

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ
ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
Кафедра «Охорона праці та навколишнього середовища»

ХІМІЯ
МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ
до самостійного вивчення теми

«ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ»
(для студентів технічних спеціальностей усіх форм навчання)

Завідуючий кафедри ОП та НС

проф. М.І. Ворожбіян

Методичні поради розглянуті і одобрені на засіданні

методичної комісії ф-ту УПП

протокол № _____ від _____ р.

Голова МК

доц. С.М. Продащук

Декан факультету УПП

доц. Д.І. Мкртичьян

автори

проф. М.І. Ворожбіян

доц. Л.А. Катковнікова

ст. викл. С.О. Кисельова

ст. викл. О.В. Присяжний

Харків 2011 р.

Методичні вказівки до самостійного вивчення теми «Застосування полімерів на залізничному транспорті» розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Охорона праці та навколишнього середовища» 13 січня 2011 р., протокол № 10.

Рекомендуються для студентів усіх спеціальностей та форм навчання

Укладачі:
проф. М.І. Ворожбіян,
доц. Л.А.Катковнікова,
старші викл. О.В.Присяжний,
С.О. Кисельова

Рецензент
проф. О.В. Шапка

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОРГАНІЧНІ ПОЛІМЕРИ.....	4
1.1 Поняття про полімери.....	4
1.2 Класифікація органічних полімерів.....	5
1.3 Методи синтезу полімерів.....	7
2 ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ.....	8
2.1 Полімеризаційні смоли і їх властивості.....	9
2.2 Поліконденсаційні смоли і їх властивості.....	12
2.3 Пластичні маси. Гумові матеріали. Композиційні матеріали.....	14
2.4 Надання полімерам певних властивостей.....	16
3 ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.....	18
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	28
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	30

ВСТУП

В теперішній час спостерігається зростання виробництва полімерних (композиційних) матеріалів, їх проникнення в різні галузі техніки, витіснення ними багатьох традиційних матеріалів, таких як метали, кераміка, скло, деревина та ін. Підставою для широкого використання полімерних матеріалів, в тому числі на залізничному транспорті, є різноманітність їх фізичних, хімічних та механічних властивостей, які можливо направлено регулювати і створювати матеріали з певними характеристиками, такими як горючість, фрикційні, електричні, теплофізичні, міцнісні та ін. експлуатаційні властивості.

На залізничному транспорті полімерні матеріали вперше були використані на початку ХХ ст., що було викликано необхідністю обладнання потягів автоматичними гальмами, нормальна експлуатація яких виявилася можливою лише за умов застосування гумових шлангів і ущільнювальних прокладок. Інтенсивна електрифікація залізниць і введення в експлуатацію пасажирських вагонів з електричним освітленням призвели до розширення використання гум і пластмас для електроізоляції. Створення більш досконалого рухомого складу та обладнання залізниць системами автоматичної сигналізації, блокування і централізації управління рухом зумовили подальше зростання споживання полімерних матеріалів у всіх галузях залізничної техніки.

1 ОРГАНІЧНІ ПОЛІМЕРИ

1.1 Поняття про полімери

Полімери (від гр. «полі» – багато, «мерос» – частка), або органічні високомолекулярні сполуки – складні речовини з великими молекулярними масами (від декількох тисяч до багатьох мільйонів), молекули яких складаються з великої кількості *елементарних ланок*, які повторюються. Молекули полімеру утворюються під час взаємодії одна з одною однакових або різних простих молекул – *мономерів*.

Специфічні властивості високомолекулярних сполук, не притаманні низькомолекулярним сполукам, виникають, коли кількість ланок в ланцюговій молекулі сягає визначеного для даного полімеру значення. Сполуки, ланцюгові молекули яких містять меншу кількість ланок, ніж необхідно для надання характерних полімерних властивостей, називають *олігомерами* (від гр. «олігос» – мало).

Для молекул полімерів, крім великої молекулярної маси, характерними є ланцюгова будова молекул та гнучкість, виникнення якої зумовлено внутрішнім тепловим рухом в макромолекулах, наслідком чого є можливість надавати їм при відповідних умовах (температура, дія зовнішніх полів) різних форм (конфігурації).

1.2 Класифікація органічних полімерів

Класифікація органічних полімерів може ґрунтуватися на різних характерних ознаках, таких як походження, склад, будова макромолекул, відношення до нагрівання та тиску.

За походженням органічні полімери поділяють так:

- *природні* (біополімери), наприклад білки, нуклеїнові кислоти, природні смоли, крохмаль, клітковина, природний каучук;

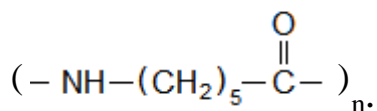
- *модифіковані*, тобто отримані відповідною обробкою природних полімерів, наприклад віскозне волокно;

- *синтетичні*, які отримують штучним шляхом із синтетичних мономерів, наприклад поліетилен, поліпропілен, фенолоформальдегідні смоли та ін.

За складом основних ланцюгів макромолекул органічні полімери поділяють так:

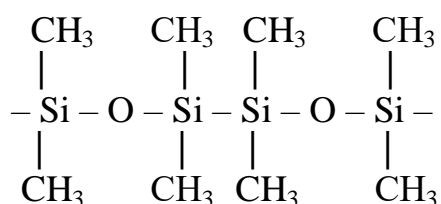
- *карболанцюгові*, ланцюги яких складаються тільки із атомів карбону, наприклад поліетилен – $\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$;

- *гетероланцюгові*, ланцюги яких містять, крім атомів карбону, атоми інших елементів, таких як кисень, азот, сірка, наприклад капрон.



Для гетероланцюгових полімерів характерні висока міцність і теплостійкість, що пов'язано з високою енергією зв'язку між атомами;

- *елементорганічні*, основні ланцюги яких можуть не містити атомів карбону, але вони входять до складу бокових ланцюгів. До елементорганічних полімерів відносять кремнійорганічні полімери, наприклад, силікони



За будовою макромолекул органічні полімери поділяють так:

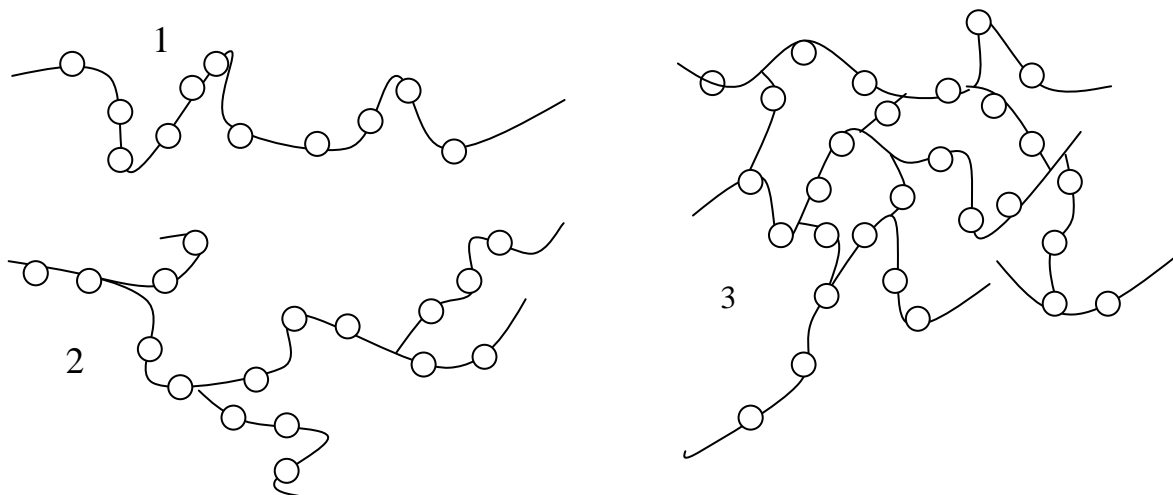
- *лінійні*, якщо основний ланцюг не має розгалужень;
- *розгалужені*, якщо до основного ланцюга приєднані значні за довжиною бокові ланцюги (до такого типу відносять в тому числі так звані «прищеплені» сополімери, в яких основні й бокові ланцюги мають різну будову);
- *сітчасті* полімери, макромолекули яких складаються із замкнених циклів двовимірної будови;
- *просторові*, макромолекули яких мають також циклічну, але тривімірну будову.

Схематичні зображення різних за будовою молекул полімерів наведені на рисунку.

Структура полімеру впливає на його фізико – механічні й хімічні властивості. Так, найменшу текучість і найбільшу міцність мають полімери з сітчастою або просторовою будовою.

Будова полімеру визначає й відношення полімерів до нагріву:

- *термопластичні* полімери мають властивість зворотно розм'якшуватись при нагріванні й тверднути при охолодженні; такі полімери мають лінійну або



Види полімерів за будовою молекул (схематичне зображення):
 1 – лінійний, 2 – розгалужений, 3 – просторовий

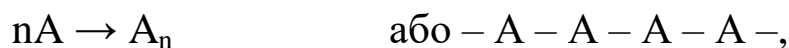
розгалужену будову молекул (поліетилен, полівінілхлорид, полістирол);

- *терморективні* полімери не можуть зворотно змінювати властивості і при нагріві перетворюються в неплавкі і нерозчинні продукти, які не можна знов сформувати; такі полімери мають просторову будову молекул (фенолоформальдегідні, карбамідні, поліетерні та ін. полімери).

1.3 Методи синтезу полімерів

Існує два методи отримання синтетичних полімерів – полімеризація й поліконденсація.

Полімеризація – реакція з'єднання молекул мономеру в одну велику молекулу без виділення будь-яких побічних продуктів, процес іде за схемою



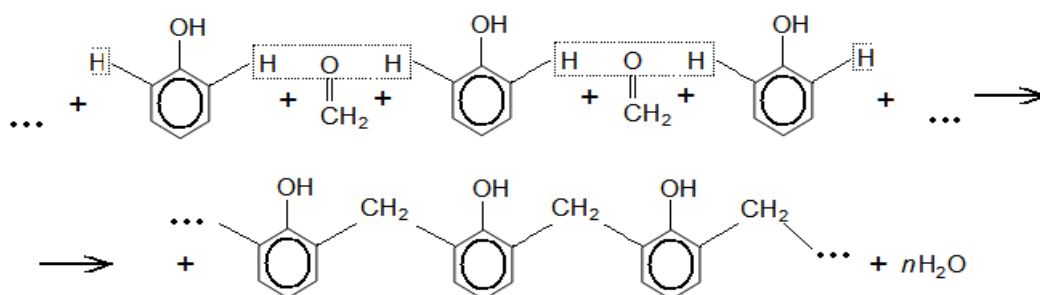
де n – кількість мономерних ланок.

Реакція полімеризації відбувається за ланцюговим (радикальним) або за ступеневим (іонним) механізмом. В першому випадку процес починається зі збудження мономеру під дією нагріву, світла (фотополімеризація), добавок – ініціаторів і утворення активних радикалів, що утворюють ланцюги. В

другому – молекули мономеру об'єднуються внаслідок міграції рухливого атома від однієї молекули до іншої.

Поліконденсація – реакція, внаслідок якої утворюються високомолекулярні сполуки (поліконденсати) з одночасним виділенням низькомолекулярних продуктів (H_2O , NH_3 , HCl , CO_2 та ін.).

Прикладом реакції поліконденсації може служити реакція між фенолом ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) і формальдегідом (CH_2O) з отриманням фенолоформальдегідних смол



Як видно, в макромолекулах структурними ланками є двовалентні залишки фенолу – $\text{C}_6\text{H}_3\text{OH}$ – і формальдегіду – CH_2 – , тобто, на відміну від полімеризаційних полімерів, елементарний склад поліконденсатів за хімічним складом відрізняється від елементарного складу початкових речовин.

Реакції поліконденсації звичайно проводять в присутності каталізаторів, в ролі яких застосовують деякі кислоти (соляну, сульфатну, оцтову та ін.) і солі (карбонат амонію, хлорид цинку та ін.).

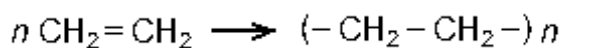
2 ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ

Синтетичні і природні полімери можна використовувати як в чистому вигляді без будь-яких добавок до них, так і в складі різних композитів, до яких, крім самих полімерів, які слугують в'язучою речовиною і мають назву *смоли*, вводять інші речовини, що надають полімерним матеріалам нових властивостей. Такими складними композиційними матеріалами є пластичні маси і гумові матеріали.

2.1 Полімеризаційні смоли і їх властивості

До полімеризаційних смол відносяться полімери, отримані реакцією полімеризації переважно ненасичених сполук.

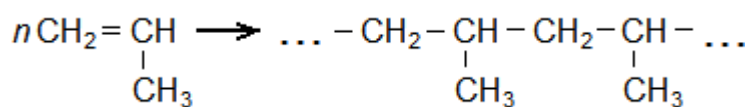
Поліетилен – продукт полімеризації етилену, процес відбувається під тиском 150 – 250 МПа і при температурі 150 – 250 °С (поліетилен високого тиску) або при низькому тиску, але в присутності каталізатора, процес протікає за схемою



Поліетилен – насичений вуглеводень з молекулярною масою від 10 000 до 400 000. Він безбарвний напівпрозорий в тонких і білий у товстих шарах, віскоподібний, але твердий матеріал з температурою плавлення 110 – 125 °С і густиною 0,93 – 0,97 г/см³. Поліетилен є хімічно стійким, водонепроникним, має малу газопроникність, але з часом під дією повітря, світла й тепла стає крихким й жорстким. Щоб уникнути цього, до його складу вводять невелику кількість добавок – стабілізаторів. Поліетилен застосовують як електроізоляційний матеріал, а також для виготовлення плівок, шлангів, труб, пінопластів, санітарно-технічних виробів, використовують як пакувальний матеріал.

Залежно від способу отримання розрізняють *поліетилен високого тиску*, який має меншу щільність і меншу молекулярну масу (10000 - 45000), і *поліетилен низького тиску* (молекулярна маса 70000 - 400000), що позначається на технічних властивостях. Для контакту з харчовими продуктами допускається тільки поліетилен високого тиску, тому що поліетилен низького тиску може містити залишки каталізаторів – шкідливі для здоров'я людини сполуки важких металів.

Поліпропілен – продукт полімеризації пропілену, процес іде за схемою

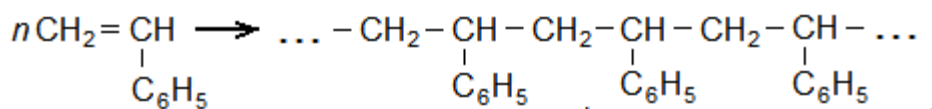


Поліпропілен – біла пружна маса, має більш високу, порівняно з поліетиленом, температуру плавлення (174 – 175 °С

для поліпропілену з молекулярною масою вище 80 000). Поліпропілен хімічно стійкий і нерозчинний в органічних розчинниках, але піддається дії сильних окислювачів і кисню.

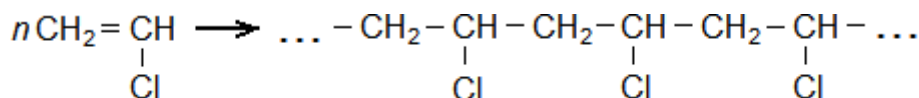
Поліпропілен використовують для електроізоляції, для виготовлення захисних плівок, труб, шлангів, шестерень, деталей приладів, а також високоміцного та хімічностійкого волокна.

Полістирол – утворюється при полімеризації стиролу, процес відбувається за схемою



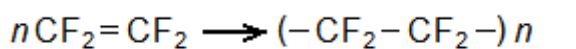
Полістирол – прозора склоподібна маса. Застосовується як органічне скло, а також як електроізолятор.

Полівінілхлорид (ПВХ) – продукт полімеризації вінілхлориду (хлоретилену), процес іде за рівнянням



Це біла еластична маса, дуже стійка до дії кислот і лугів. Використовується для футерування труб і судин, для ізоляції електричних дротів, для виготовлення штучної шкіри, лінолеуму, плиток, гідроізоляційних плівок.

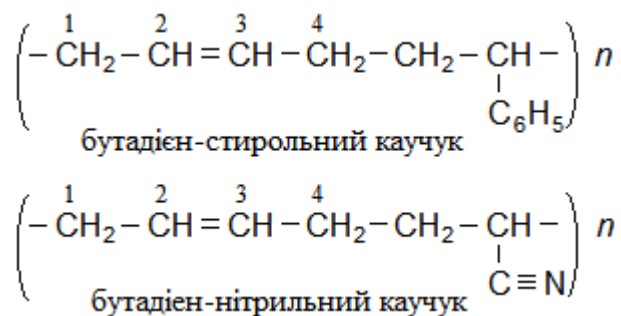
Політетрафторетилен – продукт полімеризації тетрафторетилену, процес відбувається за рівнянням



Політетрафторетилен – твердий матеріал, не має забарвлення, має виключно велику хімічну стійкість, яка перевищує стійкість золота й платинових металів. Використовується у вигляді пластмаси, яку називають *тефлоном* або *фторопластом*. Негорючий, має діелектричні властивості, низький коефіцієнт тертя. ≡≡

Поліакрилати – продукти полімеризації метилових ефірів акрилової кислоти $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_3$ і метакрилової кислоти

сполуками, наприклад з стиролом (СКС) або з акрилонітрилом (СКН)



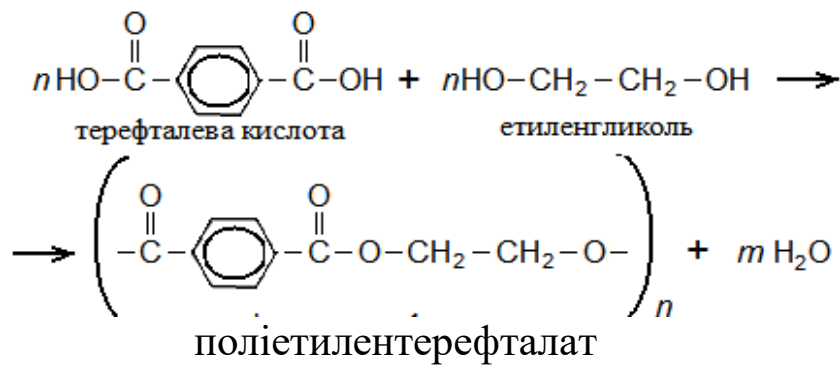
Каучуки застосовують при виробництві герметиків, гідроізоляційних матеріалів, мастик, клеїв.

2.2 Поліконденсаційні смоли і їх властивості

До поліконденсаційних смол відносять полімери, які утворюються при реакції поліконденсації.

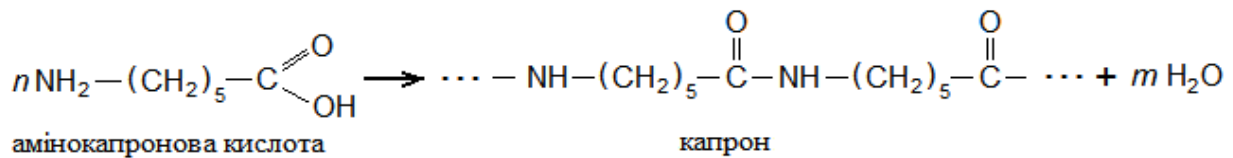
Фенолоформальдегідні смоли – утворюються при взаємодії фенолу з формальдегідом в присутності кислот або лугів у ролі каталізаторів. Схема утворення фенолоформальдегідних смол наведена вище (розд. 1.3). Такі смоли при нагріванні спочатку розм'якшуються, а потім, особливо в присутності каталізаторів, твердіють. Фенолоформальдегідні смоли в залежності від їх властивостей поділяються на термореактивні (резольні) і термопластичні (новолачні). Фенолоформальдегідні смоли широко використовуються для виготовлення лаків, клеїв, литих фенопластів, а також застосовуються як в'язуче при виготовленні шарових пластиків, газонаповнених пластичних мас, мінераловатних виробів.

Поліефірні смоли – їх прикладом може бути продукт поліконденсації двоосновної ароматичної терефталевої кислоти з двохатомним спиртом етиленгліколем



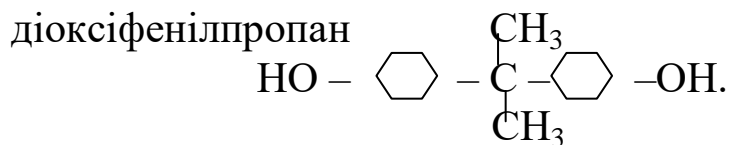
Поліамідні смоли – полімери цього типу є синтетичними аналогами білків, в їх ланцюгах багаторазово повторюються амідні групи –CO–NH–.

Типовим представником поліамідних смол є капрон, який є поліконденсатом амінокапронової кислоти



Капрон є цінним матеріалом для виготовлення машинобудівельних і приладобудівельних матеріалів, а також для виробництва високоміцного волокна.

Епоксидні смоли – продукт поліконденсації. Для отримання епоксидних смол використовують речовини епіхлоргідрин $\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH}_2\text{Cl} - \text{i}$



Епоксидні смоли переводять в нерозчинний твердий стан за допомогою затверджувачів при нормальній і підвищеній температурах. Їх використовують як водо – і хімічностійкі клеї, а також як в'язучі для склопластиків, вуглепластиків, полімербетонів.

2.3 Пластичні маси. Гумові матеріали. Композиційні матеріали

Пластичні маси – велика група матеріалів, в яких основним компонентом є синтетичні або натуральні полімери (смоли). Вміст полімерної смоли в пластичній масі може коливатися в широких межах – від 20 % і більше.

До складу пластичної маси вводять різні добавки, вміст яких може сягати від часток відсотка до 95 мас. %. Важливою складовою полімерних матеріалів є *наповнювачі*, які вводять в основному до складу пластичних мас на основі термореактивних смол і гум. Наповнювачі армують полімерну матрицю, заповнюючи простір між макромолекулами полімеру, зміцнюють зв'язки між ними, внаслідок чого формуються певні властивості композиту – щільність, теплостійкість, механічна і ударна міцність, діелектричні та ін. властивості. Наповнювачі зменшують усадку матеріалу, яка без їх застосування може сягати 18 %. Як наповнювач використовують різні матеріали, котрі, зазвичай, менш коштовні порівняно з полімерною смолою, що дозволяє знизити вартість виробів. Наповнювачами можуть бути: тонкодисперсні матеріали (мука з деревини, сажа, вугілля, кварцова мука, металеві порошки та ін.); волокнисті матеріали (азбестове волокно, скловолокно), листові матеріали (скляна тканина, папір, вуглецева тканина).

Третя складова пластичних мас – *пластифікатори*, які полегшують ковзання одних молекул відносно інших, в результаті чого підвищується еластичність і гнучкість полімерів і полегшуються умови переробки пластичних мас. Вміст пластифікаторів може складати від 5 до 40 %.

У зв'язку з тим, що тривала дія світла викликає деструкцію (руйнування) макромолекул полімерів, до складу пластичних мас додають світлостабілізатори, а в пластичні маси, чутливі до температури – термостабілізатори.

Крім того, до складу пластичних мас можливе введення фрикційних або антифрикційних добавок, добавок, які регулюють тепло- та електропровідність, речовин, які знижують горючість, антистатиків, добавок, які формують комірчасту структуру, та ін.

Гумові матеріали (гуми) – матеріал, виготовлений із суміші речовин, основним компонентом в якій є каучук. В промисловості каучук без добавок використовують рідко, що пов'язано з його низькою міцністю, низькою хімічною стійкістю, крихкістю при низьких температурах. Щоб підвищити механічну міцність і еластичність виробів із каучуку, його піддають *вулканізації*, тобто вводять до його складу сірку і нагрівають. В процесі вулканізації сірка приєднується по місцях подвійних зв'язків каучуку і «зшиває» їх, утворюючи просторову сітчасту структуру. Вулканізований каучук називають *гумою*, вулканізація надає каучукові хімічної стійкості і еластичності замість пластичності. Крім вулканізатора до гум вводять прискорювачі (прискорюють взаємодію між каучуком та сіркою), порошкові (сажа, кварцовий пил) або волокнисті наповнювачі. Якщо кількість сірки велика (40 – 45 %), то при вулканізації утворюється твердий, крихкий, нерозчинний матеріал – *ебоніт*.

Полімерні композиційні матеріали (композити) – складаються із основного матеріалу – матриці на полімерній основі і зміцнюючого компоненту – дисперсних твердих часток, волокон або тканин. Поєднання в композиті двох різнорідних матеріалів створює синергетичий ефект – надає матеріалу якісно нових властивостей, що відрізняються від властивостей кожного з компонентів. Для композитів характерні висока питома міцність (відношення міцності до густини матеріалу), міцність при стиску та вигині, високий модуль пружності, легкість.

До композиційних матеріалів відносять склопластики, деревно – стружкові (ДСП) і деревно – волокнисті (ДВП) плити та багато інших листових, плитних і рулонних матеріалів. Склопластики – це листові або профільні матеріали із скляних волокон або тканин, зв'язаних полімером (епоксидною, поліефірною або фенол – формальдегідною смолою). Випускають три види склопластиків: на основі орієнтованих волокон, рублених волокон і тканин або матів.

Прогрес у виробництві композиційних матеріалів пов'язаний з застосуванням тонкого «суперволокна» із матеріалів, модуль пружності яких на порядок вищий від модуля пружності скла. Роботи ведуться в напрямку отримання

безперервних волокон бору, карбїду кремнію, вуглецю, а також бездефектних кристалів оксиду алюмінію та ін.

Перевагами композиційних матеріалів є: стійкість до гниття, висока питома міцність і жорсткість, вони не потребують додаткових матеріалів для оздоблення.

2.4 Надання полімерам певних властивостей

Знання про закономірності впливу добавок дозволяє створювати композиційні матеріали з певними експлуатаційними властивостями.

Так, на залізничному транспорті високі вимоги ставлять до горючості матеріалів. *Горючість* полімерних матеріалів оцінюють рядом характеристик: здатністю до запаювання, швидкістю горіння, складом продуктів горіння та ін.

Полімерні матеріали поділяють на негорючі, важкогорючі, важкозаймисті і легкозаймисті, що оцінюють за коефіцієнтом горючості K , який для таких матеріалів має відповідні значення менше від 0,1, від 0,1 до 0,5, від 0,5 до 2,1, вище 2,1. Для зниження горючості застосовують методи:

- хімічна модифікація полімерної молекули за рахунок введення в полімерний ланцюг деяких елементів, таких як хлор, бром, фосфор, азот та ін. Наприклад, полівінілхлорид має кисневий індекс 49, політетрафторетилен – 95 (для порівняння, кисневий індекс поліетилену – 17,4);

- створення полімерних композицій, до складу яких вводять *антипірени* – добавки, які знижують горючість. Антипірени або виділяють продукти, які ускладнюють горіння, або сприяють коксуванню полімерів.

Прикладами антипіренів можуть бути мінеральні добавки, стійкі до високих температур (до 1000 °C), такі як оксид сурми, силікати та ін., або добавки з низькою температурою розкладання – карбонати, гідрокарбонати, гідроксиди металів, при розкладанні яких виділяється велика кількість газоподібних речовин.

Тертя відіграє велику роль при роботі машин і механізмів, в техніці дуже важливі питання регулювання сили тертя. Полімери широко застосовують як *фрикційні* (з високим коефіцієнтом

тертя) і *антифрикційні* (з малим коефіцієнтом тертя) матеріали, для чого їх вихідні властивості регулюють введенням добавок. Звичайно, поверхневий шар полімерних матеріалів відносно швидко руйнується при терті, особливо при зростанні температури. Високі антифрикційні властивості мають такі полімерні матеріали, як політетрафторетилен, поліамід, поліетилен, поліформальдегід та ін., їх можна застосовувати в вузлах тертя при низьких механічних навантаженнях. Часто в вузлах тертя використовують композиційні матеріали зі спеціальними наповнювачами (як правило, шаруватої структури), які знижують коефіцієнт тертя – графіт, двосульфід молібдену, двосульфід вольфраму, нітрид бору та ін. Іноді для поліпшення відведення тепла із вузла тертя до складу композитів вводять металеві порошки.

Матеріали з високим коефіцієнтом тертя (від 0,2 до 0,5), використовують у фрикційних вузлах механізмів: в тормозних системах та трансмісіях. Як фрикційні матеріали найбільш часто застосовують терморезистивні полімери, такі як гуми і фенолоформальдегідні пластмаси. Щоб отримати матеріали з високими фрикційними властивостями, до складу композитів додають оксиди металів, металеві порошки й дріт, азбестове, вуглецеве та базальтове волокно.

Полімери широко застосовують в електротехніці, електронних приладах, в електрообладнанні, де необхідне використання матеріалів з певними електричними характеристиками – електропровідністю, електричною міцністю, діелектричною проникністю та ін.

Електропровідність полімерів в значній мірі залежить від їх хімічної чистоти, домішки значно змінюють даний показник. Так, вміст вологи в поліаміді в кількості від 0,1 до 1,0 мас. % збільшує електропровідність в 1000 разів, аналогічно впливають і пластифікатори. Отримати електропровідні полімери можна, якщо вводити до їх складу електропровідні наповнювачі (металеві порошки, порошки й волокна технічного вуглецю, графіту), вміст електропровідних часток може сягати 90 об. %.

Діелектричні характеристики (діелектрична проникність, тангенс кута діелектричних втрат) полімерів також мають велике значення. Ці характеристики визначаються будовою полімеру і

залежать від частоти й напруженості електричного поля й температури матеріалу. Тангенс кута діелектричних втрат змінюється від 10,1 у фенопластів, до 10,4 у фторопласту – 4 і поліетилену. Діелектрична проникність залежить від полярності молекул полімеру. Даний показник змінюється від 1,9 у неполярних полімерів (фторопласт – 4) до 8,0 у полярних (поліуретан).

Під час створення конструкційних полімерних матеріалів з заданими властивостями часто виникає необхідність регулювання *теплофізичних* властивостей: тепло- і температуропровідності, теплоємності, температурних коефіцієнтів лінійного та об'ємного розширення. Теплофізичні властивості різних базових полімерів мають близькі значення, але застосування добавок допомагає створити композиційні полімерні матеріали, у яких дані властивості відрізняються в десятки й сотні разів. Так, зменшити теплопровідність полімерів можливо шляхом створення комірчастої структури полімеру. Широко застосовуються такі газонаповнені матеріали, як пінопласти на основі полістиролу, полівінілхлориду, поліетилену, поліуретану та ін. Збільшити теплопровідність можливо шляхом введення до композиту металевих наповнювачів (порошкових або волокнистих), графіту, вуглецевої тканини та ін.

3 ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Основні переваги полімерних матеріалів, особливо композиційних, порівняно зі сталлю і алюмінієм, наприклад при виготовленні кузовів вагонів із багатошарових панелей, полягають у сфері економіки і безпеки. На залізниці все більше значення надається зменшенню маси, скороченню витрат в розрахунку на весь термін експлуатації, підвищенню стійкості при зіткненнях.

Для виготовлення конструкцій із металів необхідні коштовна сировина й трудомісткі операції, такі як зварювання й зачищення, чого не потребують композиційні матеріали. Крім того, органічні композиційні матеріали не піддаються корозії, що

збільшує їх термін використання. Вказані матеріали пластичні, тому з них можна виготовляти вироби складної форми, яка відповідає аеродинамічним розрахункам при значно нижчих витратах. Найважливішим є те, що завдяки даним матеріалам можна знизити вагу рухомого складу майже на 50 %, що призводить до зменшення енергоспоживання при експлуатації – фактор, який має велике значення у світлі політики захисту довкілля.

Актуальними для залізниці є такі питання, як створення рухомого складу нового покоління, якість якого б не поступалася якості продукції провідних іноземних виробників, для вирішення цих питань необхідно замінити традиційні матеріали: метали, кераміку, скло, деревину композиційними вугле-, скло- й органопластиками. Перспективним є застосування полімерних композитів на основі вуглецевих нанотрубок, які мають високу міцність і еластичність.

На залізниці полімерні матеріали застосовують у вантажних і пасажирських вагонах, кабінах локомотивів, у пристроях колії й контактної мережі, в залізничній телемеханіці, автоматичі та зв'язку.

Вироби з пластичних мас використовують як для зовнішніх екстер'єрів, так і для внутрішніх інтер'єрів вагонів, купе, салонів та кабін рухомого складу залізничного транспорту, переходів і станцій, сходів та ескалаторів тощо.

У вагонах застосовують склопластики на основі поліефірних смол для внутрішнього й зовнішнього облицювання, сидінь, столиків, багажних полок, санвузлів, віконних наличників, поручнів, коробів для електродротів, кожухів для контактної рейки, шаф для електроапаратури та ін.

Перспективним напрямком є виготовлення великогабаритних деталей, таких як розсувні й двійчасті двері, дахи вагонів, внутрішніх перегородок із склопластиків на основі поліефірних та епоксидних смол; можливе створення цільнокомпозиційних кабін локомотивів, литих носових часток кабін управління електровозів вагою до 250 кг, елементів конструкцій кузовів вагонів.

Також склопластики використовують у вигляді листових матеріалів і як оболонки для тришарових конструкцій типу

«сендвіч». Заповнювачем в таких конструкціях служать пінопласти, пінополіуретан. Застосування склопластиків веде до зменшення маси вагона, знижує трудомісткість його виготовлення, збільшує термін експлуатації.

В *пасажирських вагонах* широко використовують деталі з полімерних матеріалів конструкційного призначення: з деревинно-шаруватого пластика на основі фенолоформальдегідних смол виготовляють ґрати, захисні вікна біля поздовжніх верхніх пасажирських місць, підвіконні і бічні столики.

З волокніту і прес-порошків інших марок виготовляють деталі стельових вентиляторів і плафонів електричного освітлення, корпуси світильників, коробки стоп-кранів, дверні ручки й ін.

Профільовані і формові гумові деталі на основі бутадієнстирольних каучуків застосовують для ущільнення і герметизації вікон, дверей, різних з'єднань конструкцій, деталей систем вентиляції, водопостачання та інших вузлів пасажирських вагонів. Такі деталі амортизують удари, поглинають вібрацію і шум. У приладах і пристроях гальмівної системи використовують манжети, коміри, прокладки з морозостійких (до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$) гум на основі бутадієн-стирольного каучуку і олієстійких резин з бутадієннітрильних каучуків.

Значна частина пасажирських вагонів у швидкісних поїздах обладнана ресорним підвішуванням з амортизаторами, виготовленими з гуми та тканини. Відносно значного поширення на залізницях ряду країн отримали вагонні колеса, в конструкцію яких входять гумові елементи, а також ресори з гуми або з гумо-металевими елементами. В деяких серіях вагонів застосовують апарати, які поглинають удари автозчеплення, забезпечені гумометалевими амортизуючими елементами. Ці апарати легші, мають кращі динамічні характеристики і значно довговічніші, ніж металеві.

Гальмівні колодки з полімерних матеріалів (бутадієнового каучуку, наповненого сумішшю азбесту, сажі та інших компонентів) широко використовують в рухомому складі, що пов'язане з високою зносостійкістю таких колодок і їх малою масою (втричі менше, ніж чавунних); їх коефіцієнт тертя менше

залежить від температури і швидкості руху поїзда. Колодки з полімерних матеріалів застосовують також у вагонах поїздів метрополітену, де неприпустимо утворення пилу від зносу чавунних колодок, який проводить електричний струм, а також у вагонах, обладнаних дисковими гальмами.

У вузлах тертя, що працюють при короткочасних навантаженнях і малих швидкостях ковзання, поряд з металевими втулками застосовують втулки з полікапролактаму, які не потребують змащення, менше зношуються і не викликають зносу і пошкоджень спряжених з ними сталевих деталей.

Термін служби горизонтальних і вертикальних деталей з пластмаси в опорах кузова вагона на візках у 3 – 4 рази вище, ніж сталевих і чавунних, а собівартість і трудомісткість виготовлення відповідно в 1,5 і 10 разів менше. Використання «сухарів» буксових гасителів коливань із пластмас (замість загартованої сталі 45) в конструкції фрикційних амортизаторів підвіски кузова вагона підвищує термін служби всього вузла в 2-3 рази.

З поліетилену високої щільності виготовляють водопровідні труби в системах холодного водопостачання, фітинги та арматуру – з поліетилену і полікапролактаму, баки для води, розташовані над санвузлами, – з поліефірного склопластика. Все це веде до зменшення маси вагона, подовження терміну служби, полегшення монтажу та ремонту, надає можливість застосовувати труби меншого діаметра.

Пластичні маси використовують для внутрішньої обробки пасажирських вагонів, що підвищує їх комфортабельність, знижує вартість і ремонтні витрати. Декоративний тиснений пластикат, дубльований з бавовняною тканиною, застосовують для покриття стін, внутрішніх перегородок, дверей, стель вагонів. Для покриття підлог використовують лінолеуми, для оббивки сидінь і спинок крісел та диванів - шкіру штучну на основі полівінілхлориду. Для оздоблення стін і стелі використовують декоративні паперово-шаруваті пластики. При виготовленні сидінь і спинок крісел використовують пінополіуретан і губчасті гуми із латексу.

Щоб знизити рівень шуму та вібрації у вагонах, внутрішні поверхні металевої обшивки та інших елементів кузова

покривають антикорозійними складами на основі епоксидних смол, поліуретанів, наповнених азбестом та іншими матеріалами.

У *вантажних вагонах* широко використовують деталі з гум на основі бутадієннітрильного і стереорегулярних бутадієнових каучуків:

1) гальмівні колодки, застосування яких дозволяє підвищити швидкість і безпеку руху вантажних поїздів;

2) «пилові» шайби в буксах, на осях вантажних вагонів для ущільнення і захисту підшипників ковзання від бруду та пилу. Використання гумових шайб зменшує доступ в буксу пилу і абразивних часток, знижує витрату і втрати мастила, покращує режим роботи підшипників і значно скорочує витрату вовни;

3) прокладки на кришках оглядових люків букс з підшипниками ковзання, завдяки яким усувається втрата мастила;

4) деталі клапанів, приладів і пристроїв у цистернах всіх типів.

На вагонах з підшипниками кочення застосовують букси з гумовими елементами між опорними поверхнями букс і роликівими підшипниками для амортизації радіальних та осьових динамічних навантажень і їх рівномірного розподілу на роликів. Це більш ніж у два рази збільшує термін служби підшипників, виключає випадки їх аварійного виходу з ладу і подовжує терміни експлуатації інших деталей вагона.

У *рефрижераторних вагонах* підлоги покривають гумовим лінолеумом або виготовляють зі склопластика. Такі підлоги мають більший термін експлуатації, а трудомісткість їх складання і ремонту менше, ніж дерев'яних, покритих оцинкованим залізом; завдяки кращій гідроізоляції довше зберігається термоізоляційний матеріал, зменшується корозія кузова і ходових частин вагона. Підлогові ґрати ізотермічних вагонів, які виготовляють з деревинно-шаруватого пластика і застосовують замість оцинкованих залізних, відрізняються більшою легкістю і міцністю. У деяких вантажних вагонах з пластмас виконують також кришки верхніх і вентиляційні решітки бічних завантажувальних люків.

За кордоном експлуатують рефрижераторні та ізотермічні вагони, кузови яких виконані цілком із склопластиків. Стіни,

підлоги і стелі таких вагонів виготовлені з тришарових конструкційних панелей типу «сендвіч», заповнених пінополіуретаном. Із поліефірних або епоксидних склопластиків виготовляють *контейнери* й котли *залізничних цистерн*.

В *локомотивах і моторних вагонах електропоїздів* широко застосовують фенопласти для виготовлення сотень деталей звичайного електроізоляційного призначення в апаратурі електричних мереж, а також загальнотехнічних деталей (рукояток управління, поручнів, клемних колодок, кнопок та ін). Із армованих фенопластів виготовляють деталі, які працюють в умовах зосередженого і циклічного навантаження, вібрації, періодичного тертя і слугують одночасно для електроізоляції (кулачкові шайби і панелі контролерів керування, деталі реле часу і зворотного струму тощо); різноманітні деталі пристроїв контактуючої апаратури, швидкодіючих вимикачів, релейних приладів, електромагнітних контакторів, реверсорів та багато інших.

Для деталей локомотивного обладнання, які працюють при високих механічних навантаженнях, коливаннях температури від -50 до $+50$ °C (іноді до $+150$ °C), а також під струмом високої напруги, замість сталі з ізоляцією з порцеляни і слюдяних матеріалів використовують склопластики. Завдяки цьому виключаються аварії, пов'язані з руйнуванням ізоляції, зменшуються ремонтні та експлуатаційні витрати, знижуються трудомісткість виготовлення і собівартість деталей, які можуть бути відпресовані цілком з склопластика.

На електровозах деяких типів встановлюють виконані зі склопластика кожухи зубчастих передач та великогабаритні деталі механізму подачі піску. У тепловозах і моторних вагонах електросекцій головна частина кузова, включаючи кабінку машиніста, виконана із пластика на основі поліефірної смоли холодного твердіння, армованого склотканиною і стекломатами.

Фенолоформальдегідні смоли, наповнені дерев'яною крихтою, застосовують для антифрикційних осьових опорних дисків, що підвищує термін служби цих вузлів і дає до 400 кг річної економії бронзи на кожному електровозі. Цей же пластик використовують для виготовлення букс напрямних

електрорухомого складу, а дерев'яношаровий пластик – для деталей опор кузова моторного вагона електропоїздів на візок.

Із гуми й пластичних мас виготовлюють численні ущільнювальні, гідро- та електроізоляційні деталі приладів, апаратів і пристроїв. Гуму застосовують у механізмах гальмівних і пневматичних пристроїв, в паливних насосах і в системах маслоподачі у вигляді гумових прокладок, діафрагм, манжетів, комір'їв та ущільнювачів. Масло- і бензостійкі деталі, які повинні зберігати еластичність при зниженій температурі (до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$), виготовляють з гум на основі бутадієннітрильних каучуків; теплостійкі деталі – з гум на основі кремнійорганічних каучуків і фторвмісних каучуків.

У конструкціях буксових вузлів локомотивів, втулкових елементів (сайлентблоках) в електровозах і тепловозах використовують гумометалеві амортизуючі елементи, які забезпечують кращу амортизацію і гасіння коливань, ніж сталеві ресори. Амортизація екіпажної частини деяких електро- і тепловозів здійснюється за допомогою гумових амортизаторів центральної підвіски кузова. На локомотивах деяких типів застосовують букси, в яких підшипники кочення оснащені гумовими амортизаторами осьових зусиль.

На *електровозах змінного струму* застосовують поліетиленові трубопроводи рідинного охолодження ігнітронів, що дозволяє зменшити масу обладнання і зекономити сталеві труби. Поліетиленові труби застосовують для пневматичних електроізоляційних шлангів у влаштуванні пантографів і швидкодіючих вимикачів, що підвищує надійність роботи і збільшує термін служби деталей. З композитів на основі кремнійорганічних полімерів, наповнених азбестом, виготовляють дугогасильні камери контакторів.

В залізничному *будівництві* полімерні матеріали застосовують для ремонту та захисту від корозії залізобетонних мостів, опор, контактної мережі, шпал та інших залізобетонних споруд. Полімерні покриття на основі перхлорвінілових і інших смол застосовуються для закладення пошкоджень і тріщин в бетоні та для захисту залізобетонних конструкцій, що працюють в агресивних середовищах. Поліхлорвінілову плівку

застосовують для гідроізоляції прогонових будов залізобетонних мостів і як антикорозійне покриття на металеві апарати і ємності.

Перспективним є використання композиційних матеріалів на основі скло – і вуглепластиків при будівництві *мостів*, із них виготовляють мостові брусся й безбаластове мостове полотно. В США вже побудовано комбінований міст, в якому поєднані конструкції із вуглепластика й залізобетону, в перспективі – мостові конструкції із цільнокомпозиційних матеріалів, що дозволить знизити витрати на монтаж і транспортування.

Також застосовуються *стики* з металокомпозитними накладками, *ізолятори контактної мережі*, пішохідні мости із композиційних матеріалів, *пасажирські платформи* і елементи їх будови: навіси, теплові модулі, шумозахисні екрани, водовідвідні лотки та ін.

В США замість дерев'яних шпал, просочених креозотом, почали активно використовувати *шпали* із вторинних полімерних матеріалів (вторинної сировини). Такі шпали мають нижчі показники міцності і зусилля вставлення й вилучення костилів, але їх робочі характеристики близькі до звичайних, а зносостійкість вища. Для виробництва шпал використовують вторинний поліетилен високого тиску (можливе також використання поліетилену в сполученні з полістиролом), який можливо армувати скловолокном, подрібненою гумою, вермікулітом, піноутворювачем.

Необхідність застосування полімерних матеріалів у *верхній будові колії* викликана обладнанням залізниць автоматичним блокуванням, умови роботи якої вимагають електричної ізоляції рейок кожної блок-дільниці. Завдання ускладнюється високими механічними напруженнями, які виникають на стиках рейок, його вирішення стало можливим завдяки розробленню конструкції так званого *ізолюючого стику*, в якому накладки, що скріплюють кінці рейок, виконують з високоміцного пластика.

Зростання перевезень вантажів і швидкості поїздів, підвищення навантаження на осі призвели до необхідності створення ізолюючого стику, обладнаного сталевими накладками, що сприймають механічні навантаження, ізольованими від рейок профільованими прокладками з поліетилену високої щільності. Втулки й прокладки з

поліетилену застосовують і для ізоляції кріпильних болтів у конструкції стику. Перспективний напрям подальшого удосконалення стиків – застосування монолітних, клеєних, клеєболтових та інших конструкцій з деталями і елементами з епоксидного склопластика.

Для амортизації динамічних взаємодій колісних пар рухомого складу з рейками і запобігання швидкому зносу та руйнуванню рейок і непідресорних частин рухомого складу у всіх конструкціях проміжного скріплення рейок з залізобетонними шпалами застосовують прокладки з полімерних матеріалів – гуми, кордоволокніту, поліетилену високої щільності. Ці прокладки здійснюють одночасно і електричну ізоляцію рейок від залізничного полотна. Для запобігання витоку струму від рейок по кріпильних болтах в кожному вузлі скріплень рейок зі шпалами установлюють ізолюючі втулки з фенопластів і більш досконалі – з склопластика.

За кордоном для зміцнення залізничного полотна на водонепроникних ґрунтах застосовують гідроізоляційні плівки з полівінілхлориду, синтетичних каучуків та ін., а також дренажні пристрої з систем сітчастих полівінілхлоридних або поліетиленових труб, заповнених пінополістиролом. З цією ж метою використовують теплоізоляційні шари з пінополістиролу або з полімерцементного бетону на його основі з щільністю $0,5 - 0,6 \text{ г/см}^3$, на які укладають верхню будову колії із залізобетонних рейкових плит. Проводяться досліди із застосування полімерних в'язучих для підвищення монолітності і стабілізації щебеневої баластної призми з метою поліпшення її демпфуючих характеристик, підвищення міцності, довговічності і збільшення міжремонтних термінів експлуатації.

У конструкції деяких *ізоляторів*, що застосовуються в пристроях *контактної мережі*, розповсюджені ізолюючі елементи з склопластиків, що значно зменшило розміри й масу конструкцій, підвищило надійність їх роботи та термін служби. У малогабаритних ізоляторах, які експлуатуються на електрифікованих залізницях постійного струму з напругою 3000 В, ізолюючі елементи виконують у вигляді брусків із склопластика з лакофарбовим покриттям, наприклад на основі кремнійорганічного лаку. Завдяки цьому можуть бути зняті

обмеження швидкості руху поїздів у зоні секційних ізоляторів. На електрифікованих залізницях змінного струму з напругою 27 кВ успішно застосовують секційні ізолятори з ізолюючими елементами «ковзунами». Ці елементи виготовляють з односпрямованого склопластикового прутка з захисними чохлами у вигляді втулок з фторопласту, поліетилену, склопластика на основі кремнійорганічного полімеру або кераміки.

Створення на залізницях *систем автоматичного блокування та сигналізації*, а також *централізованого управління рухом* стало можливим тільки завдяки застосуванню численних деталей з металополімерних матеріалів в електронних, радіо- і електротехнічних приладах і пристроях, пультах управління диспетчера, механізмах автоматичних стрілочних переводів, кабельних ящиках контактних пристроїв світлофорів. Більшість цих деталей одночасно з ізоляцією електричного струму виконує функції конструкційних елементів, що сприймають зосереджені динамічні і статичні навантаження. В результаті використання полівінілхлориду, поліетилену, гум та інших полімерів для отримання захисних покриттів та ізоляції сигнально-блокувального кабелю, дротів і жил значно знизилася витрата свинцю для цих цілей. З цих же матеріалів виготовляють гнучкі шланги, які широко використовують при монтажі багатьох автоматичних і телемеханічних пристроїв. В обмотках та ізоляції струмопровідних контурів і індивідуальних котушок приладів застосовують також різноманітні електроізоляційні лаки.

Із фенопластів виготовляють панелі й плити приладів, клемних колодок, електроізоляційних прокладок, шайб і втулок струмопровідних болтів та інших деталей. Для електроізоляційних деталей систем телемеханіки, автоматики і зв'язку перспективні термопластичні, а також нові термореактивні матеріали; для несучих конструкцій пультів, шаф і апаратів – шаруваті пластики і склопластики.

На реле деяких типів замість металевих захисних ковпаків застосовують ковпаки з прозорого сополімеру метилметакрилату, стиролу і акрилонітрилу.

Перспективним є застосування кольорових світлофільтрів для локомотивних світлофорів, буферних сигнальних ліхтарів

локомотивів і ручних сигнально-освітлювальних ліхтарів. Такі світлофільтри перевершують за експлуатаційними характеристиками світлофільтри з силікатного скла внаслідок більш високої ударної в'язкості і меншого коефіцієнта світлопоглинання у видимій області спектра.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1 Напишіть структурну формулу акрилової (найпростішої ненасиченої одноосновної карбонової) кислоти і рівняння реакції взаємодії цієї кислоти з метиловим спиртом. Складіть схему полімеризації продукту реакції.

2 Складіть схему полімеризації вінілацетату.

3 Складіть схему поліконденсації адипінової кислоти і гексаметилендіаміну. Назвіть полімер, що утворився.

4 Складіть схему полімеризації вінілхлориду.

5 Полімером якого ненасиченого вуглеводню є природний каучук? Напишіть структурну формулу цього вуглеводню. Як називають процес перетворення каучуку в гуму? Чим розрізняються каучук і гума (будова та властивості)?

6 Напишіть рівняння реакцій одержання ацетилену і перетворення його в ароматичний вуглеводень. При взаємодії якої речовини з ацетиленом утвориться акрилонітріл? Складіть схему полімеризації акрилонітрілу.

7 Напишіть структурну формулу метакрилової кислоти. Яка сполука утворюється при взаємодії її з метиловим спиртом? Напишіть рівняння реакції. Складіть схему полімеризації продукту, що утвориться.

8 Складіть схему полімеризації бутадієну (дивінілу).

9 Складіть схему одержання поліетилену.

10 Які реакції називають реакціями полімеризації? поліконденсації? Чим відрізняються ці реакції?

11 Складіть схему утворення каучуку з дивінілу та стиролу. Що таке вулканізація?

12 Складіть схему поліконденсації амінокапронової кислоти. Як називають полімер, що утвориться при цьому?

13 Складіть схему одержання фенолоформальдегідної смоли.

14 Складіть схему полімеризації ізопрену та ізобутилену.

15 Які сполуки називають елементоорганічними, кремнійорганічними? Вкажіть найважливіші властивості кремнійорганічних полімерів.

16 Як з метану одержати ацетилен, далі вінілацетилен, а з останнього хлоропрен?

17 Напишіть рівняння реакції дегідратації пропилового спирту. Складіть схему полімеризації отриманого вуглеводню.

18 Як одержують у промисловості стирол? Наведіть схему його полімеризації. Відобразіть за допомогою схем лінійну і тривимірну структуру полімерів.

19 Які полімери називаються термопластичними, а які термореактивними? Вкажіть на три стани полімерів. Чим характеризується перехід з одного стану в інший?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1 Глинка, Н.Л. Общая химия [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов / Н.Л. Глинка. – 19-е изд., перераб. – М., 1977. – 720 с.

2 Энциклопедия полимеров [Текст]: в 3-х т. / под ред. В.А. Кабанова [и др.]. – Л. – П. – М.: Советская Энциклопедия, 1974. – Т. 2. – 1032 с.

3 Гуль, В. Е. Структура и механические свойства полимеров [Текст]: учеб. для студ. вузов / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев. – М.: Лабиринт, 1994. – 367 с.

4 Лучинский, Г.П. Курс химии [Текст]: учеб. для студ. вузов / Г.П. Лучинский. – М.: Высшая школа, 1985. – 416 с.

5 Несмеянов, А.Н. Начала органической химии [Текст]: в 2-х кн. / А.Н. Несмеянов, Н.А. Несмеянов. – М.: «Химия», 1969. – Т. 1. – 664 с.