшими як вихідні матеріали, але для отримання з них конструкції необхідної форми необхідний великий обсяг обробки. Більш висока вартість армованих пластиків повністю компенсується винятковою простотою та легкістю виготовлення з них конструкцій та незначним обсягом виробничих відходів. На формування деталі з композитного матеріалу, як правило, витрачається більше часу, ніж на штампування сталевого листа, але обробка металу включає в себе ряд додаткових операцій, таких як зварювання та зачистка, шо нехарактерні для виробництва й обробки неметалевих матеріалів. Внаслідок цього спостерігається значний ефект від зниження обсягу капітальних витрат: капітальні вкладення на створення виробничої потужності, необхідної для випуску 1 тонни склопластиків будуть, за попередніми даними, приблизно в 1,5 рази менші, ніж для 1 тонни сталі.

Як матеріал для виготовлення великогабаритного елемента – даху вагона-хопера можна обрати склонаповнений ПКМ на основі термореактивної зв'язуючої речовини з тришаровою структурою композиту (зовнішні шари зі склопластику на основі термореактивної зв'язуючої речовини та пінного наповнювача всередині), який містить підкріплючі металеві закладні елементи.

При виробництві даху можна використати технологію напилення та ручної викладки, яка шляхом зміни орієнтації шарів армуючого матеріалу, типу та властивостей пінного наповнювача, параметрів технології дозволяє варіювати в широкому діапазоні параметри структури матеріалу.

При цьому необхідним буде отримати детальну схему структури композиційного матеріалу та елементів конструкції в цілому (кількість, тип і необхідні властивості шарів склопластику, параметри та необхідні властивості пінного заповнювача, схеми розташування закладних елементів.

Дах повинен мати суцільнонесучу конструкцію та додатково жорстко зв'язувати стінки кузова вагона. Крім цього, необхідно забезпечувати виконання вимог безпеки під час перевезення харчових вантажів. Такі показники міцності конструкції можна забезпечити завдяки застосуванню композиту з сендвіч-структурою, пінним наповнювачем і закладною металевою рамою [83, 84].

Технологія виготовлення великогабаритних елементів конструкції полягає в розміщенні на оснащенні шароформуючому матеріалу з подальшим їхнім ручним просочуванням термореактивною сполучною речовиною або ж в механізованому змішуванні та напиленні рубленого скловолокна та зв'язуючої речовини.

При напиленні ровинг армуючого матеріалу рубається на відрізки та змішується зі смолою та затверджувачем в спеціальному змішувачі (пістолеті). Нанесений на оснащення матеріал також затвердіває при кімнатній температурі та атмосферному тиску.

Технології ручної викладки та напилення дозволяють в процесі формування розміщувати всередині виробу заставні елементи (металеві каркаси, спінені матеріали, кріпильні деталі і т.п.) з різних матеріалів, необхідних для посилення та подальшого складання конструкції, установки додаткових елементів облицювання кузова вагона-хопера (рис. 19, 20).

Для виготовлення малогабаритних елементів конструкції вагона хопера – кришок завантажувальних люків може бути обраний наповнений поліуретан на основі термопластичної зв'язуючої речовини. В якості технології

виробництва тут може виступати вакуумне формування листів на основі термопластичної матриці з наповнювачем (малюнок 21).

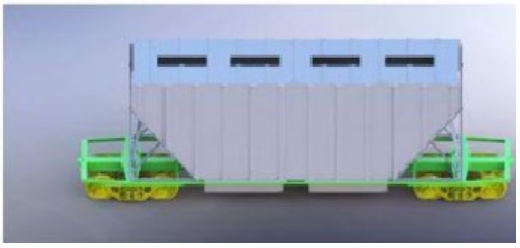

Рисунок 19 – Макет вагона-хопера з композитного матеріалу

Рисунок 20 – Вагона-хопер моделі 19-1217-01

Таблиця 3 – Порівняння вагона-хопера з кузовом з композитних матеріалів та вагона-хопера моделі 19-1217-01

Найменування характеристики	Вагон-хопера з кузовом з композитних матеріалів	Вагон-хопер моделі 19-1217-01	Різниця у відсотках
Вантажопідємність, т	84	70	+17
Маса тари, т	16,2	23,2	-30
Корисний об’єм, $м^3$	99	96	+4
Переваги вагона-хопера з кузовом з композитних матеріалів над вагоном-хопером моделі 19-1217-01			
- зниження маси тари; - підвищення корозістійкості; -збільшення обороту вантажу, який перевозиться; - не потрібне нанесення захисник покриттів; -зниження маси кристалізації сипучих вантажів [85].			

Рисунок 21 – Дах люка вагона-хопера

За фізико-механічними характеристиками найбільш вдалим би тут виступив полікарбонат. За своєю структурою він є нейтральним до харчових і інших типів вантажів і не виділяє шкідливих речовин.

Виготовлення люків вагона-хопера можна на вакуум-формувальної машині (ВФМ). Сам процес формування (рис. 22) включає в себе кілька етапів:

- установка и ущільнення полімерного листа на ложементі ВФМ;
- нагрів листа до високоеластичного стану;
- попереднє пневмоформування (видування купола);
- підйом форми, вакуумне формування.

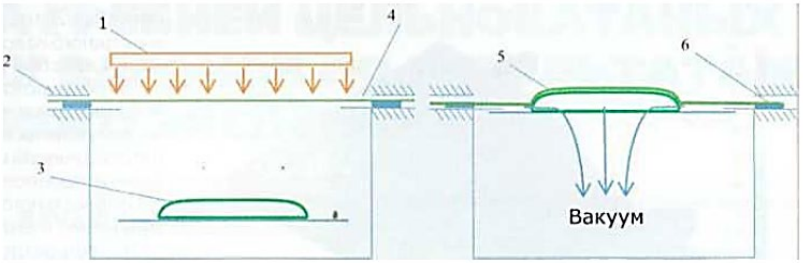

Рисунок 22 – Схема процесу термовакуумного формування: 1 - нагрівальний елемент; 2 – ложемент ВФМ; 3 – листовий полімерний матеріал; 4 – листовий полімерний матеріал; 5 – відформованій виріб; 6 - ущільнення ложемента ВФМ

Стіл з формою піднімається у верхнє положення, під роздутий купол, де кромка столу притискається до ущільнювача на нижній частині ложемента (до ущільнювача на верхній частині ложемента притиснути лист полімеру, який разом з драпіруючим столом утворює герметичну формувальну камеру). з формувальної камери відкачується повітря – проводитися вакуумування. В результаті під дією різниці тисків між атмосферним повітрям і лещатами в формувальній камері розігріта заготовка приймає контури форми, що знаходиться на драпіруючому столі; охолодження виробу; підготовка і з'єм готового виробу [82].

Після виготовлення люка отримаємо виріб, який буде володіти досить високими показниками міцності, зносостійкості, корозістійкості, що значно збільшить тривалість його експлуатації.

3.2 Європейська програма з впровадження композитних матеріалів у конструкції вагонів країн Європі – HYCOTRANS

Учасниками програми HYCOTRANS з впровадження композитних матеріалів у вагонобудуванні є шість країн – членів Європейського союзу:

Великобританія, Німеччина, Іспанія, Португалія, Греція та Італія.

Мета програми – відпрацювання технологій створення надійних і гібридних композитних конструкцій для транспортних засобів, що забезпечують безпеку руху. На думку фахівців вона відображає потребу залізничної галузі в легких матеріалах і в той же час таких, які ефективно поглинають енергію зіткнення, можуть замінити метал, знайти застосування на вантажному та пасажирському рухомому складі, відповідаючи наступним вимогам:

- руйнування конструкції повинно відбуватися передбачуваним чином в режимі пластичної деформації з поглинанням великої кількості енергії при заздалегідь визначеному значенні прикладеного навантаження;

- величина цього зусилля повинна залежати від місця знаходження конструкції;

- бажано використовувати в конструкціях відносно недорогі композиційні матеріали.

Відповідно до програми HYCOTRANS передбачається:

- створити конструкції, які поглинають енергію, з використанням широкого спектра композитних матеріалів;

- розробити типову методику визначення властивостей конструкцій без застосування дорогих повномасштабних випробувань;

- розробити методику проектування енергопоглинаючих конструкцій з нових композитних матеріалів.

Очікують, що в ході виконання програми вдасться отримати в якості кінцевого результату, з одного боку, прототип композитної конструкції, яка захищає від руйнування, а з іншого боку, процедуру випробувань на зменшеній моделі, що дозволить визначити властивості повномасштабної конструкції.

До складу учасників програми HYCOTRANS входять також дві компанії, які, як вважають, втілять результати досліджень у своїй продукції: італійська «Costamasnaga» з виробництва рухомого складу та іспанська «Irizar» з виробництва автобусів. Вони продемонструють користувачами технології, які будуть отримані в разі успішного завершення проекту.

В якості кінцевого результату планують виготовити повномасштабний вагон з встановленим на звичайні візки композитним кузовом, який буде піддаватися ударним випробуванням на дослідній ділянці колії.

Координатором робіт призначений Центр перспективних залізничних досліджень (ARRC) в Шеффілді, Великобританія [80, 81].

3.3 Теоретичні та практичні дослідження з використання композитних матеріалів у конструкції європейських вантажних вагонів

Дослідження перспектив застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів активно займаються науковці Сілезького технологічного університету Польщі.

У роботі [86] її авторами проводилися дослідження з модернізації кузовів вантажних вагонів з використанням композитних матеріалів. При цьому пропонується використання композитних матеріалів, з'єднаних з елементами конструкції зі сталі.

Також в даній роботі розглядалася можливість зменшення ваги вагона при збільшенні його корисного навантаження.

В ході виконання досліджень були розглянуті чотири типи вантажних вагонів:

- тип 1415 A3 – піввагона серії EAOS виробництва Бельгії;
- вагон-хопер типе 418 B;
- вагон-хопер типу FALS словацького виробництва;
- вагон-хопер типу FALS болгарського виробництва.

У якості натурного зразка виступив вагон типу 1415 A3 (рис. 23, 24). Даний вантажний вагон призначений для перевезення вугілля, сипучих матеріалів, має достатньо міцну раму та кузов.

Було досліджено ушкодження кузова вагона, який йшов на ремонт, опитано про типові несправності та проблеми в експлуатації такого типу вагонів у працівників ремонтного підприємства. Серед вагона типу 1415 A3 було виділено корозію стін і підлоги, пошкодженням при розвантаженні за допомогою ковша, екскаватора і т.д.

Рисунок 23 – Вагон типу 1415 А3

Рисунок 24 – Композитна панель дверей вагона 1415 А3

Дослідження модернізованого вагона з композитними панелями проводилося у відповідності з нормами EN 12663-2:2010 [87].

Розрахунки 3-D моделі виконувалися за допомогою методу кінцевих елементів в програмі NX 8.5. Результати розрахунків показали, що напруження в композитних панелях при прикладанні сил на розпирання не перевищили допустимих. Тобто дослідження, виконані у роботі [86], підтвердили можливість використання композитних панелей для вагона типу 1415 А3, які поряд із зменшенням ваги даного вагона, дозволяють підвищити жорсткість конструкції його кузова.

У наступних роботах [88, 89] науковців Сілезького технологічного університету авторами проводилося дослідження перспективи застосування композитних панелей у вагоні типу 418 V (рис. 25). Такі дослідження обумовлювалися частими деформаціями та пошкодженнями кузова даного вагона внаслідок вантажо-розвантажувальних робіт та впливом на нього агресивних вантажів.

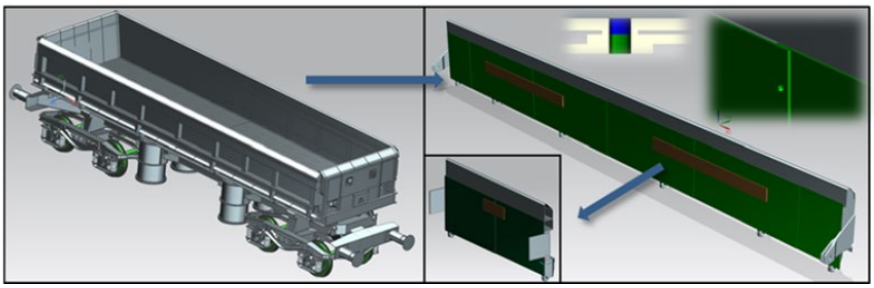

Рисунок 25 – Дослідна модель вагона типу 418 V, обладнаного композитними панелями

Матеріалом для композитних панелей кузова був вибраний композитний матеріал, армований волокнами. В якості матриці використовувалася епоксидна смола, волокон – склопластик і вуглепластик. Обраний композитний матеріал має високу стійкість до зношування, руйнування та володіє хімічною стійкістю.

В результаті проведених комп'ютерних розрахунків була встановлена залежність кута розташування волокон в композитному матеріалі панелі від величин напружень. На підставі цього було визначено найкращий спосіб збирання (через кут розташування волокон) композитних панелей для бічної панелі вагона, щоб мінімізувати напруження, що виникають в ній.

Також була створена модель лабораторного стенду (рис. 26), яка дозволить експериментально перевірити явища, що відбуваються між з'єднаними композитними панелями, встановленими на бокових стінах вантажного вагона.

Рисунок 26 – Модель лабораторного стенда для виропбування композитних панелей кузова

У роботі [90] науковців Нюкаслського університету (Британія) проводилися дослідження з ефективності використання елементів конструкції вагона-хопера (рис. 27, 28), виготовлених з композитних матеріалів. Так в роботі було наведено порівняння ваги елементів конструкції вагона-хопера традиційної конструкції із сталі та хопера, деталі якого виготовлені з композитних матеріалів. В роботі було продемонстровано, що загальна оптимізація основних частин конструкції дозволяють знизити загальну масу вагона на 20 – 27%.

Результати досліджень показали, що нові елементи конструкції вагона з композитних матеріалів можуть успішно використовується для розробки стійких, міцних і полегшених вантажних вагонів. Також наголошувалося на необхідності

подальших досліджень таких вагонів.

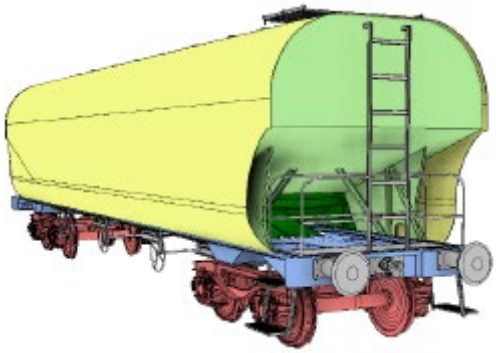

Рисунок 27 – Проект вагона, елементи конструкції якого виготовлені з композитних матеріалів (запропонований в роботі [90])

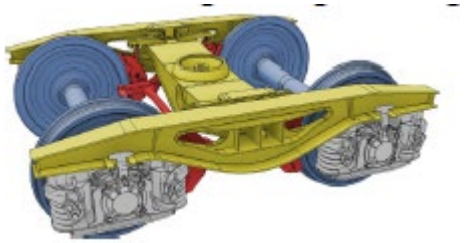

Рисунок 28 – Проект візка вагона, рама якого виготовлвена з композитних матеріалів (запропонований в роботі [90])

Особливої уваги заслуговує робота [91], у якій проводилися дослідження з можливості використання композитного матеріалу при конструюванні котла вагона-цистерни. Авторами роботи [91] перевірялися ударні характеристики великих попередньо навантажених композитних котлів під тиском. Особлива увага приділяється мінімізації впливу попереднього навантаження конструкції на характерні ударні характеристики. Такі дослідження проводилися, оскільки конструкція вантажного вагона-цистерни може зазнавати значних навантажень під час нормальної експлуатації через вплив на неї тиску і напружень, які передаються від ходової частини. Ці напруження впливають на реакцію котла на пошкодження при ударному навантаженні.

Дослідження показали, що попереднє навантаження негативно позначається на удароміцності великого композитного котла, ступінь якої залежить від багатьох факторів, включаючи характеристики удару та укладання волокон в композитному матеріалі. Внаслідок експериментальних ударянь цистерни вдалося викликати помірні рівні розтріскування матриці композитного матеріалу. Крім того, реакція на пошкодження більшою мірою характеризувалася розшаруванням і розривом волокон. Це показало, що попереднє навантаження впливає на ударну реакцію високонапружених композитних конструкцій, особливо коли величина енергії

удару велика. Різниця в реакції на удар між одновісним і двовісним навантаженими зразками була незначною. Це вказує на те, що осьове навантаження було домінуючим напрямком попереднього навантаження, яке вплинуло на реакцію на удар. Обумовлено це з тим, що осьове навантаження не діє в основному напрямку волокон, що викликає високі рівні напруження в полімерній матриці.

Результатом цього дослідження було розуміння того, що не тільки величина, але і напрямок попереднього натягу композитного матеріалу можуть впливати на ударні властивості композитної конструкції. Це особливо доцільно для композитних конструкцій з неквазіізотропним укладанням. Автори прийшли до висновку, що попередній натяг, який діє не вздовж основного напрямку волокна, гірше позначається на опорі удару, ніж попередній натяг, який діє паралельно основному напрямку волокна. Це підкреслює необхідність ретельного розгляду компонування композиту при проектуванні та виробництві високонапружених композитних конструкцій, особливо тих, які схильні до ударних пошкоджень. Тому компонування композитного котла слід вибирати так, щоб волокна розташовувалися паралельно основним напрямкам навантаження. Це знижує вплив попереднього навантаження на ударні характеристики конструкції.

3.4 Вимоги європейських норм щодо композитних матеріалів та елементів конструкції вантажних вагонів, виготовлених з них

До композитних матеріалів пред’являється низька вимог, що передусім визначаються умовами роботи та експлуатації вузла чи деталі вантажного вагона, які з них виготовляються.

Так, до прикладу при проектуванні кузова вантажного вагона з композитного матеріалу він повинен відповідати вимогам EN 12663-2 [87], який встановлює мінімальні вимоги до конструкції кузовів вантажних вагонів та визначає навантаження, які він повинен витримувати. Тобто при проектуванні композитного кузова він за своїми характеристиками не повинен поступатися кузову, виготовленого із традиційних сталей, які використовуються у вагонобудуванні.

Так само стосовного візків вагонів, які повинні відповідати документу EN

13749:2011 [92]. Даний документ визначає всі технічні вимоги щодо процесу приймання візків вантажних вагонів, навантаження, які вони повинні витримувати, для досягнення повністю задовільної їхньої конструкції. Тому при проектуванні композитного візка чи візка з композитними елементами повинні додержуватися вимоги EN 13749:2011.

Аналогічно при проектуванні гальм, автозчепного обладнання та іншого обладнання вантажних вагонів повинні бути додержані вимоги відповідних європейських стандартів.

Стосовно документів, що містять вимоги щодо самого композитного матеріалу, то ту можна виділити наступні:

- EN 60695-11-10 – описує методи перевірки займання композитних матеріалів [93];

- німецький стандарт DIN EN ISO 14125-1998 – визначає порядок визначення гнучкості композитних матеріал на основі склоплатика [94];

- EN ISO 527-4 – встановлює умови випробування ізотропних та ортотропних армованих волокнами пластикових композитів [95];

- BS EN ISO 14126:1999 – регламентує порядок визначення стискаючих властивостей у прямолінійному напрямку армованих волокнами пластикових композитів [96];

- ISO 14127:2008 – визначає методи розрахунку вмісту смоли, волокна та порожнечі армованого вуглецевим волокном композиту [97];

- ISO 20144:2019 – визначає процедуру початкової атестації композитних матеріалів, щоб можна було провести контроль якості, вибір матеріалів і попереднє проектування [98];

- ISO 12817:2013 – визначає методи випробування для визначення міцності на стиск у відкритих отворах ламінованих композитів із армованого волокном пластику [99];

- ISO 15024:2001 – регламентує метод визначення міжшарового руйнування односпрямованих армованих волокнами пластикових композитів. Застосовується до термореактивів та термопластів, армованих вуглецевим волокном та армованим

скловолокном [100].

- ISO 15114: 2014 – встановлює метод визначення опору розшаруванню навантаженням зсуву односпрямованих армованих волокном пластикових композитів з використанням каліброваного випробування на поділ з торцевим навантаженням (C-ELS) [101];

- ISO 18352:2009 – регламентує метод визначення залишкової міцності на стиск багатоспрямованих багатошарових композитних плит з полімерної матрицею, які були пошкоджені ударом до прикладання стискаючого навантаження в площині. Цей метод випробувань підходить для композитів з полімерною матрицею, армованої безперервним волокном. Застосування методу обмежене пластиковими ламінатами, армованими волокном з багатьма напрямками армуванням, виготовленими з односпрямованих препрегових стрічок / тканин або тканинних матеріалів [102].

Це далеко неповний перелік нормативних документів, у яких встановлені вимоги щодо характеристик композитних матеріалів та їхніх властивостей. Тому вибір необхідного композитного матеріалу для виготовлення елементів конструкції вантажних вагонів являється непростою задачею.

3.5 Використання композитних матеріалів у конструкції вагонів залізниць США

Для залізниць США з композитних матеріалів в основному виготовляють такі деталі і вузли:

- фрикційні планки, вкладиші підп’ятників, елементи настилу підлоги, де потрібні тривалий термін служби і зносостійкість. Традиційним постачальником продукції такого роду є фірма «Zeftek», але останнім часом на ринок виходять і нові компанії, такі як «Holland» (фрикційні планки та ізолюючі втулки), «Brenco» (сепаратори підшипників, фрикційні кільця) та «TransTech Products» (скло);

- більші деталі: розсувні і орні двері, внутрішні перегородки, де факторами вибору матеріалу є зменшення маси та підвищення опору пошкодженню. Високоміцні композиційні матеріали застосовуються також для виготовлення торцевих дверей вагонів для перевезення автомобілів, а також панелей дахів і

бокових стінок. Тут лідируючі позиції займає фірма «Prime Composites», відома також продукція фірм «Railcar Specialities» і «Youngstown Steel Door».

Вантажні залізниці США поки не розглядали композиційні матеріали в якості основних конструкційних для вагонів, за винятком «Burlington Northern» («BN»), яка ще до злиття з «Santa Fe» мала досвід спільної роботи з компаніями «Trinity Industries» (відділення Railcar) і «DuPont-Hardcore» із створення двох типів полегшених ізотермічних вагонів великої місткості.

На думку розробників такі вагони могли б сприяти поверненню залізниць на ринок перевезень швидкопсувних вантажів, який був практично втрачений через недостатньо інтенсивні заміни та модернізації старіючого парку вагонів-рефрижераторів з механічним охолодженням і ізотермічних вагонів.

Так «Trinity» отримала перше замовлення на вагони-рефрижератори з кузовами з композитних матеріалів (рис. 29). За цими вагонами можуть незабаром піти у виробництво вагони інших типів, такі як криті вагони-хопери. У цьому випадку знадобиться співпраця багатьох сторін: залізниць, вагонобудівників, постачальників сировини та проектувальників [80-81].

Рисунок 29 – Рефрежираторний вагон з композитним кузовом компанії «Trinity Industries» [103]

На відміну від вагонів-рефрижераторів, для яких потрібні плоскі композитні панелі, для виготовлення критих хоперів будуть потрібні конструкції на базі скловолокна, отримані методом намотування, тобто на набагато більш передовій технології, ніж ті, які використовувалися при будівництві двох вагонів типу «Glasshopper», поставлених багато років тому фірмою «ACF Industries» залізниці «Southern Pacific» та компанії «Cargill».

Умови контрактів і спільної роботи не розголошуються, але ясно, що основний

упор робиться на зниження вартості виготовлення і, відповідно, ціни нового рухомого складу. Отже, необхідно знайти таке поєднання матеріалів і технології, щоб забезпечити прийнятну собівартість, зниження експлуатаційних витрат у розрахунку на весь термін служби, а звідси – привабливість для потенційних покупців. Важливі, звичайно, такі фактори, як зменшення власної маси конструкції вагонів, збільшення місткості, вантажопідйомності, поліпшення теплоізолюючих та інших експлуатаційних характеристик.

Окрім «Burlington Northern», замовником компанії «Trinity» стала залізниця «Union Pacific (UP)» - 50 вагонів з можливим збільшенням замовлення. Вагони для «UP» будуть побудовані на заводі в Нью-Каслі, штат Делавер, співвласниками якого є «Trinity» та «Hardcore». У міру виконання замовлення та введення вагонів в експлуатацію з їхніми перевагами та недоліками зможуть ознайомитися інші можливі покупці. Для обґрунтованого міркувань про доцільність покупки необхідно накопичити досвід експлуатації парку чисельністю щонайменше в сотні вагонів. Якщо до таких досліджень приєднаються ще кілька залізниць і підприємств-вантажовідправників, така цифра цілком досяжна.

Крім вагонів-рефрижераторів, «Trinity» вивчає питання застосування композитних матеріалів в рухомому складі інших типів. Планувалося використовувати нові матеріали в вагонах типу «Power-Flo» (рис. 30), а також випустити 150 критих вагонів з композитними дахами; такі вагони вважаються майже ідеальними для перевезення паперу.

Рисунок 30 – Вагонах типу «Power-Flo» [104, 105]

Розглядали також стан ринку вагонів-хоперів, які використовуються, зокрема,

при перевезенні зерна. У перерахунку на вагонні відправки зерно займає третє місце серед вантажів, що перевозяться залізницями США. Вважають, що більша частина зерна і надалі буде відправлятися по залізницях.

У той же час вагонний парк старіє, і в подальшому необхідність в його заміні буде відчуватися все гостріше. Проте при наданні пропозиції щодо вагонів для оновлення парку слід забезпечити відповідність ціни економічній вигоді (експлуатаційній, маркетинговій, а також фінансовій), яку можна отримати від використання вагонів з композитними кузовами. Важливо продемонструвати переваги нових вагонів вже на дослідних зразках, інакше ставлення до них буде критичним.

Останнім часом активність залізниць в просуванні дійсно новаторських технічних рішень знизилася. З цим зіткнулися фірми «Standard Car Truck» і «Lockheed Martin», коли вони запропонували декільком залізницям організувати партнерські взаємини, в рамках яких залізниці купили б і випробували візки абсолютно нової конструкції для вантажних вагонів. Шкворневую балку і боковини таких візків пропонували виготовити з високоміцного композиційного матеріалу, що дозволило б при збереженні структурної цілісності конструкції значно зменшити її масу. Проте такий візок набагато дорожчий від наявних на даний час на ринку удосконалених візків фірм «ASF», «Buckeye Steel Castings» і тієї ж «Standard Car Truck». Розробники нових візків пропонували співпрацю всім великим залізницям, роблячи акцент на їхніх експлуатаційних і економічних перевагах. Тому створення композитної візки не просувається до цих пір.

Краща ситуація з менш революційним проектом – дверей з композиційного матеріалу, які поставляються різними фірмами та проходили випробування в різних умовах експлуатації на кількох залізницях. Вартість композитних дверей, розсувних або орних, може перевищувати вартість звичайних в 2 рази, але матеріал, з якого вона виготовляються, має властивість відновлювати форму після деформації, а, отже, в разі пошкодження дверей немає необхідності відставляти вагон від експлуатації, як це доводиться робити для заміни металевих дверей, які не відновлюють форму після пошкодження, наприклад, вилковим підйомником.

Прогноз витрат в розрахунку на весь термін служби показує, що вартість двох замін звичайних металевих дверей компенсує більш високу вартість композитної двері. Той факт, що звичайні двері через пошкодження доводиться міняти 1-2 рази на рік, стало для однієї з залізниць серйозним аргументом для розміщення замовлення на 1000 композитних розсувних дверей в ході модернізації експлуатованих вантажних вагонів.

Розширенню масштабів застосування композитних матеріалів за рахунок залучення нових покупців можуть сприяти аргументи, засновані на доказах економічної ефективності.

Наприклад, компанія «Brenco», відзначаючи експлуатаційні переваги поліамідних сепараторів, які використовуються в підшипниках типу «Generation 2000», вказує на значну економію, досягнуту завдяки застосуванню композитних фрикційних кілець, які протягом року проходили випробування в вагонах маршрутного вугільного поїзда. Призначенням фрикційного кільця є усунення кільцевого зносу шийки осі з заздалегідь виконаної канавки при поганій фіксації підшипника та запобігання подальших її пошкоджень. Раніше канавки відновлювалися методом гальванічного металізації, що обходилося приблизно в 200 доларів на вісь. Використання композитних фрикційних кілець дозволить позбутися від цих витрат.

Економічна ефективність нового рухомого складу підвищується в міру збільшення обсягу продукції та чисельності експлуатованого парку.

Однак висока ціна дослідних зразків поки не сприяє зростанню обсягу замовлень. Залізниці (і не тільки вони), оцінюючи можливість повернення конкурентоспроможності на транспортному ринку, зіставляють потенційні вигоди з необхідними витратами. У той час як ринок звичайних вантажних вагонів сформувався, а позиції залізниць в перевезеннях масових вантажів стабільні, в перевезеннях швидкопсувних вантажів конкуренція автомобільного транспорту ще гостріша, і за результат тут ще ручатися не можна, навіть не дивлячись на позитивні результати випробувань вагонів-рефрижераторів, побудованих «Trinity» для компанії «Coors», інтерес до яких проявили «Tropicana» і інші компанії, що

виробляють продукти харчування [80, 81, 106].

На думку прихильників композитних матеріалів, одні залізниці США використовують можливості, що надаються композитними конструкціями кузовів і іншими деталями вагонів, а інші як і раніше звертають увагу тільки на ціну композитних матеріалів в порівнянні з металами [107].

Проте у США, на відміну від Європи композитні матеріали більш ширше використовуються в вагонобудуванні. На Європейських залізницях наявні на сьогодні упередження, згідно з якими легкі матеріали дають слабкий захист. Через це більшість фахівців залізниць Європи традиційно не розглядали можливість застосування інших матеріалів, крім металів, і відстали від технологій, які швидко розвивалися та пов'язані з композитними матеріалами.

3.6 Застосовування композитних матеріалів у вагонобудуванні Росії

У Росії на залізничний транспорт припадає чимала частка вантажоперевезень. Так, в 2022 році за допомогою нього було перевезено 4292,2 млн т вантажу (в т.ч. 1217,9 млн т – залізничним транспортом загального користування та 3074,3 млн т – промисловим залізничним транспортом), що становить 40,7% від загального обсягу вантажоперевезень. За обсягом перевезених вантажів залізничний транспорт поступається лише автомобільному транспорту, яким в 2021 році було перевезено 5038,7 млн. т вантажу – 47,8% від загального обсягу вантажоперевезень в даному році. Також вантажоперевезення здійснюються морським, водним, повітряним і трубопроводним транспортом, на які припадає близько 11,5% загального обсягу перевезених вантажів [108, 109].

З 2012 року на РЖД спостерігається зниження як обсягів вантажоперевезень залізничним та автомобільним транспортом, так і загального обсягу вантажоперевезень транспортом всіх галузей економіки, обумовлене більшою мірою спадом попиту на російську продукцію на зарубіжних ринках.

Однак, незважаючи на те, що обсяг вантажоперевезень залізничним транспортом зменшується, його показник вантажообігу має тенденцію до зростання, що свідчить про збільшення дальності перевезень вантажів залізничними коліями. Вантажообіг автомобільного транспорту в міру зменшення

обсягу вантажоперевезень також показує тенденцію до зростання (рис. 31).

Залізничним транспортом в Росії перевозять безліч видів товарів: кам'яне вугілля, нафта та нафтопродукти, будівельні вантажі, руду, чорні метали, хімічні та мінеральні добрива, лісові вантажі, цемент, зерно та продукти перемолу, лом чорних металів, кокс, імпортні вантажі, комбікорми та ін. [110]. В основному загальний обсяг вантажоперевезень залізничним транспортом складають такі окремі види вантажів, як кам'яне вугілля, нафта та нафтопродукти, будівельні вантажі. Якщо обсяги перевезень нафти та нафтопродуктів за останній рік знизилися на 2 і 7,2% відповідно, то обсяг перевезень кам'яного вугілля, навпаки, виріс на 3%.

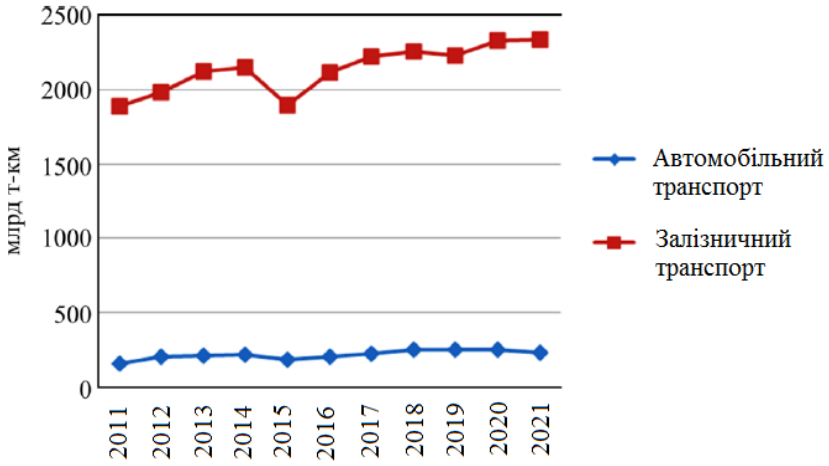

Рисунок 31 – Порівняння вантажообігу автомобільного та залізничного транспорту в Росії

Для здійснення перевезень вище наведених вантажів російським залізницям необхідний якісний парк вантажного рухомого складу з достатньою кількістю робочих одиниць [111]. За підсумками 2021 року загальний парк вантажних вагонів на мережі РЖД склав 1198,8 тис., робочий парк – 998 тис. од. Загальний парк вантажних вагонів за підсумками року містить 515 тис. піввагонів, 249 тис. нафтобензинових цистерн, 65 тис. критих вагонів, 50 тис. платформ та ін. За 10 років загальний парк вантажного рухомого складу збільшився на 270,4 тис., зокрема кількість одиниць піввагонів збільшилася майже в 2 рази, що відбилося на структурі парку (рис. 32) [112].

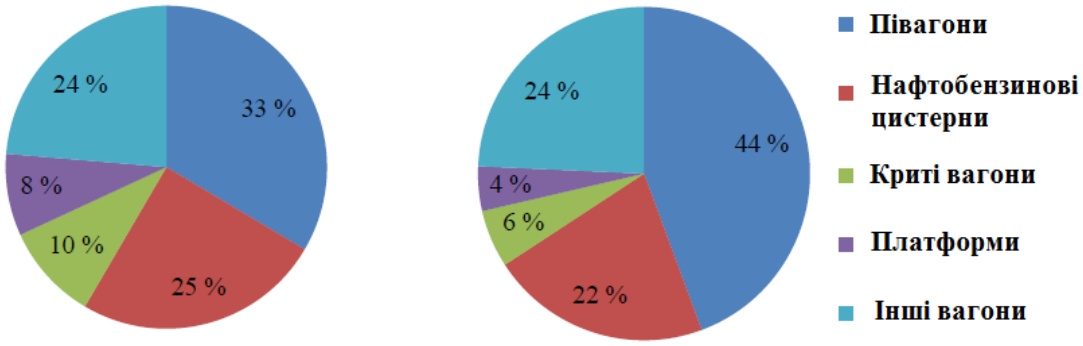

Рисунок 32 – Зміна структури парку вагонів Росії з 2011 до 2021 року

Слід також зазначити, що в цілому на російських залізницях спостерігається профіцит вантажного рухомого складу, основним фактором якого є значне збільшення нового рухомого складу на мережі в сукупності з економічними факторами та обмеженими можливостями інфраструктури. Крім того, свою роль зіграло падіння темпів навантаження через погіршення економічних умов і відтоку вантажів на інші види транспорту. Внаслідок того, що існують межі пропускних спроможностей залізничної мережі, профіцит вантажних вагонів вважається більш небезпечним, ніж їх дефіцит. Оскільки зайвий вагон, який опинився на шляхах загального користування, заважає руху, здійснюється додаткова вантажна робота, яка не тільки не створює додаткової вартості, а й знижує загальні показники ефективності перевезень [113].

У зв'язку з цим наказом Міністерства транспорту Росії з 1 січня 2016 року було введено заборону на продовження терміну служби вантажних вагонів. Очікується, що заборона на продовження терміну служби викличе реальний попит на нові вагони. За нормативами середній термін служби вантажних вагонів в Росії становить 26 років. Однак, згідно з оцінкою РЖД, виконаної на початок 2020 року, нормативний термін служби закінчився у близько 70 тис. вагонів. Для вантажних вагонів також планується вихід на довгостроково стійкий рівень списання в 20-30 тис. одиниць на рік. Це, за прогнозами російських аналітиків, буде сприяти усуненню профіциту вантажних вагонів і формуванню потреби в нових вагонах на рівні 40-50 тис. вагонів на рік, що вище рівня списання з метою оновлення парку та розвитку галузі залізничних перевезень.

Підтвердженням цьому стало виготовлення в 2021 році 50-54 тис. вагонів [114].

На даний час основними матеріалами, які використовуються в вагонобудуванні Росії, є вуглецеві та низьколеговані сталі та алюміній.

Проте останнім часом увага російських вагонобудівників падає на композитні матеріали, які мають багато переваг у порівнянні з традиційними.

Так в Росії підрахували, що в середньому вартість інноваційного вантажного вагона становить 2,2 млн руб. Вартість «звичайного» вантажного вагона – 1,7 млн. руб. Однак відносно висока початкова вартість інноваційного рухомого складу компенсується, зокрема, за рахунок збільшеного до 500 тис. км міжремонтного пробігу (проти 160-200 тис. км «звичайного» вагона), що дозволяє знизити в 2 рази витрати оператора на весь життєвий цикл вагона.

Порівняння вартості життєвого циклу «звичайного» і інноваційного вагона в відносних величинах наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняння вартості життєвого циклу «звичайного» та інноваційного вагона

Показник	«Звичайний» вагон	Інноваційний вагон
Одноразові витрати (на придбання та утилізацію), млн руб.	1,7	2,2
Періодичні витрати (на експлуатацію), млн руб.	4,25	1,7
Вартість життєвого циклу за весь період експлуатації, млн руб.	5,95	3,9
Середній термін експлуатації, років	26	32
Вартість життєвого циклу в рік, тис. руб.	228,8	121,9

Проте лише мала частка вагонобудівних заводів Росії здійснює технічну модернізацію своїх вагонів. Тільки такі виробники, як НВК «Уралвагонзавод» і «Тихвинський вагонобудівний завод» анонсували програми випуску інноваційного рухомого складу [115]. Інноваційна спрямованість цих завод проявляється, зокрема, у випуску вантажних вагонів з навантаженням на вісь 25 тс (звичайне навантаження 23,5 тс). Саме «Тихвинський вагонобудівний завод» і НВК «Уралвагонзавод» визнаються лідерами російського вагонобудування і тільки вони

в Росії займаються розробкою проектів щодо укомплектування своїх вагонів компонентами з композитних матеріалів.

При тому, що на «Тихвинському вагонобудівному заводі» ведуться лише теоретичні дослідження із застосування композитних матеріалів, в НВК «Уралвагонзавод» вже реалізований проект з виготовлення стіклопластикового даху для вагона-хопера моделі 19-5153-02, призначеного для перевезення мінеральних добрив та інших безпечних сипучих вантажів (рис. 33).

Рисунок 33 – Вагон-хопер моделі 19-5153-02 зі знімним дахом з композитних матеріалів [116-118]

Вагон-хопер моделі 19-5153-02 обладнується візками моделі 18-194-1 з осьовим навантаженням 25 т/вісь, вантажопідємністю 71 т, об’ємом 86 м³, масою тари 22,5 т. Легкий знімний дах з композитного матеріалу несприятливий до хімічного контакту з мінеральними добривами. У порівнянні з вагоном з металевим дахом, вагон з дахом з композиту має знижену масу тари (на 1 т) і збільшену вантажопідйомністю (на 1 т) та об’єм (на 3 м^3).

«Уралвагонзавод» виготовляє не тільки вагони-хопери з дахом із склопластику, але й цілу конструкції кузова вагона у вигляді обшивки зі склопластику. Це вагон-хопер моделі 19-5167 (рис. 34) для перевезення мінеральних добрив та сипучих вантажів. Конструкція композитного кузова даного вагона-хопера є обшивка зі склопластику, яка підкріплена внутрішнім силовим набором, що складається з семи поперечних шпангоутів і центральної хребтової рами, що заходить на торцеві стіни. Вантажопідємність даного вагона становить 74 т, об’єм кузова 125 м³, маса тари 25,5 т. При дотриманні умов експлуатації термін служби вагона складе до 100 років.

Крім того, підприємство виготовляє контейнер-цистерну з котлом з композитних матеріалів (рис. 35). Така контейнер-цистерна призначена для вантажоперевезень автомобільним, залізничним, морським транспортом небезпечних вантажів. Вона, в порівнянні з цистерною з традиційних матеріалів, легше в 5 раз. Маса тари контейнер-цистерни 4,5 т, об'єм 24 м³, термін служби – до 100 років.

Рисунок 34 – Вагон-хопер моделі 19-5167 з композитних матеріалів [119-121]

Рисунок 35 – Контейнер-цистерна з композитних матеріалів [122-124]

Подальші шляхи застосування композитних матеріалів на «Уралвагонзаводі» бачать в наступних елементах конструкції вантажних вагонів [125]:

- в знімних пристроях вагона-платформи для захисту вантажів від атмосферних опадів;

- в кришках розвантажувальних люків;

- в зсувних дверях критого вагона;

- в поручнях, підніжках, перехідних площадках, сходах.

Таким чином впровадження в вагонобудування композитних матеріалів в Росії бачать одним з можливих шляхів інноваційного розвитку залізничної галузі, яка на сьогодні перебуває не в найкращому стані.

4 КРОКИ, ЯКІ НЕОБХІДНІ ПРОЙТИ УКРАЇНСЬКИМ ВАГОНОБУДІВНИКАМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ВАГОНІВ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Загальні заходи з розвитку вагонобудування в Україні

Для розробки інноваційного вантажного рухомого складу необхідним є проектування та реалізація на практиці оптимальних конструктивних рішень конструкцій вагонів на основі використання сучасних машинобудівних технологій з проектування, виготовлення, зварювання, прогресивних матеріалів та сучасних засобів теоретичного та експериментального дослідження нової техніки на рівні світових стандартів. Створення і впровадження сучасного вантажного рухомого складу нового покоління вирішить важливе народно-господарське завдання: прискорену заміну зношеного парку вантажних вагонів, істотне підвищення його продуктивності, зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також підтримку та розвиток промисловості й транспортної системи України.

При цьому необхідне прийняття комплексної державної програми оновлення вантажного рухомого складу. Вона повинна включати стимули до оновлення парку вантажних вагонів, а також чіткі критерії і порядок виведення з експлуатації вагонів з вичерпаним терміном служби. На сьогодні є необхідність щорічного заміщення близько 12-15 тис. старих вагонів новим рухомим складом.

Очевидно, коли в країні через ввезення б / у вагонів з вичерпаним терміном експлуатації сформувався рекордний профіцит рухомого складу, галузь вагонобудування не зможе самостійно без втрат вийти з такої кризової ситуації.

Реалізація програми оновлення вагонного парку з максимальним залученням українських виробників, дозволить забезпечити ріст ВВП, а також наростити надходження до бюджетів усіх рівнів.

Міністерство інфраструктури України у 2020 році розробило проект наказу «Про затвердження Порядку встановлення заборони експлуатації вантажних вагонів на залізничному транспорті», яким визначається механізм заборони експлуатації транспортних засобів, зокрема вантажних вагонів залізничного

транспорту, і запроваджується обмеження щодо продовження строку служби певних типів вагонів, зокрема піввагонів та зерновозів, а саме не більше ніж на півтори від призначеного терміну експлуатації. На сьогодні четвертий варіант проекту наказу МІУ узгоджений Державної регуляторної службою України і знаходиться на реєстрації в Міністерстві юстиції України [126-128].

Даний документ є достатньо важливим, оскільки купівля старого вагона – це вирішення локальної проблеми. Але через кілька років з'являються інші складності. Термін служби таких вагонів обмеженим, а витрати на обслуговування значно більші, ніж у нових. Також потрібно розуміти, що старі вагони розбивають і псують колію. Вони не дають ефективно використовувати локомотивний парк, більше часу проводять в ремонтах. Тобто існує ціла низка додаткових витрат, які пов'язані з використанням застарілої техніки.

За його оцінкою, якщо рішення про обмеження строку експлуатації вантажних вагонів буде прийнято, це дозволить наростити випуск рухомого складу на українських вагонобудівних заводах до 20 тис. одиниць на рік. Це дасть роботу не тільки вагонобудівників, а й працівникам суміжних підприємств, задіяних в провадженні кінцевого продукту.

Відповідно після цього найбільш очевидним стане підвищення вимог щодо здійснення своєчасних і якісних ремонтів, а їх відповідність нормативним документам може стати одним із чинників завантаження виробничих потужностей вагонобудівних та вагоноремонтних підприємств.

Тому існує необхідність цілеспрямування відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт на розроблення зразків вагонів нового покоління, що безпосередньо пов'язано із застосуванням нових напрямків при проектуванні їхньої конструкцій.

Враховуючи високі показники надійності та економічної ефективності вагонів, виготовлених із застосуванням композитних матеріалів, українським вагонобудівниками необхідні напрацювання у цьому напрямку. Переваги у застосування композитних матеріалів відчули залізниці США, Росії та намагаються не відставати і проводити наукові дослідження, розробляти цільові

програми в Європі. Отримання цього ефекту стало можливим завдяки інноваційній роботі промислових і наукових організацій країни, що дала змогу створити якісно новий рухомий склад за рахунок комплексного застосування новітніх конструктивних рішень, ефективних матеріалів з поліпшеними показниками міцності, зносостійкості й надійності, а також сучасних технологій зварювання та зміцнення.

4.2 Заходи, які необхідні для виготовлення вантажних вагонів з композитних матеріалів

Робота щодо створення вагонів з композитних матеріалів повинні базуватися на новітніх досягненнях в області розробки матеріалів, технологій їх виготовлення та застосування. Запропоновані матеріалознавчі, технологічні та конструкторські рішення повинні бути обґрунтовані та підтверджені експериментальними дослідженнями. Результати досліджень повинні відповідати прогнозованому науково-технічному рівню та повинні бути конкурентоспроможними по відношенню до існуючих, в тому числі закордонним аналогам.

Загальний перелік робіт повинна включати розробку:

- складу полімерного сполучника та технологію його виготовлення;

- полімерного композитного матеріалу нового покоління, призначеного для серійного виробництва елементів та деталей вагонів;

- методик розрахунку та проектування деталей з урахуванням технологічних особливостей процесу виготовлення всього вагона та властивостей полімерного композитного матеріалу;

- конструкторської документації на конструктивні елементи вагона;

- конструкторської документації, виготовлення спеціального технологічного устаткування та оснащення для виробництва дослідних серій вагонів;

- технології серійного виробництва полімерних композитних матеріалів нового покоління, армованих скловолокном, призначених для виготовлення деталей вагонів;

- технології серійного виробництва вагона з полімерних композитних матеріалів нового покоління, армованих скловолокном;

- технології неруйнівного контролю деталей вагона, виготовлених з полімерних композитних матеріалів нового покоління, армованих скловолокном;

- технології ремонту та відновлення, виготовлених з полімерних матеріалів деталей вагонів;

- рекомендацій з експлуатації та утримання деталей вагонів з полімерних матеріалів [84].

Крім того необхідно виконати:

- підбір функціональних матеріалів (покриттів), що забезпечують захист конструкції вагона від старіння під впливом несприятливих експлуатаційних факторів і розробку технології їх нанесення;

- створення пілотного об'єкту – елементу вагона для рейкового транспорту з полімерного композиційного матеріалу нового покоління;

- організацію серійного виробництва полімерних композитних матеріалів нового покоління, армованих скловолокном (SMC).

- створення серійного виробництва елементів та деталей вагона з полімерних композитних матеріалів нового покоління, армованих скловолокном;

- порядок утилізації відходів.

Композитний матеріал, розроблений для вантажних вагонів, повинен:

- забезпечити зниження експлуатаційних витрат та підвищення експлуатаційної надійності;

- володіти високою корозійною стійкістю;

- забезпечити термін експлуатації несучих конструкцій вагонів не менше 35 років.

- бути стійким до впливу атмосферних опадів, динамічних, ударних і вібраційних навантажень, що виникають при русі вагона, до короткочасного впливу гарячих мийних засобів, палива, мастильних матеріалів, нейтральним до харчових вантажів, стійким до впливу агресивних середовищ;

- зберігати свої фізико-механічні характеристики при заданих температурах.

Звісно, окрім вищепереліченого, ще однією важливою умовою має бути найкраще співвідношення «ціни і якості» конструктивних елементів вагона або

його конструкції в цілому, що відповідно забезпечить доцільність серійного виробництва.

Собівартість типової волокнистої полімерної композиції, як правило, в 3 рази вища за собівартість сталевого листа, тому при обґрунтуванні вибору композитного матеріалу необхідно враховувати інші можливі переваги. Наприклад, при використанні деталей, до яких пред'являються підвищені вимоги за механічними властивостями, можлива економія за рахунок товщини та маси деталі. Для деталей складної форми витрати на обробку в порівняно з деталями зі сталевого листа можуть бути значно меншими.

Вартість виробництва волокнистої полімерної композиції визначається витратами на необхідне технологічне обладнання, які в свою чергу залежать від числа виготовлених деталей. На формування деталі з волокнистої полімерної композиції зазвичай витрачається більше часу, ніж на штампування сталевого листа, однак сумарна вартість обробки включає в себе деякі додаткові фактори. Наприклад, внаслідок виключення в ряді випадків операцій зборки та забарвлення композитний матеріал може бути більш економічним.

Вартість оснащення для формування волокнистої полімерної композиції становить близько 10% вартості обладнання для формування металевого листа. З цих міркувань при випуску партії виробів загальна економія може бути тим більш суттєвою, чим вища вартість одиниці виробу. У зв'язку з цим помірні витрати на обладнання в разі застосування волокнистої полімерної композиції дозволяють розглядати композитний матеріал як найбільш економічний для отримання деталей кузовів [81].

Одночасне вирішення завдань, що стоять перед розробниками та виробниками виробів для залізничного транспорту неможливо без ефективного спільного використання традиційних і перспективних композитних матеріалів; без розвитку багатофункціональних конструкцій, здатних одночасно витримувати все різноманіття механічних навантажень і вплив навколишнього середовища. У багатьох випадках це вимагає використання нової для даної галузі технології, яка раніше застосовувалися для аерокосмічної галузі.

5 ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

Формування структури композитних матеріалів, а також оцінку їх фізико-механічних характеристик необхідно проводити на стадії проектування.

Розглянемо проектування структури та властивостей термопластичного полімерного матеріалу, що складається з поліпропілену, посиленого хаотично розташованими базальтовими дискретними волокнами. В даному випадку ми маємо двокомпонентний композит на основі коротких волокон хаотичної структури. Цей матеріал можна віднести до ізотропних матеріалів, властивості яких однакові у всіх напрямках [129].

На стадії проектування композитів визначають його структуру та фізико-механічні характеристики: масову частку волокнистого наповнювача, щільність, критичну довжину волокон, міцність та модуль пружності. Фізико-механічні властивості композитів істотно залежать від відносного вмісту компонентів. Кожен композит характеризується своїм значенням масової частки волокнистого наповнювача ($\nu_в$), яке для обраного полімерного сполучника тим менше, чим міцніше армуюче волокно, а при обраному типі волокон зростає зі збільшенням міцності матриці. Для композиту з неорієнтованою структурою рекомендований вміст наповнювача варіюється від 30 до 45%. Ці значення отримані з урахуванням мінімальної та критичної концентрації волокон для композитів, у яких матриця більш пластична, ніж волокна.

Щільність проектованого композиту ($\rho_{км}$) може бути визначена (враховуючи адитивне правило) за такою залежністю:

$$\rho_{км} = \rho_в \cdot \nu_в + \rho_м \left(1 - \nu_в\right), \qquad (1)$$

де $\rho_в, \rho_м$ – щільність базальтового волокна і щільність матриці, *кг/м³*; $\nu_в$ – масова доля наповнювача.

Зокрема, для базальтопластика, що проектується, при $\nu_в$ = 0,35, щільності базальтових волокон $\rho_в$ = 2600 *кг/м³* і щільності поліпропілену $\rho_м$ = 910 *кг/м³* щільність композиту буде дорівнювати:

$$\rho_{км} = 2600 \cdot 0,35 + 910 \cdot (1 - 0,35) = 1509 \, кг / м^3.$$

Необхідний вміст наповнювача з урахуванням кінцевих ефектів армуючого матеріалу можна також визначати за заданою міцністю або за щільністю композита.

Критична довжина волокон – інший важливий параметр при проектуванні композитів. При армуванні короткими дискретними волокнами необхідно враховувати так званий „кінцевий ефект", пов'язаний з концентрацією напружень. Напруження по довжині волокна розподіляється нерівномірно. На кінцях волокон напруження відсутні, вони зростають від кінців до середини. Тому міцність при розтягуванні для таких матеріалів залежить від критичної довжини волокон ($l_{кр}$). При дійсній довжині волокон $l > l_{кр}$ вони руйнуються від напружень, що розтягують, при $l < l_{кр}$ напруження розтягу не викликають руйнування волокна і воно витягується з матриці. Чим коротше волокно, тим менше його ефективність.

Величину критичної довжини волокон можна визначити за формулою Келлі [130]:

$$l_{кр} = \frac{d_в \cdot \sigma_в}{2\tau_г}, \qquad (2)$$

де $d_в$ – діаметр волокна, *м*; $\sigma_в$ – міцність волокна при розтягуванні, *МПа*; $\tau_г$ – напруження зсуву, що визначають міцність межі „волокно-матриця", *МПа*.

Напруження зсуву можна визначити за допомогою наступної залежності:

$$\tau_г = \sigma_м \cos 45^0, \qquad (3)$$

де $\sigma_м$ – міцність матриці, *МПа*.

В залежності від міцності волокон і типу полімерної матриці співвідношення $l_{кр} / d_в$ може варіюватися від 10 до 200, при $d_в$ ~10 мкм, $l_{кр}$ = 0,15-2,0 мм.

При міцності базальтових волокон при розтягуванні $\sigma_в$ = 3200 *МПа*, $d_в$ = 10 *мкм* і міцності поліпропілену $\sigma_м$ = 36 *МПа* критична довжина волокон становитиме:

$$l_{кр} = \frac{10 \cdot 3200}{2 \cdot 36 \cdot \cos 45^0} = 625\,мкм = 0,62\,мм.$$

Міцність при розтягуванні композитного матеріалу, армованого дискретними волокнами, залежить від властивостей компонентів. Хаотичний розподіл волокон різко знижує ефект посилення. У цьому випадку один із шляхів врахування відносної ефективності посилення є використання коефіцієнта ефективності (коефіцієнта Кренчеля) [131, 132]:

$$\sigma_{км} = X \cdot \Phi \cdot \nu_в \cdot \sigma_в + \sigma_м \left(1 - \nu_в\right), \qquad (4)$$

де X – коефіцієнт Кренчеля, який залежить від розташування дискретних волокон в матриці, в нашому випадку X = 1/6; Φ – коефіцієнт, що враховує розподіл напружень по довжині волокон. Для проектованого базальтопластика при $\nu_в = 0.35$, $\Phi = 0,5$ міцність при розтягуванні складатиме:

$$\sigma_{км} = \frac{1}{6} \cdot 0,5 \cdot 0,35 \cdot 3200 + 36 \cdot \left(1 - 0,35\right) = 116,7\,МПа.$$

Для визначення модуля пружності композиту, наповненого короткими волокнами, можна використовувати наступні залежності:

1) при $l < l_{кр}$:

модуль пружності композиту $E_{км}$ буде дорівнювати:

$$E_{км} = \frac{E_в \cdot \nu_в \cdot l}{2 l_{кр}} + E_м \left(1 - \nu_в\right), \qquad (5)$$

де $E_в, E_м$ – модулі пружності волокна та матриці, *МПа*.

Зокрема, при $E_в$ = 70 ГПа, $E_м$ = 1,1 ГПа, l = 0,52 мм модуль пружності композиту становитиме:

$$E_{км} = \frac{70 \cdot 10^3 \cdot 0,35 \cdot 0,52}{2 \cdot 0,62} + 1,1 \cdot 10^3 \cdot \left(1 - 0,35\right) = 10,985 \cdot 10^3\,МПа.$$

2) при $l > l_{кр}$:

модуль пружності композиту $E_{км}$ для волокон з довжиною l = 0,7 мм буде дорівнювати:

$$E_{км} = \frac{70 \cdot 10^3 \cdot 0,35 \cdot 0,7}{2 \cdot 0,62} + 1,1 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,35) = 13,362 \cdot 10^3 \; МПа.$$

На рис. 36 представлені графічні залежності $(\sigma_{км}, E_{км})$ від об'ємного вмісту наповнювача $\nu_в$.

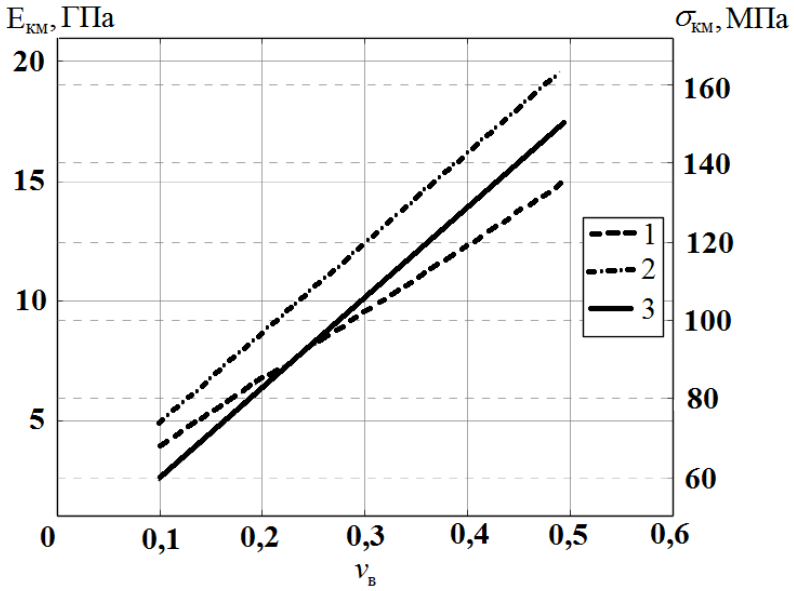

Рисунок 36 – Залежність міцності та модуля пружності композиту від об'ємного вмісту волокнистих наповнювачів: 1 – залежність σ від $\nu_в$; 2 – залежність E від $\nu_в$ при $l < l_{кр}$; 3 – залежність E від $\nu_в$ при $l > l_{кр}$

Тут слід також відзначити, що нерівномірний розподіл дискретних волокон за обсягом і технологічні дефекти призводять до того, що реальні характеристики композитів будуть відрізнятися від розрахункових. Проте, наведений порядок визначення механічних характеристик композитних матеріалів можна застосовувати для багатьох попередніх оціночних розрахунків. Проведені на стадії проектування попередні розрахунки основних механічних характеристик композитних матеріалів дозволять скоротити час розробки, енергоємність виготовлення композиту при збереженні індивідуальності кожного утворюючого композит-компонента.

ВИСНОВКИ

Для підвищення ефективності перевізного процесу в межах України, у міжнародному сполученні необхідними є розробка та впровадження у експлуатацію вагонів нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками за рахунок використання у їхній конструкції композитних матеріалів. Це забезпечить підвищення надійності таких вагонів, ефективності їхньої експлуатації та об'ємів вантажних перевезень через міжнародні транспортні коридори.

Також як варіант може виступати модернізація наявного парку вантажних вагонів, яка полягає у впровадженні конструктивних змін, що передбачають використання композитних складових елементів та вузлів.

В зв'язку з цим в роботі вирішені наступні завдання:

- проведений аналіз сучасного стану парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця», а саме: проблеми з дефіцитом нових вагонів, несправності вантажних вагонів, які виникали у їхній конструкції за останні п'ять років, виробництво вагонів нового покоління з поліпшеними експлуатаційними характеристиками, тощо;

- досліджено композитні матеріали – як матеріали майбутнього у машинобудуванні: наведені загальні відомості про композитні матеріали, їхню класифікацію, методи виробництва деталей з них, загальні переваги, недоліки застосування та модифікації;

- розглянута можливість застосування композитних матеріалів у вагонобудуванні: варіанти застосування композитних матеріалів у конструкції вантажних вагонів, європейська програма з впровадження композитних матеріалів у конструкції вагонів країн Європи – HYCOTRANS, теоретичні дослідження з використання композитних матеріалів у конструкції європейських вантажних вагонів, вимоги європейських норм щодо композитних матеріалів та елементів конструкції вантажних вагонів, виготовлених з них, використання композитних матеріалів у конструкції вагонів залізниць США та Росії;

- визначені кроки, які необхідні пройти українським вагонобудівникам для виготовлення інноваційних вагонів з композитних матеріалів, а саме: загальні заходи з розвитку вагонобудування в Україні та заходи, які необхідні для виготовлення вантажних вагонів з композитних матеріалів;

- проведено проектування структури та властивостей композитного матеріалу.

На основі даних досліджень можна стверджувати, що впровадження в вагонобудування композитних матеріалів для України може стати одним з можливих шляхів інноваційного розвитку галузі залізничного транспорту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //biz.censor.net/r3202391.

2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //wagon-cargo.ru/news/perspektivy -razvitiya-innovatsionnogo vagonostroeniya/.

3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //zakon.rada.gov.ua/laws/show/ 430-2018-%D1%80#Text.

4. Коротеева Л.И. Проектирование композиционных материалов с заданной структурой и свойствами. Пластические массы / Л.И. Коротеева, А.В. Шаронов, П.А. Астахов, Н.А. Миронов, А.В. Сергеева. – 2016. – Вип (5-6). – ст. 15-16.

5. Ткачик О.Б. Оновлення застарілого вагонного парку – першочергове завдання Департаменту вагонного господарства Укрзалізниці / О.Б. Ткачик // Вагонний парк. – 2015. – № 9-10. – с. 10-13.

6. Харрингтон Д. Управление качеством в американских корпорациях: сокр. пер. с англ. / Д. Харрингтон. Москва: Экономика, 1990 – 272 с.

7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //uaprom.info/article/8231-vagonostroenie-ukraine-idet-pod-otkos.html.

8. Ткачик О.Б. Вагони нового покоління / О.Б. Ткачик // Всеукраїнська транспортна газета Магістраль. – 2014, 1-7 жовт. (№77). – с. 9.

9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //railexpoua.com /novyny/vantazhni-vahony-prodovzhuvaty-chy-buduvaty/.

10. Класифікатор «Основные неисправности грузовых вагонов «КЖА 2005 05». Затверджений комісією «Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций» (Протокол заседания от 23-25 марта 2004 г. Комиссией специалистов по информатизации железнодорожного транспорта Протокол № 20-21 сентября 2005 г. С изменениями утвержденными Комиссией Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций от 22-24 августа 2006г.).

11. Аналіз стану безпеки руху в структурі ПАТ «Укрзолізниця» за п’ять років.

12. Шапошник В.Ю. Підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В.Ю. Шапошник; наук. кер. Л.А. Мурадян; Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2019. – 241 с.

13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ua.all.biz/poluvagon-mod-12-7023-01-g16893271.

14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ua.bizorg.su/poluvagony-gruzovye-r/p16089807-poluvagon-model-127039-12703901.

15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //scaletrainsclub .com/board /viewtopic.php?t=3160.

16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ua.all.biz/vagony-hoppery-dlya-perevozki-zerna-mod-19-7016-19-g16895524.

17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ua.all.biz/vagony-hoppery-dlya-perevozki-zerna-mod-19-7017-03-g16895527.

18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: https://ua.all.biz/vagon-hopper-dlya-perevozki-zerna-model-19-7053-g16895290.

19. Мямлін С.В. Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління / С.В. Мямлін // Українські залізниці. 2014 – № 10. – с. 14-15.

20. Досеке У.А. Исследование структурных свойств высоконаполненных алюминиевых композитов, упрочненных боросодержащими частицам: маг. дис.: 22.04.01 / У.А. Досеке; наук. кер. М.С. Петюкевич; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2017. – 111 с.

21. СТП 04-019:2018. Вагони вантажні. Ремонт візків. Правила виконання //АТ «Укрзалізниця». Київ, 2018 – 106 с.

22. Берлин А.А. Современные полимерные композиционные материалы (ПМК) / А.А. Берлин // Соросовский Образовательный Журнал. 1995. № 1. – с. 57-65.

23. Доценко О.К. Автоматизація проектування конструкцій деталей з

композитних матеріалів: маг. дис. / О.К. Доценко; наук. кер. М.С. Петюкевич; Київський національний інститут імені Ігоря Сікорського. – Київ, 2019. – 97 с.

24. Усеинов С.С. Методы измерения механических свойств наноразмерных / С.С. Усеинов, В.В. Соловьев, К.В. Гоголинский, А.С. Усеинов, Н.А. Львова // Научное мнение. – 2008. – №4. – с. 8-12.

25. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Изд. Центр «Академия», 2005. – 192 с.

26. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //studme.org/36332/tovarovedenie/poluchenie_zagotovok_detaley_kompozitsionnyh_materialov.

27. Вшивков С.А. Технология производства изделий из композиционных полимерных материалов: лекции / С.А. Вшивков. – Екатеринбург: Урал, гос. ун-т им. А.М. Горького, 2011. – 70 с.

28. Технологія композитних матеріалів: Навчальний посібник / Гончаренко В.В., Коваленко І.В. – К.: 2007. – 131 с.

29. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ustroistvo-avtomobilya.ru/e-kspluatatsionny-e-materialy/metody-izgotovleniya-krupnogabaritny-h-detalej-iz-kompozitsionny-h-materialov/.

30. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //bolgarttx.livejournal.com /139255.html.

31. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //studfile.net/preview /2469310 /page:15/.

32. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //studopedia.su/13_159294 _preimushchestva-kompozitsionnih-materialov.html.

33. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //izh-reduktor.ru /about/art/article/ preimushhestva-i-harakteristiki-kompozitnyh-materialov.html.

34. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.promtrader.ru/public/prom-syriyo-materialy/preimushchestva-i-nedostatki-kompozitnyh-materialov.html.

35. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //kt-stal.com.ua

/sravnitelnyj-analiz-texnicheskix-xa.

36. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //gdz4you.com/prezentaciyi/ himiya/ponyattya-pro-polimery-na-prykladi-polietylenu-18110/.

37. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.skycarbon.com.ua /news/composite-material/60.

38. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //moluch.ru/archive/104 /23577/.

39. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://findpatent.ru/patent /257/2572139. html.

40. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ppt-online.org/672979.

41. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.chemport.ru/data /chemipedia/article_3550.html.

42. Кузнецов А.А. Диагностика состояния металлополимерных композиционных материалов во влажной среде: автореф. дисс… канд. физ.-мат. наук: 01.04.01 / А.А. Кузнецов // ВАК РФ. – Барнаул., 2003. – 25с.

43. Каблов Е.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине / Е.Н. Каблов, В.Н. Кириллов, О.В. Старцев, А.С. Кротов // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 12 – 12 с.

44. Чендлер Д. Обнаружение и устранение расслоения в композитных конструкциях / Д. ЧЕНДЛЕР // Авиатранспортное обозрение. – 2012. – №134.

45. Басов Ф.А. Контроль деформированного состояния и диагностика повреждений композиционных материалов с помощью чувствительных элементов на базе углеродных нитей: автореф. дисс… канд. техн. наук: 05.11.13 / Ф.А. Басов // ВАК РФ. – М., 2006. – 17 с.

46. Тиц С.Н. Контроль наличия повреждений авиационных конструкций из композиционных материалов по вибрационным характеристикам: автореф. дисс… канд. техн. наук: 05.07.07 / С.Н. Тиц // ВАК РФ. – Самара., 2009. – 10 с.

47. Кочнев А.М. Модификация полимеров. Монография / А.М. Кочнев, С.С.

Галибеев. – Казань, 2008. – 533 с.

48. Курзина Е.Г. Совершенствование демпфирующих упругих полимерных элементов ходовых частей грузового вагона: дисс… канд. техн. наук: 05.22.07, 05.16.06/ Е.Г. Курзина // РУТ (МИИТ). – Москва, 2019. – 228 с.

49. Яхьева Х.Ш. Особенности релаксационных и термических свойств слоистых металлполимерных композитов / Х.Ш. Яхьева, Г.М. Магомедов, Е.Н. Задорина // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки: межвуз. сб. науч. ст. – 2008. – № 1. – С. 7-10.

50. Желтухин В.С. Моделирование плазменной модификации наноструктуры полиэтиленовых волокон. I. Физическая модель / В.С. Желтухин, Е.А. Сергеева / Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2010. – Т. 152. – № 4. – С. 34-38.

51. Proceedings of 13th International Symposium on Plasma Chemistry. Beijing: Peking University Press, 1997. – Vol. 3. – P. 1304.

52. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //plastinfo.ru/information/ articles/365.

53. Соловьев Е.М. Получение волокнистых наполнителей резин и пути улучшения их свойств / Е.М. Соловьев, Т.Н. Несиоловская, И.А. Кузнецова. Темат. обзор. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986. – 60 с.

54. Несиоловская Т.Н. Коротковолокнистые наполнители. Способы получения, свойства и области применения / Т.Н. Несиоловская, Е.М. Соловьев. Темат. обзор. – М.: ЦНИИТЗнефтехим, 1992. – 72 с.

55. Соловьев Е.М. Ускоренный метод определения анизотропии резин с волокнистыми наполнителями / Е.М. Соловьев, И.А. Кузнецова, Т.Н. Несиоловская // Пром-сть СК, шин и РТИ. – М. – ЦНИИТЗнефтехим. – 1987. – № 4. – С. 30-32.

56. Поляков О.Г. Влияние содержания коротких волокон на прочность и изменение удельного объема резиноволокнистых композитов при растяжении / О.Г. Поляков, А.И. Каменщиков, А.М. Чайкун и др. // Каучук и резина. – 1985.

– № 3. – С. 24-25.

57. Дзюра Е. А. Пути варьирования жесткостных свойств резиноволокнистых композитов / Е.А. Дзюра, Л.М. Волченок, И.В. Маркова и др. // Пром-сть СК, шин и РТИ. – М. – ЦНИИТЗнефтехим. – 1986. – № 5. – С. 13-16.

58. Dinamic fatique of short fiber-rubber composites under compressive stress / Mashimo S., Nakayima M., Naquchi T. e.a. // Proc. Int. Rubber Conf., IRC 86. Geteborg, 1986. – Vol. 2. P. 544-545.

59. Коллеро, М.Ю. Исследование функциональных свойств композиционного материала никелид титана – силиконовая резина / М.Ю. Коллеров, Е.А. Лукина, Д.Е. Гусев, А.А. Борисов // Материаловедение. – 2018. – №8. – С. 28-33.

60. Чагаев С.В. Модификация наполненных композиций на основе полиолефинов и полярных полимеров резорциновыми смолами: дисс. канд. техн. наук / С.В. Чагаев. – Казань, 2010. – 115 с.

61. Русанова, С.Н. Влияние кремнийорганических модификаторов на структурные характеристики и эксплуатационные свойства полимеров / С.Н. Русанова, С.Ю. Софьина, О.В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета. – 2008. – № 5. – С. 85-89.

62. Темникова Н.Е. Исследование модификации сополимеров этилена аминосиланами методом ИК-спектроскопии НПВО / Н.Е. Темникова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 19. – С. 112-124.

63. Игуменова Т.И. Исследование влияния смеси фуллеренов на реологические свойства бутадиенового каучука / Т.И. Игуменова, Е.С. Акатов, Г.В. Попов // Материалы 2-ой Всероссийской научно-технической конференции «Каучук и резина -2010». – Москва: НИИЭМИ. – 2010. – С. 80-81.

64. Игуменова Т.И. Особенности свойств и рецептуростроения резин с применением фуллеренсодержащих наноматериалов / Т.И. Игуменова, М.А. Гудков, Г.В. Попов // Материалы 2-ой Всероссийской научно-технической

конференции «Каучук и резина-2010». – Москва: НИИЭМИ. – 2010. – С. 314-315.

65. Kwo Han Kiu. Study of adhesion properties of natural rubber, epoxidied natural rubber, and ethylene-propylene diene terpolymer-based adhesives: author's abstract. Universiti Sains Malaysia, 2007. – 44 p.

66. Патент 2126422 (RU). Линейные блоксополимеры:. № 93038868/04; заявл. 05.02.1992; опубл. 20.02.1999. 8 с.

67. Fuhrmann I. Photoinitiated grafting of glycidyl methacrylate and methacrylic acid on ground tire rubber / I. Fuhrmann, J. Karger-Kocsis // J. Appl. Polym. Sci. – 2003. – V.89. – №6. – P. 1622-1630.

68. Urayama H. Mechanical and thermal properties of poly (L-lactide) incorporating various inorganic fillers with particle and whisker shapes / H. Urayama, Ch. Ma, Y. Kimura // Macromol. Mater. Eng. – 2003. – V.288. – №7. – P.562-568.

69. Галашина Н.М. Полимеризационное наполнение как метод получения новых композиционных материалов / Н.М. Галашина // Высокомолекулярные соединения. – 1994. – Т.36. – №4. – С. 640-650.

70. Прут Э.В. Химическая модификация и смешение полимеров в экструдере реакторе / Э.В. Прут, А.Н. Зеленецкий // Успехи химии. – 2001. – Т.70. -№1. – С.72-87.

71. Серенко О.А. Структурно-механические особенности деформационного поведения композиционных материалов на основе пластичных полимеров и эластичного наполнителя (резинопластов): дис. … докт. хим. наук: 02.00.06/ О.А. Серенко. – М., 2004. – 249 с.

72. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты: получение, переработка, свойства / С.И.Вольфсон // М.: Наука, 2004. – 170 с.

73. Яруллин Р.С. Обзор мирового и отечественного рынка термоэластопластов / Р.С. Яруллин// The Chemical Journal. – 2003. – № . – С. 46-47.

74. Сагдеева Э.Г. Получение динамического термоэластопласта на основе бутадиен-нитрильных каучуков и полиолефинов с использованием

модифицированного технического углерода: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / Э.Г. Сагдеева. – КГТУ им. С.М. Кирова, 2003. – 16 с.

75. Нигматуллина А.И. Динамический термоэластопласт на основе бутадиен-нитрильного каучука и полипропилена, модифицированный слоистым силикатом: дис. … канд. техн. наук: 05.17.06 / А.И. Нигматуллина. – Казань, 2010. – 174с.

76. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы / Михайлин Ю.А. – Санкт-Петербург: Науч. основы и технологии (НОТ), 2009. – 658 с.

77. Абрамов С.А. Полиуретаны фирмы ООО «Эластокам» для применения в строительстве, производстве сэндвич-панелей в автомобильной и мебельной промышленности / С.А. Абрамова // Пластические массы. -2007. – №9. – С. 3-7.

78. Пономарев М.В. Сэндвичевые конструкционные материалы / А.А. Артеменко, Г.П. Пономарева, О.М. Сладков, М.В. Пономарев // Энергосбережение в Саратовской области. – 2008. – №3. – С. 16.

79. Рябов Д.К. Концепция создания слоистых многофункциональных композиционных материалов для эксплуатации в арктических условиях / Д.К. Рябов, В.В. Шестов, В.М. Бузник, В.В. Антипов// Материаловедение. – 2015. – №12. – С. 41-47.

80. Постников В.П. Экономическое обоснование перспектив применения композиционных материалов в сфере грузового вагоностроения / В.П. Постников, А.Р. Носкова // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2018, № 2 – С. 188-200.

81. Бектуров К.Б. Перспективы применения композиционных материалов в грузовом вагоностроении / К.Б. Бектуров, Р.Ю. Зарипов, А. Медведев, Д. Каербеков // Наука и техника Казахстана. – 2017. – № 1-2. – С. 25-34.

82. Каракаев А.К. Зарипов. Композитные материалы в грузовом вагоностроении / А.К. Каракаев, Р.Ю. Зарипов // Наука и техника Казахстана. – 2016. – № 1-2. – С. 39-47.

83. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.stroimsamolet.ru

/057.php.

84. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //minpromtorg.gov.ru /docs/from _18=1328.

85. [Електронний ресурс]. – http: //www.myshared.ru/slide/762537/.

86. Płaczek M. A concept of technology for freight wagons modernization / M. Płaczek, A. Wróbel, A. Buchacz // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 161 (2016) 012107 – 12 p.

87. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies: Part 2: Freight wagons: EN 12663-2 – March 2010. – 54 p.

88. Buchacz A. An investigation of the influence of a fiber arrangement of a laminate on the values of stresses in the composite panel of a modified freight wagon using the FEM method / A. Buchacz, A. Baier, K. Herbuś, P. Ociepka // MATEC Web of Conferences 112, 04015 (2017) – 6 p.

89. Buchacz A. Examination of a Cargo Space of a Freight Wagon Modified with Composite Panels / A. Buchacz, A. A. Baier, K. Herbuś, M. Majzner, P. Ociepka // Innovative Manufacturing Engineering 2015 – PP. 944-950.

90. Ulianov C. Lightweight vehicles – a new paradigm in rail freight / C. Ulianov, M. Fartan, P. Voltr // XIX International Scientific-expert Conference on Railways Serbia, Niš, October 15-16, 2020 – 9 p.

91. Street G.E. Impact Resistance of Fibre Reinforced Composite Railway Freight Tank Wagons / G.E. Street, P. Jayantilal Mistry, M.S. Johnson // J. Compos. Sci, 2021, 5, 152 – 22 p.

92. Railway applications - Wheelsets and bogies - Method of specifying the structural requirements of bogie frames: European Standard 13749:2011. – March 2011. –57 p.

93. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.impact-solutions. co.uk/plastic-testing/iso-fire-testing/bs-en-60695-11-10-iec-60695-11-10-method-b/.

94. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /23637.html.

95. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard

/4595.html.

96. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /23638.html.

97. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: ://shop.bsigroup.com /Product Detail?pid=000000000030010157.

98. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /67148.html.

99. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /51807.html.

100. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /25581.html.

101. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /55357.html.

102. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.iso.org/standard /38658.html.

103. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.shastarails.com /photos/ pbu.asp?Update=5/7/2006.

104. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //model-railroad-hobbyist.com/ node/25778.

105. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://wc2scale.org /zenphoto/nonwc-railcars/kaolin-tank-cars-and-covered-hoppers/shpx-43033-pd-61ft-grey-starch-car. jpg.php.

106. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //docplayer.ru/29919241-Kompozicionnye -materialy-na-zheleznodorozhnom-transporte.html

107. Мэттьюз, Ф. Композитные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Роллингс. М.: Техносфера, 2004. – С. 54–76.

108. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: www.vedomosti.ru/business /articles/2020/11/02/845557-zheleznodorozhnie-perevozki.

109. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.interfax.ru

/business/742320.

110. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: www.mintrans.ru/activity/ detail.php?SECTION_ID=#document_30788.

111. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.railsovet.ru /analytics/obzor.

112. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.rzd-partner.ru/zhd-transport /news/v-noyabre-2020-goda-obshchaya-chislennost-gruzovykh-vagonov-na-seti-vyrosla-na-3-1-v-godovoy-dinamik/.

113. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //www.indpg.ru /transport/2015/05 /86586.html.

114. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http: //ipem.ru/news/ publications /2033.html.

115. Чуприков Д.В. Анализ эффективности инвестиций в приобретение подвижного состава / Д.В. Чуприков // ЭТАП. – 2014. – № 4. – С. 59–65.

116. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ukbv.ru/ru /kontragentam/ documentation /mineralovoses/2015-19-5153-01.html.

117. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //cfts.org.ua/news/uralvag onzavod_zapustit_seriynoe_proizvodstvo_novykh_khopperov_24573?refresh.

118. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ural.prom-rus.com/cat-transport/jeleznodorojnii-transport-zapchasti/37281/.

119. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //ukbv.ru/ru /kontragentam/ documentation/mineral ovoses/2012-19-5167.html.

120. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //pravdaurfo.ru /news/151779-minpromtorg-vpishet-uvz-sinaru-i-transmashholding/.

121. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //uralvagonzavod.ru /product /98/62.

122. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //rbvz.ru/produkcija /kontejner-cisterna-iz-kompo zitnyh-materialov/.

123. [Електронний ресурс]. – https: //soyuzmash.ru/news/companies-news/ kompoz itnye-konteyner-tsisterny-uvz-dopushcheny-k-ekspluatatsii/.

124. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //sdelanounas.ru/ blogs/92538/.

125. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.tt-center.ru/about-company/vnictt-publishing/primenenie-kompoziczionnyix-materialov-v-gruzovom - vagonostroenii.html.

126. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //mtu.gov.ua/ news/32666.html.

127. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //frtukr.org/onovlenyj-proyekt-nakazu-pro-zatverdzhennya-poryadku-vstanovlennya-zaborony-ekspluataczi yi-vantazhnyh-vagoniv-na-zaliznychnomu-transporti-zalyshayetsya-nebezpechnym-dlya-ekonomiky-ukrayi/.

128. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https: //www.railinsider. com.ua/miu-opublikuvalo-dopraczovanyj-proekt-nakazu-shhodo-poryadku-zaborony -ekspluatacziyi-vantazhnyh-vagoniv/.

129. Пайова Л.Г. Наполнители для полномерных композиционных материалов: учеб. пособие / Л.Г. Пайова – Саратов: Саратовский государственный университет, 2010. – 68 с.

130. Шульга А.В. Композиты. Ч.1. Основы материаловедения композитных материалов / А.В. Шульга. – М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 96с.

131. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К.Е. Перепелкин. НОТ. – 2009. – 379 с.

132. Полимерные композитные материалы. Свойства, структура, технология / Под. ред. Берлина А.А. СПб.: Профессия. – 2009. – 560 с.