

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу ремонту лобового скла  
легкових автомобілів з дослідженням скло утворюючих матеріалів

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-62  
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Переймибіда Р.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Слободян Л.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Левкович М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Переймибіді Роману Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу ремонту лобового скла легкових автомобілів з дослідженням скло утворюючих матеріалів

Керівник роботи Слободян Любомир Михайлович., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 20 » листопада 2023 року № 4/7-1072

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика технологічного процесу ремонту лобового скла легкових автомобілів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Ремонт та відновлення автоскла – 2А1.

Результати застосування найпоширеніших оптичних клеїв на основі епоксидних смол – 1А1.

Спеціальні склоутворюючі матеріали – 1А1.

Механізми виникнення механічних напруг при НІО – 2А1.

Характер руйнувань – 1А1.

Тест обігрівача лобового скла – 1А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 20.11.2023р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	25.11.2023	
2	Технологічний розділ	31.11.2023	
3	Конструкторський розділ	06.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	08.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	22.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Переймибіда Р.Р.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Слободян Л.М.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення технологічного процесу ремонту лобового скла легкових автомобілів з дослідженням склоутворюючих матеріалів».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра к.т.н., доцент Слободян Л.М.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 61 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова: технологія ремонту лобового скла, склоутворюючі матеріали, ультрафіолетове випромінювання, заміна, демонтаж.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	6
<b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	7
1.1 Категорії скляних виробів для транспортних засобів.....	7
1.2 Виробники авто скла.....	9
1.3 Маркування розташування напису.....	10
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	16
2.1 Тріщеноутворення на лобовому склі автомобіля.....	16
2.2 Модель утворення тріщин.....	19
2.3 Встановлення кривої зменшення деформації.....	22
2.4 Відновлення та реставрація автомобільного скла.....	27
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	32
3.1 Огляд кліматичної камери.....	32
3.2 Тест обігрівача лобового скла.....	32
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	38
4.1 Стійкість ситалів до механічного впливу.....	38
4.2 Процес ламінування для виготовлення захисних скловидних панелей з використанням технології триплекс.....	39
4.3 Процеси формування механічних навантажень під час операцій.....	41
4.4 Характеристики скла, посилених за допомогою іонної обробки.....	42
4.5 Модифікація макроскопічного профілю та контурів скляних зразків внаслідок іонної заміни.....	42
4.6 Спосіб розпаду.....	48
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	50
5.1 Вимоги пожежної безпеки при зберіганні та заправленні дорожніх транспортних засобів.....	50
5.2 Осередки ураження НС.....	54
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	58
<b>БІБЛІОГРАФІЯ</b> .....	59
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

У сучасному світі автомобіль став не лише засобом пересування, а й невід'ємною частиною повсякденного життя більшості людей. Одним з ключових елементів безпеки та комфорту в автомобілі є лобове скло, яке забезпечує водію чіткий огляд і захищає від зовнішніх впливів. Проте, внаслідок різних факторів, лобове скло часто піддається пошкодженням, які можуть варіювати від незначних сколів до серйозних тріщин. Ремонт лобового скла є важливим процесом, який вимагає не тільки точності, але й використання високоякісних матеріалів та сучасних технологій.

Удосконалення технологічного процесу ремонту лобового скла легкових автомобілів є актуальним і значущим завданням. Значення цього процесу полягає не лише у відновленні первинного вигляду скла, а й у забезпеченні його міцності, довговічності та безпеки для водія та пасажирів. Ключовим аспектом тут є дослідження та застосування різноманітних склоутворюючих матеріалів, які мають забезпечити найкращі результати ремонту. Це включає вивчення хімічного складу, фізичних властивостей, адгезійних характеристик, а також способів полімеризації та зцілення скла.

Основною метою цієї роботи є не лише оцінка існуючих методів ремонту, а й розробка нових підходів, які зможуть підвищити якість та ефективність ремонтних робіт. Розглядаючи сучасні технологічні нововведення, ми прагнемо знайти оптимальне поєднання матеріалів та методів, які будуть відповідати сучасним стандартам безпеки та довговічності лобового скла.

## 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Категорії скляних виробів для транспортних засобів

Різні типи скла для автомобілів визначаються на основі матеріалу, з якого вони виготовлені, пропонуючи водіям істотні відмінності не лише у показниках довговічності, але й інших аспектах.

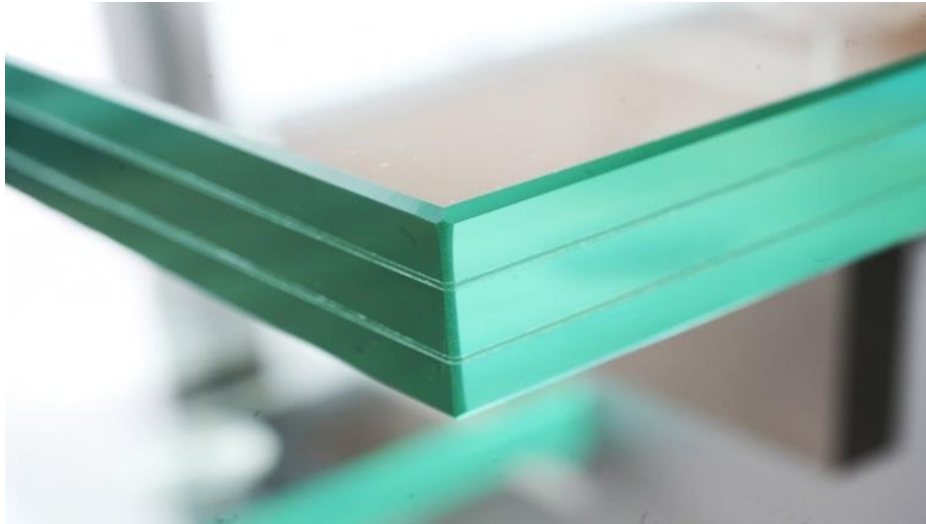


Рис. 1.1. Триплекс.

Виріб із скла, створений методом триплекс, містить декілька рівнів. Зазвичай це два рівні, з'єднані спеціальною полімерною оболонкою. Зазвичай таке скло застосовують як лобове або переднє вітрове, але рідше використовують для бокових чи панорамних елементів. На такому склі можна побачити написи Laminated, Lamisafe, що свідчить про його багатошаровість.



Рис. 1.2. Написи на склі.

Завдяки гнучкому органічному компоненту, триплекс малочутливий до фізичних ударів, володіє високою ступенем міцності. Звичайна товщина таких виробів становить 5-7 мм, але виготовляються також більш міцні моделі з товщиною 8-17 мм.

У разі пошкодження, це скло не розбивається на частини, адже полімерна оболонка утримує фрагменти, тим самим забезпечуючи безпеку водія та пасажирів усередині авто.



Рис. 1.3. Пошкодження скла.

До переліку корисних характеристик триплексу належать:

- значне поглинання шуму;
- опірність до впливу високих температур;
- можливість адаптації кольору;
- нетоксичність використовуваних компонентів.

Щодо мінусів триплексу, то можна виокремити його високу масу, складності у виробництві та відносно велику ціну.

Сталініт. Цей тип продукції використовують для задніх і дверних вікон, а також люків на даху. На поверхні сталініту роблять маркування у вигляді літери та написів Tempered, Temperlite, Therlite, що означає загартований.





Рис. 1.4. Розшифровка надпису.

Сталініт коштує менше, ніж триплекс, але його міцність нижча. Коли таке скло ламається, воно розбивається на дрібні частини з округленими краями. Водіям не рекомендують обирати сталініт для переднього скла: під час ДТП ці частини можуть становити небезпеку для водія та пасажирів у кабіні.

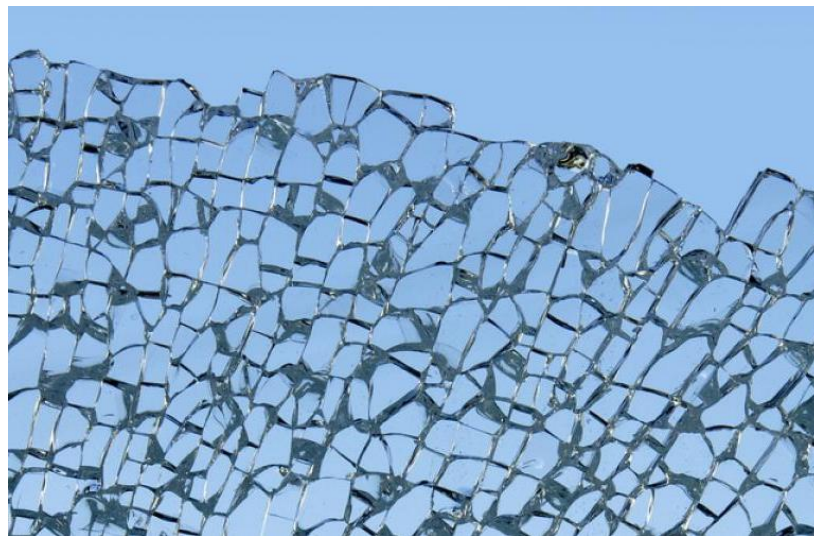


Рис. 1.5. Сталініт.

## 1.2 Виробники авто скла

На ринку налічується приблизно 20 компаній, що спеціалізуються на виготовленні автомобільних скляних виробів. Їх можна умовно класифікувати на три основні групи. Серед них виділяються:

Компанії, що виробляють продукцію вищого класу: Pilkington (Великобританія), Saint Gobain Sekurit (Франція), AGC (Японія), PPG (США).

Ті, хто створює скло для автомобілів бізнес-класу: JAAN (Польща),

Guardian (США), Shatterprufe (ПАР).

Компанії, що пропонують продукцію економ-сегмента: XYG (Китай), CSG (Китай), FYG (Китай), Starglass (Іспанія), Tamglass (Фінляндія) та інші.  
Маркування

Оригінальне автоскло має унікальне заводське маркування чи омологацію. Вивчення цих позначень дозволяє не лише уникнути фальсифікатів, але й дізнатися про місце сертифікації продукту, дату виготовлення та іншу інформацію корисну для автомобілістів.

### 1.3 Маркування розташування напису

Маркування зазвичай розташоване на кутових сегментах виробу (верхня або нижня частина). Воно включає кілька елементів:

ім'я виробника або бренду;

тип скла (матеріал);

відповідність продукції європейському стандарту якості та код країни, де відбулася сертифікація (літера E з числовим позначенням зверху). Стандарти

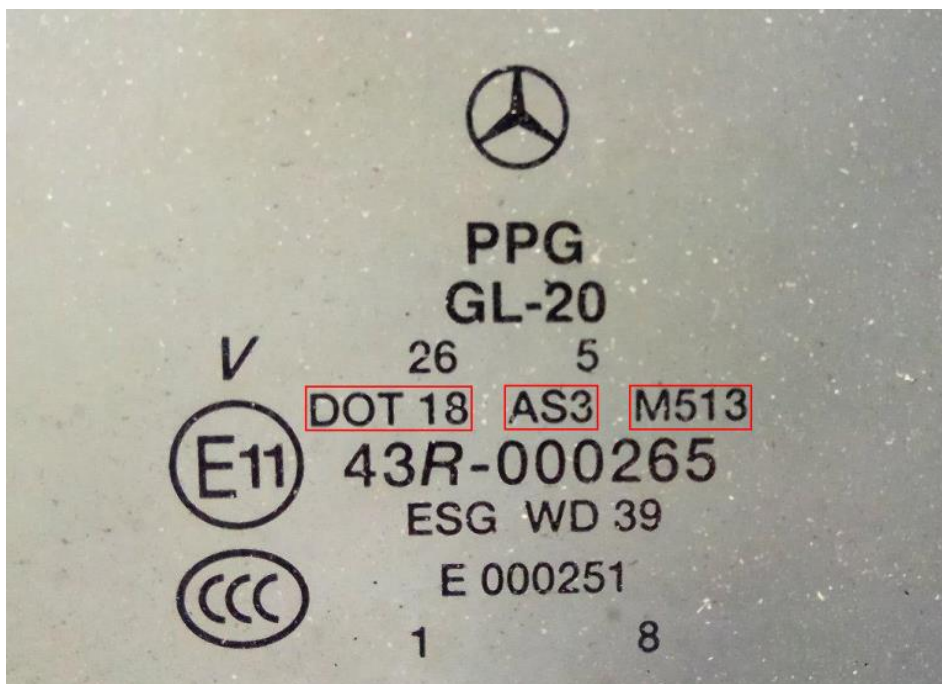


Рис. 1.6. Маркування.

Давайте детальніше розглянемо кілька стандартів маркування і

розшифруємо їх на практичних прикладах.

Американський стандарту Маркування, що використовується в США, відповідає стандарту FMVSS 205. Продукція, що надходить на автомобільні заводи, позначається визначеною інформацією, що забезпечує безпеку скла.

Американський стандарт включає символи DOT, M і AS. Номер, що слідує за DOT, є сертифікаційним номером заводу-виробника, що підтверджує дотримання стандартів транспортного департаменту США.

У Європейському Союзі встановлені норми безпеки для автомобілів, що продаються на теренах ЄС. З огляду на різні законодавчі системи країн Європи, було прийнято рішення розробити і впровадити уніфікований стандарт ECE R43, який отримав підписи всіх членів ЄС. Продукція з європейськими позначками містить літеру "E" у своєму логотипі.

Деякі типи автомобільного скла, що продаються та монтуються у США, використовують маркування, властиве європейському ринку, з позначенням AS на поверхні.

Оцінюючи маркування на склі, представленою нижче, можна зробити висновок, що цей продукт виготовлений торговою маркою Pilkington. Скло отримало сертифікат у Німеччині з кодом E1. Номер заводу, який виготовив продукт, - 682 (ST HELENS WA, ENGLAND).



Рис. 1.7. Європейське маркування.

Маркування віконних скель китайського та японського виробництва.

Ідентифікація віконних скель від виробників Китаю та Японії відбувається за однаковою схемою. Розглядаючи позначення на склі від китайської компанії FY, що має кілька заводів для виготовлення автомобільного скла, можна встановити, що це продукт із кількома шарами. Таке скло отримало сертифікат у Голландії. У цьому конкретному випадку на маркуванні відсутні літери CCC в крузі, що свідчить про експорт авто в Європу. В інших ситуаціях можна побачити маркування з CCC E000199/E000039.



Рис. 1.8. Маркування китайського скла.

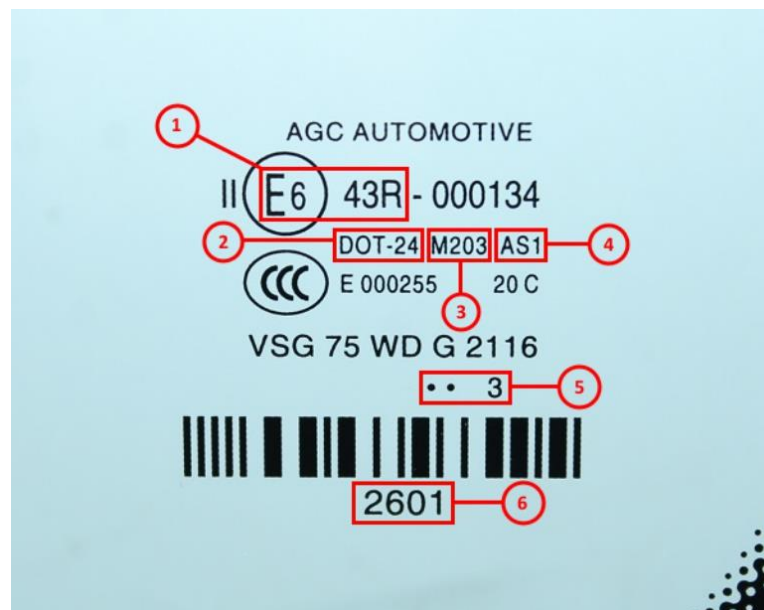


Рис. 1.9. Маркування японського скла.

Ось зразок ідентифікаційного коду скла від глобального лідера у галузі виробництва скла - Asahi Glass Company (Японія). Кожен продукт,



виготовлений у цій країні, позначається унікальним кодом 43.

Це віконне скло позначене як AGC Automotive. Під керівництвом Asahi Glass Company також функціонують Asahi, Lamisafe, AP Tech. Splintex, Temperlite, Asahimas, БОР.

На етикетці вказані також наступні елементи:

E6 43R позначення затверджене офіційно;

DOT 24 ідентифікатор виробничої компанії

M203 позначення, що визначає тип матеріалу, у тому числі його товщину і колір;

AS1 показник відповідності американським стандартам якості;

. . 3 індикація дати виготовлення (точки означають місяць, цифра - рік випуску) 2601 європейський код моделі авто.

Детальний опис маркування автомобільного скла. Уточнюючи та розширюючи дані, зазначені раніше, пропонуємо всебічну інтерпретацію маркування автоскла із роз'ясненнями:

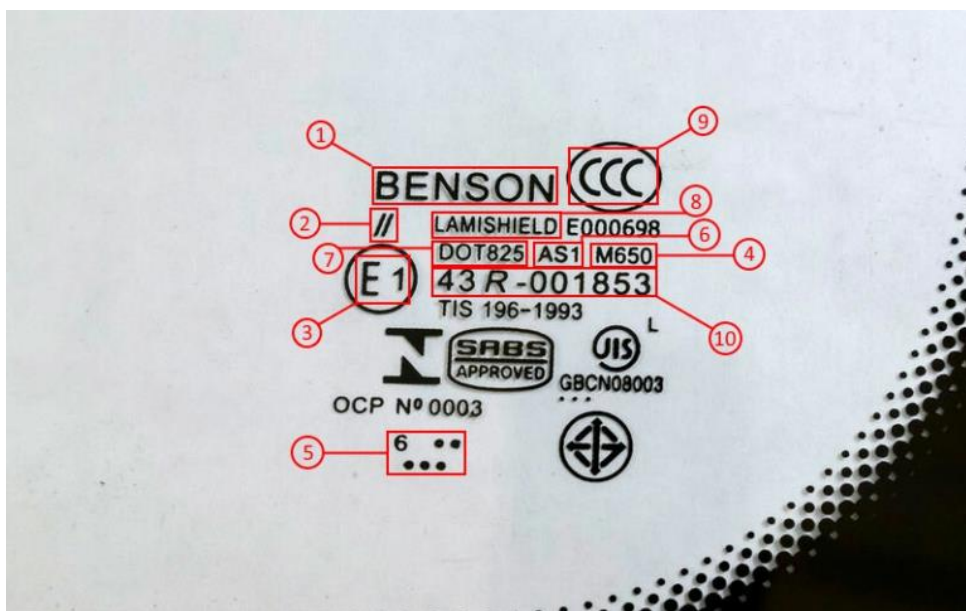


Рис. 1.10. Детальний опис маркування автомобільного скла.

1. Бренд (назва виробника)

Вказує на належність продукту до конкретного виробничого заводу - AGC AUTOMOTIVE, Pilkington.

2. Деталізований класифікатор автоскла

Косі римські цифри від I до VI застосовуються на склах певних категорій:

I – зміцнені вітрові;

II – складні вітрові;

III – оброблені триплексом;

IV – виготовлені з пластику;

V – скла з пропускнуою здатністю менше 70%, не вітрові;

VI – двошарові з аналогічним показником.

### 3. Класифікація за країною (E)

Сигналізує про країну, де скло отримало сертифікацію. На виробі можуть бути вказані комбінації літер та цифр від E1 - Німеччина до E43 - Японія.

Код Країна

E1 Німеччина

E2 Франція

E3 Італія

### 4. Ідентифікатор матеріалу (M)

5. Індекс матеріалу визначає специфікації продукту, включаючи колір та товщину. Дата виготовлення автоскла

Це може бути вказано двома способами:

Через знак дробу з місяцем та роком виготовлення, наприклад, 5/20 травень 2020.

Комбінацією цифр та крапок. Цифра та крапки відображають рік, кількість крапок перед числом показує місяць випуску, кількість крапок після числа означає місяць виготовлення плюс 6.

### 6. Перевірка виробу на міцність та прозорість

AS1. Продукт може бути встановлений в будь-якій частині автомобіля.

AS2. Не підходить для використання як вітрове скло (не пройшло тестування на проникність).

AS3. Продукт непридатний для використання у вітровому або бічному склі. Підходить для тонованих скел.

### 7. Код DOT або ідентифікатор виробника.

Цифровий код вказує на фактичного виготовлювача скла. Він обов'язково має бути зазначений на кожному продукті.

### 8. Вид авто скла.

Laminated Lamisafe складається з декількох слів із плівкою.

Tempered, Temperlite, Therlite – закалені.

9. Відповідність стандарту безпеки ССС Е000199/Е00039 (Китай).

10. Відповідність стандарту безпеки ЕСЕ R43 (43R-001532) (Європа).

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Тріщеноутворення на лобовому склі автомобіля

Пошкодження скляних поверхонь часто відбуваються через удари або через напруження, що виникає всередині матеріалу.

Раптові зміни температури, наприклад, коли кондиціонер включений після тривалого перебування автомобіля на сонці, можуть призвести до утворення тріщин. Аналогічно, сильне включення обігріву в холодну погоду також може спричинити такі пошкодження.

Іншим чинником, що сприяє появі тріщин (рис. 2.1), є деформація каркасу авто, яка може відбутися через автомобільні аварії або внаслідок зіткнення з великими перешкодами. Автомобілі з більш гнучкими підвісками менш схильні до цього виду пошкодження. Ремонт таких тріщин ускладнений через їхній стислий характер країв.

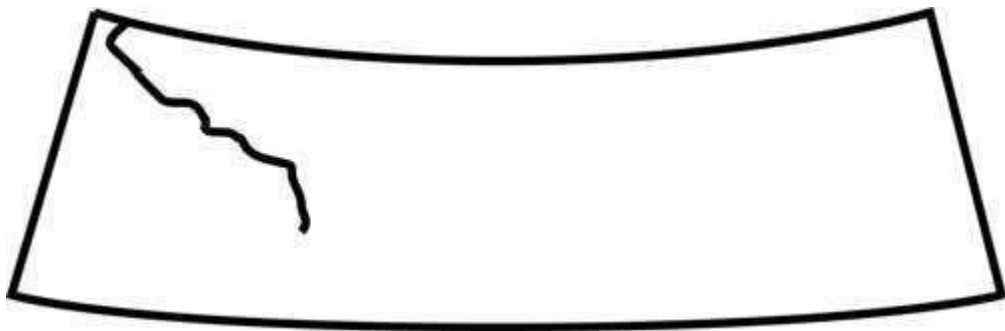


Рис. 2.1. Тріщина.

Одне з частих ушкоджень, спричинених ударами, є бичаче око (Рис. 2.2.), яке формується коли великий камінь влучає у скло. Цей тип ушкодження характеризується круговими тріщинами, які радіально розходяться від центру удару, створюючи конусоподібний вигляд на зовнішній поверхні скла. Це створює візуальний ефект, схожий на візерунок павутини, що виходить від центральної точки удару, роблячи це ушкодження не лише небезпечним для видимості водія, але й складним для ремонту через його унікальну структуру.

Бичаче на півоко (рис. 2.3) - це варіація ушкодження бичаче око, але з меншою кількістю кільцевих тріщин. Цей тип дефекту виникає під впливом подібних факторів, але зазвичай є менш серйозним. Відрізняється від



повноцінного "бичачого ока" тим, що тріщини не формують повного кола навколо точки удару, створюючи напівкруглу або неповну форму. Це зменшує ризик поширення тріщин на інші частини скла, однак все одно вимагає уваги для запобігання подальшого розтріскування.



Рис. 2.2. Бичаче око.



Рис. 2.3. Бичаче на пів око.

Змішане ушкодження (рис. 2.4) означає, що на склі з'являються декілька різновидів дефектів одночасно. Це може включати комбінацію тріщин, вм'ятин, і інших типів пошкоджень, що виникають від різних видів впливу або ударів. Таке ушкодження є більш складним для ремонту, оскільки воно може охоплювати велику площу і включати в себе різні типи пошкоджень, які потребують індивідуального підходу для їх усунення. Це також підвищує ризик поширення дефектів, що може вимагати повної заміни скла, замість локального ремонту.



Рис. 2.4. Змішане ушкодження.

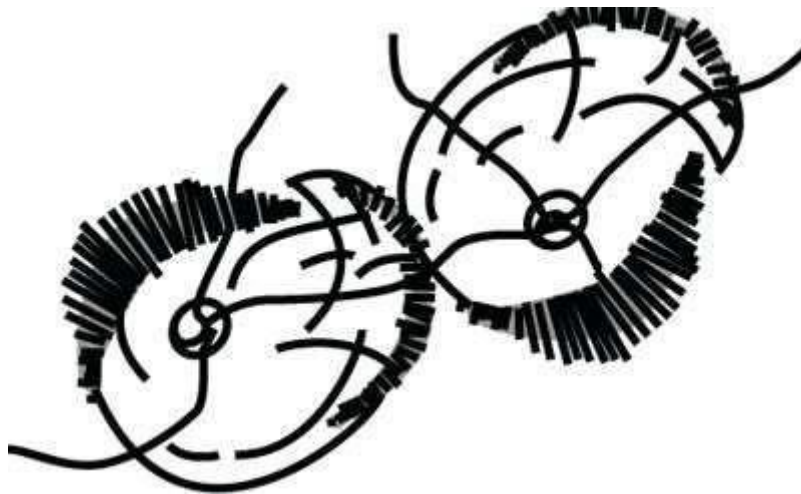


Рис. 2.5. Удар подвійний.

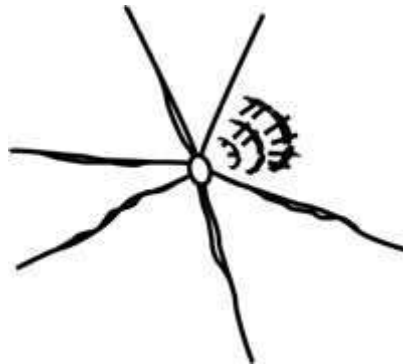


Рис. 2.6. Зірочка.

Багато типів дефектів лобового скла можуть бути ефективно відремонтовані, незалежно від їх розташування на зовнішній або внутрішній стороні скла. Найлегше виправляються невеликі відколи, що не перевищують 2 сантиметрів у діаметрі, а також чисті зовнішні тріщини, довжина яких не перевищує 20 сантиметрів. Більш складними є випадки, коли тріщини на зовнішній стороні досягають від 20 до 50 сантиметрів. Ще більш важкими до

відновлення є тріщини, які перевищують 50 сантиметрів, оскільки вони значно погіршують якість скла.

Старіші пошкодження, які вже забруднені, часто виявляються непридатними для ремонту через труднощі з їх очищенням. Як правило, ремонт можливий для будь-яких чистих тріщин, крім тих, що знаходяться на внутрішній стороні лобового скла та тих, що перевищують 1 метр у довжину. Ремонт таких тріщин вимагає особливих технік і інструментів, а в деяких випадках може знадобитися повна заміна скла для забезпечення безпеки і ясності видимості.

Оптичні спотворення в лобовому склі автомобіля мають бути обмежені до максимуму 2,5 міліметрів. Що стосується вторинного зображення вітрових склінь, воно повинно залишатися в рамках круга, діаметр якого не перевищує 79 міліметрів. Проте, у випадку виникнення тріщини чи відколу у місці, де працює дівірник зі сторони водія, таке лобове скло потребує обов'язкової заміни. Це пов'язано з тим, що такі дефекти можуть істотно впливати на видимість водія, знижуючи безпеку під час руху. Крім того, неправильне розташування дівірників або їхнє пошкодження може призвести до додаткових подряпин і тріщин на склі, що ще більше погіршить стан скла.

## **2.2 Модель утворення тріщин**

У методології FEM/DEM для аналізу тріщин використовується підхід, що базується на концепції, запропонованій Хіллерборгом у 1976 році. Основна формула в FEM, призначена для зон з ушкодженнями, інтегрує метод дискретних тріщин для аналізу їх відкриття. Методика, що розподіляє тріщини, втілюється коли нормальні напруження в матеріалі досягають його межі розтягнення. Це принципово відрізняється від підходу до моделювання дискретних тріщин, який був розроблений Нго та Скорделісом. Цей підхід дозволяє точніше передбачати поведінку матеріалів під час тріщиноутворення, забезпечуючи більш ефективний аналіз їх міцності та довговічності в різних умовах експлуатації.

Методика, що використовує розподіл тріщин, не займається конкретним числовим розрахунком основних тріщин, а скоріше відображає процес ушкодження через слабку взаємодію властивостей матеріалу, що сприяє розподілу тріщин по всьому матеріалу.

Графік 2.7 демонструє типову криву залежності напруження від деформації, яка охоплює від пружної фази до стадії розриву. Цю криву можна поділити на дві основні частини. Зона А зліва відображає пружний сегмент, який може бути описаний за допомогою загальноприйнятого конститутивного закону. Праворуч, затемнена область В відображає фазу послаблення деформації. Коли рівень напруження сягає  $f_t$ , починається утворення тріщини, що супроводжується зниженням напруження у зоні обробки кінчика тріщини. Як тільки зв'язувальне напруження  $\sigma_n$  знижується до нуля, відбувається повне відокремлення.

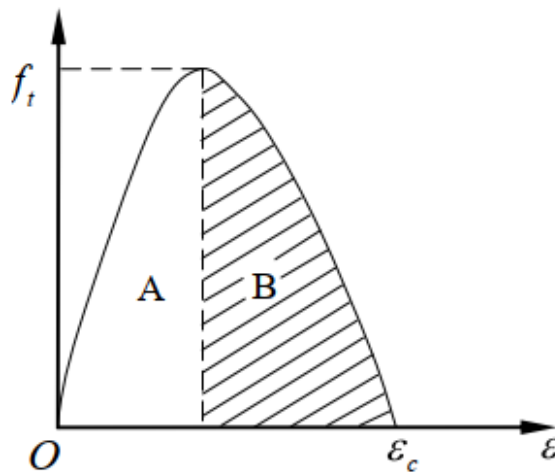


Рис. 2.7. Графік типова крива залежності напруження від деформації.

На цій стадії вважається, що два сусідні елементи, що обмежуються скінченно-дискретними методами, відокремлюються один від одного.

У цій моделі передбачається, що утворення тріщин співпадає з межами елементів, в яких використовуються з'єднані елементи, що є значним недоліком даного підходу. У випадку тріщин першого типу, основною концепцією є визначення напруження розтягування, що утримує спільний елемент, на основі розриву  $\delta$ . Далі можна провести оцінку сил вузлів та деформацій згідно з методом інтеграції скінченних елементів, а також отримати жорстке зміщення, виходячи з другого закону руху Ньютона.

Означте  $\delta_p$  як граничне значення пружності, яке також є точкою розриву, коли напруження зв'язування досягає міцності на розтягнення  $f_t$ .  $\delta_c$  - це максимальне роз'єднання, при якому напруження зв'язування зменшується до нуля. Визначення напруження зв'язування на розтягнення  $\sigma_n$  відбувається за трьома сценаріями: (i)  $\delta < 0$ , (ii)  $0 \leq \delta \leq \delta_p$  та (iii)  $\delta > \delta_p$ . Докладні залежності між напруженням нормального зв'язування  $\sigma_n$  та розривом  $\delta$  представлені у вигляді рівняння 2.1.

$$\sigma_n = \begin{cases} \left[ 2 \frac{\delta}{\delta_p} - \left( \frac{\delta}{\delta_p} \right)^2 \right] f_t & 0 \leq \delta \leq \delta_p \\ f_t z & \delta_p < \delta \leq \delta_c \\ 2 \frac{\delta}{\delta_p} f_t & \delta < 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

де параметр  $z$  є евристичною величиною, яка описана у формулі 2.2:

$$z = \left[ 1 - \frac{a+b-1}{a+b} e^{D(a+bc/((a+b)(1-a-b)))} \right] \left[ a(1-D) + b(1-D)^c \right] \quad (2.2)$$

поки  $a$ ,  $b$  і  $c$  є сталими, а  $D$  є незалежною змінною, яка вказує індекс пошкодження від тріщини і варіюється в межах інтервалу  $[0,1][0,1]$ . Для

$$\delta > \delta_c, \quad D = 1;$$

Для

$$\delta_p < \delta \leq \delta_c, \quad D = (\delta - \delta_p) / (\delta_c - \delta_p).$$

У випадку з бетоном, параметри визначаються так:  $a$  дорівнює 0.63,  $b$  - 1.8,  $c$  - 6, межа міцності на стиск - 3.15 МПа, а зміщення  $s$  - 0.238 міліметрів. Якщо припустити, що зміщення  $r$  становить 0.1 від зміщення  $s$ , то узагальнений профіль графіка, представлений у формулі 2.1 і варіюється від -0.1 зміщення  $s$  до зміщення  $s$ , можна побачити на схематичному зображенні рисунка 2.8.

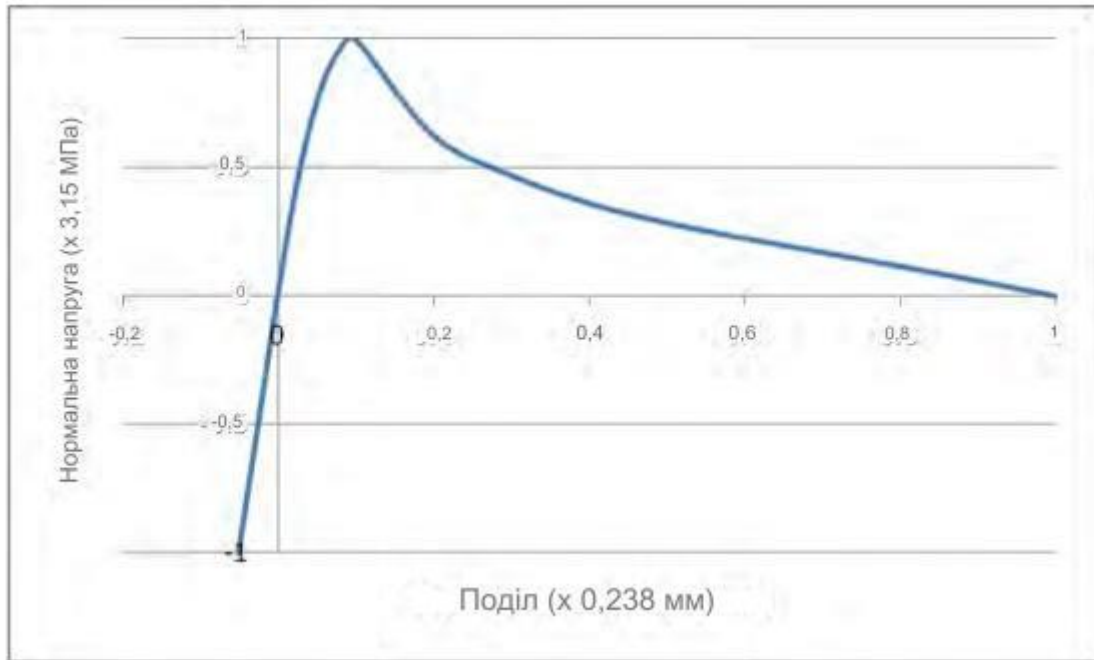


Рис. 2.8. Показує нормалізовану  $f_t$  криву напруження-подовження та стиснення.

Використовуючи індекс ушкоджень  $D$  як окрему змінну для функції  $z$ , певні характеристики цієї кривої  $z$  можуть бути виявлені, незалежно від величин  $a$ ,  $b$  та  $c$ , зазначених у формулі 2.2. Спочатку, коли  $D$  становить 0, це вказує на початкову стадію ушкодження матеріалу, при цьому  $z$  рівне 1 і пов'язане напруження становить  $f_t$ . Зі зростанням  $D$  до 1, значення  $z$  знижується до нуля, що свідчить про відсутність пов'язаного напруження. Встановлення  $D$  рівним 1 у випадку, коли  $\delta$  перевищує  $\delta_c$ , забезпечує, що при будь-якому розриві більше ніж  $\delta_c$  не буде зв'язку між сусідніми елементами FEM/DEM, що веде до повного руйнування та вільного переміщення між ними.

Математично можна легко продемонструвати, що формула 2.1 є неперервною  $C_0$  для  $D$  у діапазоні  $[0,1]$ , що запобігає перериванням напруження. Отримавши пов'язане напруження, вузлові сили можна інтегрувати з використанням стандартної методики FEM, після чого слід провести розрахунок переміщень, виявлення контакту та взаємодію.

### 2.3 Встановлення кривої зменшення деформації

Для аналізу характеристик зменшення деформації скла проводилися чисельні експерименти з різними значеннями  $a$ ,  $b$  та  $c$ . Взято для прикладу

двовимірну скляну балку довжиною 2 метри та товщиною 20 мм. Снаряд, у формі правильного восьмикутника діаметром 50 мм, вдарив балку зі швидкістю 5.85 м/с. Це класичний випадок неглибокої балки, де снаряд достатньо великий, щоб завдати пошкодження та проникнути. Конструктивні особливості балки представлені на рисунку 2.9, а характеристики матеріалу наведені в таблиці 2.1. Дані про матеріал скляної балки, а снаряд виготовлено зі сталі з високою енергією розриву та міцністю на розтягнення, що виключає ймовірність розлому.



Рис. 2.9. Конфігурація скляної структури

Таблиця 2.1. Матеріальні властивості балки та снаряда.

	Балка	Снаряд
Густина	2500 кг/м <sup>3</sup>	7800 кг/м <sup>3</sup>
Модуль Юнга	7x10 <sup>10</sup> Н/м <sup>2</sup>	2x10 <sup>11</sup> Н/м <sup>2</sup>
Модуль зсуву	3x10 <sup>10</sup> Н/м <sup>2</sup>	7.69x10 <sup>10</sup> Н/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт Пуассона	0.2	0.3
Енергія розлому	4.0 Н/м	2.5x10 <sup>5</sup> Н/м
Міцність на розтягнення	20 МПа	2.35 x 10 <sup>5</sup> МПа

Варіювання значень  $a$ ,  $b$ , та  $c$  в формулі 2.2. веде до утворення різних типів кривих протягом діапазону  $D$  від 0 до 1. Чотири типи кривих були досліджені, що включають пряме зниження та три типи кривих зі спадом. З метою спрощення, ці криві були обозначені як  $i$ ,  $ii$ ,  $iii$ , та  $iv$ . Значення для кривої  $i$ :  $a = 0.9$ ,  $b = 0.55$ ,  $c = 1.0$ ; для кривої  $ii$ :  $a = 1.2$ ,  $b = 0.55$ ,  $c = 0.9$ ; для кривої  $iii$ :  $a = 1.2$ ,  $b = -1.0$ ,  $c = 1.0$ ; і для кривої  $iv$ :  $a = 1.09$ ,  $b = -1.0$ ,  $c = 1.0$ . Чотири різні профілі кривих були ілюстровані на рисунку 2.10 де остання деформація кривої ( $i$ ) була приведена до одиниці.

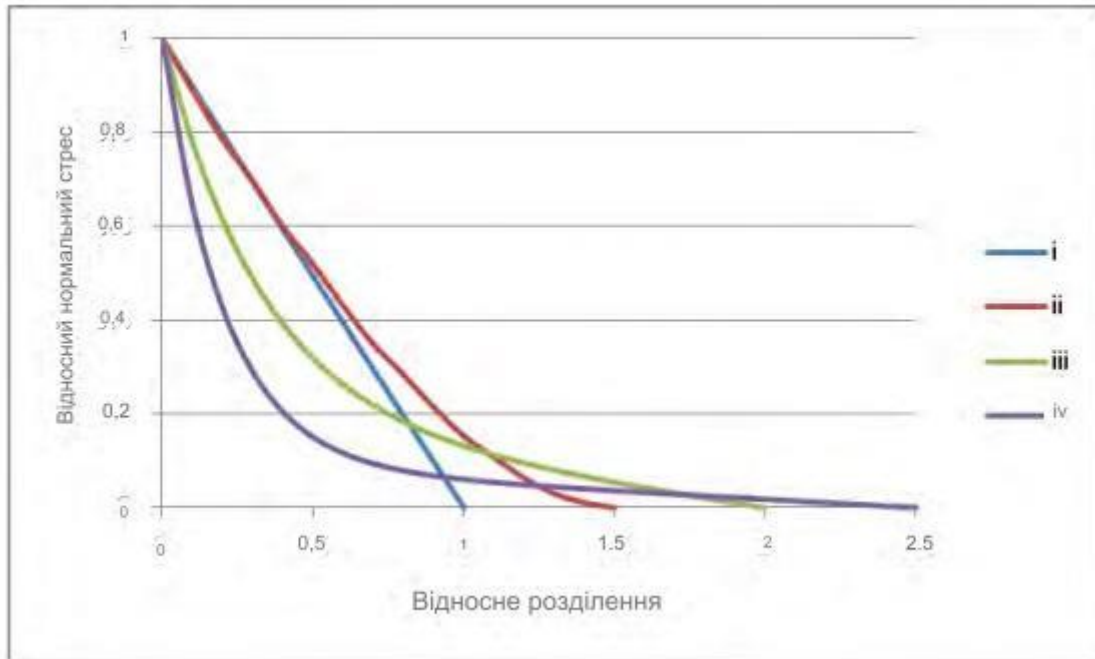


Рис. 2.10. Різні криві пом'якшення деформації відповідно до різних значень  $a$ ,  $b$  та  $c$ .

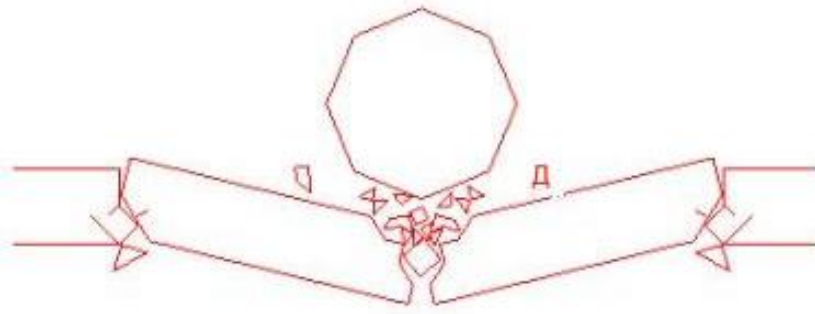
На рисунку 2.11 демонструються реакції балки на ушкодження у момент часу  $t = 2$  мілісекунди. За кривими пом'якшення деформації типу  $i$  та  $ii$  можна виявити два варіанти ушкоджень, відображені на рисунку 2.11 (a) та (b). Перший варіант зосереджений у центральній частині балки, де знаходиться місце удару, а другий - неподалік від центру, де балка демонструє ознаки ушкодження через згинання та тріщини уздовж всієї товщини.

Для третьої та четвертої кривих характерні пошкодження, які зосереджені у місці зіткнення, де на обох кривих утворились тріщини конусоподібної форми (див. рисунок 2.11. (c) та (d)). Відмінність між ними в тому, що на рисунку 2.11. (c) виявлено кілька тріщин, що утворились через згинання на правій стороні від місця удару, в той час як на рисунку 2.11. (d) таких тріщин не спостерігалось. Пояснення цьому можна знайти у формулі 2.3:

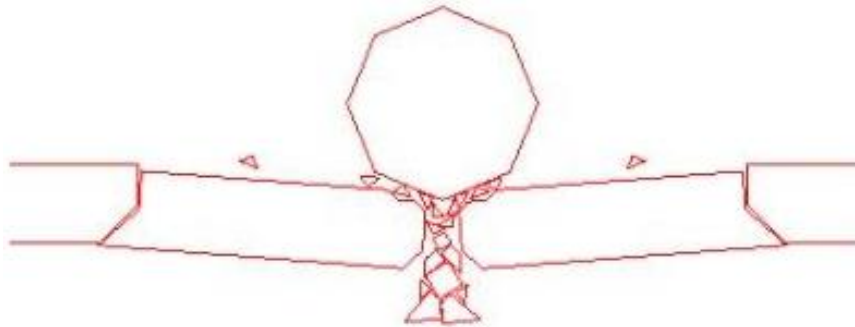
$$G_f = \frac{1}{n} f_t \delta_c \quad (2.3)$$

У цій моделі,  $n$  виступає як коефіцієнт, що гарантує, що площа під кривою пом'якшення деформації відповідає енергії розриву, коли вона порівнюється з координатною віссю.

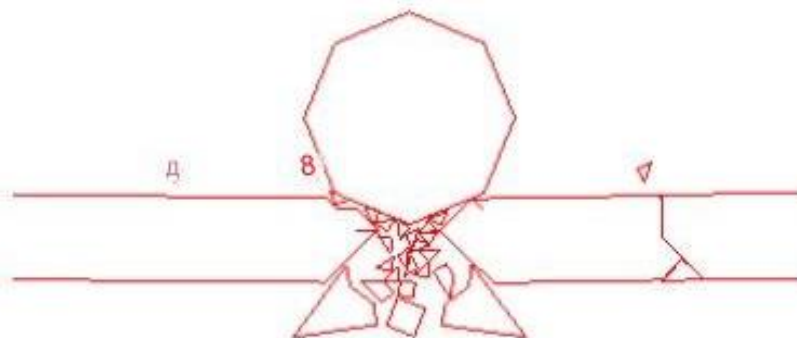




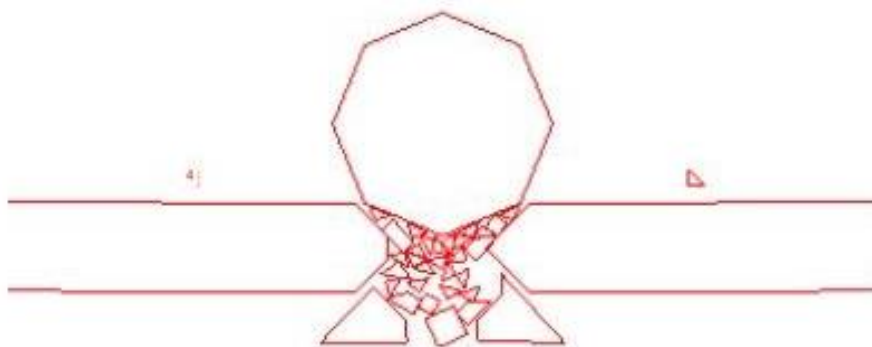
(a) пошкодження під кривою і



(b) пошкодження під кривою ii



(c) пошкодження під кривою iii



(d) пошкодження під кривою iv

Рис. 2.11. Взірці тріщин на зразку за різних кривих пом'якшення деформації на момент  $t = 2$  мс.

З огляду на те, що енергія розриву  $G_f$  та міцність на розтягненні  $f_t$  вважаються незмінними, крива  $z$  із стрімкішим спадом вказуватиме на вище значення  $n$ , що спричинить збільшення  $\delta_c$  і вимагатиме більшої віддальності розриву для деструкції структури.

Це пояснює відсутність ушкоджень від згинання на рисунку 2.11. (d). У порівнянні з даними на рисунку 2.11., конусоподібні тріщини спостерігались при використанні кривих ііі та іv, у той час як згинання було характерним для кривих і та іі. Згідно з рисунком 2.10, крива ііі відображає помірний критичний розрив і досить різкий спад на кривій пом'якшення деформації. Як показано в рівнянні 2.4, крива, що представляє крихкий матеріал із великим значенням показника  $n$ , формує експоненціальний характер, подібний до кривої ііі, і є ідеальною для скла.

$$\frac{\sigma}{f_t} = \left[ 1 - \frac{\delta}{\delta_c} \right]^n \quad (2.4)$$

Нормативи СЕВ-FIP, встановлені у 1990 році, запропонували використання двохсегментної кривої для опису зменшення деформації, деталі якої були зображені на рисунку 2.12.

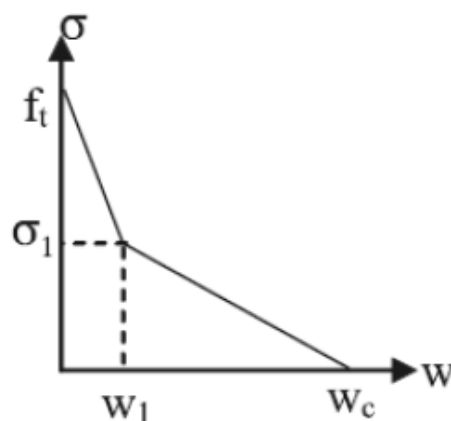


Рис. 2.12. Дволінійна крива пом'якшення деформації

Було застосовано послідовну криву пом'якшення для забезпечення точності в розрахунках двохсегментної знижувальної кривої. Використання кривої з експоненціальним зниженням ііі дозволяє плавно відтворити

двохсегментну характеристику. Результати, пов'язані з розломом скла у цьому розділі, базуються на використанні саме цієї кривої.

## 2.4 Відновлення та реставрація автомобільного скла

Загалом, процес ремонту тріщин полягає у заповненні утворених вад у склі спеціальним клеєм, склад якого забезпечує однаковий показник заломлення світла, як у скла. Під час затвердіння клей зменшується в розмірі, тягне разом і фіксує краї тріщини.



Рис. 2.12. Комплект інструментів.

Монтуючи дзеркало на внутрішній бік скла, фахівець обережно свердлить отвори на кінцях тріщин. Він свердлить на відстань близько 5 мм за межі зовнішньої частини тріщини, оскільки на кінцях тріщин часто присутні непомітні неозброєним оком дефекти структури скла (рис. 2.13).

Далі, за допомогою пристрою, відомого як "міст інжектора", у свердловину вводиться полімерна речовина. Цей полімер, завдяки капілярним властивостям, розповсюджується уздовж всієї тріщини (рис. 2.14).

У той час, як полімер поширюється всередині, фахівець використовує шприц для нанесення полімеру на верхню частину тріщини (рис. 2.15).



Рис. 2.13. Свердління тріщини.



Рис. 2.14. Вливається полімерна субстанція.



Рис. 2.15. Полімер вводиться через шприц.



Щоб оптимально заповнити ушкоджену ділянку, місце тріщини обережно притискають використовуючи інструмент для розширення тріщин (рис. 2.16.).



Рис. 2.16. Ушкоджену область обережно пресують використовуючи пристрій для розширення.

Щоб запобігти надмірному розповсюдженню полімеру на зовнішній поверхні скла, приклеюється прозора плівка (див. рис. 2.17).



Рис. 2.17. Прикріплення плівки прозорі.

Надалі під дією ультрафіолетового освітлення полімер застигає, що триває від 10 до 20 хвилин (див. рис. 2.18).



Рис. 2.18. Закріплення за допомогою ультрафіолетового світла.

Після застигання полімеру плівку видаляють, знімають зайвий полімер, вирівнюють свердлений отвір (див. рис. 2.19).



Рис. 2.19. Вирівнювання ушкодженої зони

Чищення та полірування скла (див. рис. 2.20).

Ціна ремонту автомобільного скла варіюється від 400 до 1000 грн. за сантиметр тріщини. Додатково до цієї суми додається вартість зупинки тріщини шляхом свердління – 300-500 грн.



Рис. 2.20. Показник ефективності ремонтних робіт.

У нашому випадку, нове оригінальне скло коштує приблизно 5100 грн. (+ 550 грн. за монтаж), а неоригінальне – 2500 грн. (+ монтаж 350 грн.). Ремонт 46-сантиметрової тріщини обійшовся всього в 550 грн.

Після ремонту тріщини нам запропонували застосувати на скло захисний склад антидощ. Результат можна побачити на фото: водяні краплі, здувані повітрям, легко котяться по поверхні скла, не утворюючи водяної плівки.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Огляд кліматичної камери

Експеримент був проведений на моделі автомобіля V70 у кліматичній камері КС-1 компанії Volvo Car Corporation, Torslanda, Göteborg, для підтвердження раніше обговорюваної моделі. Кліматична камера використовується для тестування кліматичної ефективності автомобіля на холостому ходу. Вона призначена для дослідження кліматичних умов, що не залежать від швидкості вітру або вологості, та тестів, які не залежать від використання динамометра. Кліматична камера оснащена обладнанням для видалення вихлопних газів двигуна. Розміри кліматичної камери складають ДхШхВ - 7.5 x 3.3 x 2.7 м3. У камері можна симулювати кліматичні умови з температурами повітря в діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C} / +50^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ . Швидкість вітру була близько 0.8 м/с. Охолоджувальна потужність становить 35кВт, а нагрівальна - 30кВт. Процедури тестування повністю автоматичні, що дозволяє проводити вимірювання в реальному часі.

### 3.2 Тест обігрівача лобового скла

Кліматична камера та автомобіль були умовно підготовлені при температурі  $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$  протягом щонайменше 24 годин до початку тесту. Шар льоду на лобовому склі створювався шляхом розпилення  $0.044\text{cm}^3/\text{cm}^2$  води за допомогою розпилювача, після чого залишали на умовне пристосування протягом 30 хвилин. Передбачалося, що сонця немає і автомобіль знаходиться на холостому ходу. Тест тривав 47 хвилин, поки весь лід не розтанув.

Як результат, експеримент надав дані про візерунок інею у визначені часові інтервали та, у цьому конкретному випадку, також температури поверхні лобового скла. Крім того, датчики температури були розміщені на склі лобового скла, як показано на рисунку 3.1. Також під час тесту не використовувалися склоочисники. П'ять фотографій візерунка інею на



лобовому склі під час у визначені часові інтервали показані на рисунках 3.2 - 3.6.

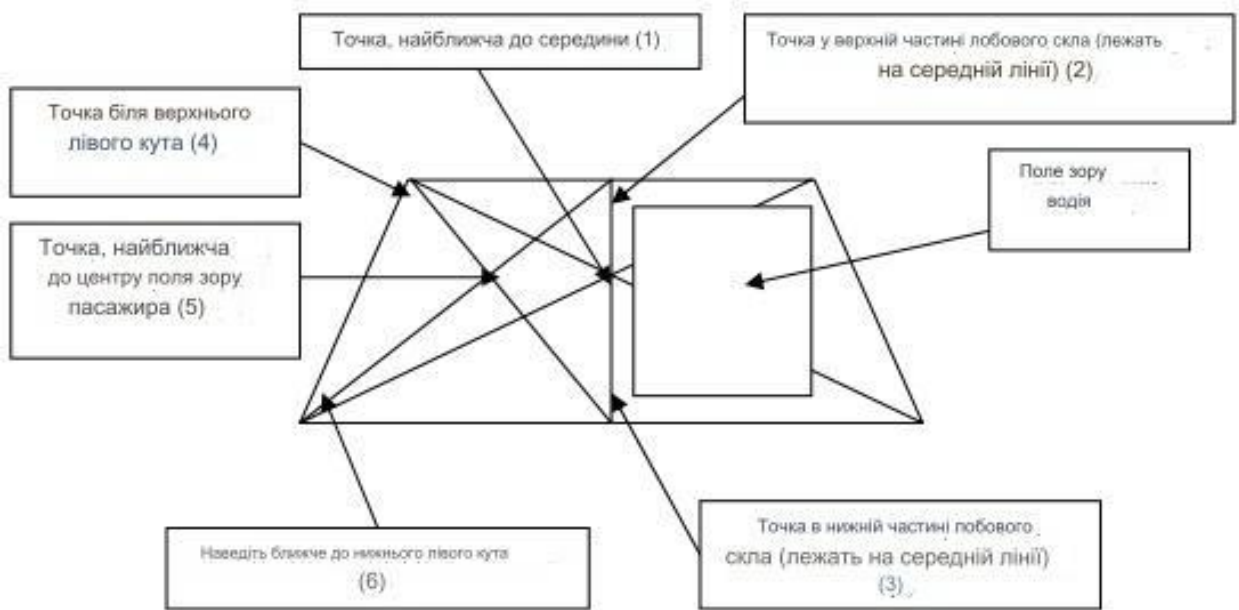


Рис. 3.1. Розташування датчиків температури на лобовому склі.



Рис. 3.2. Схема розморожування через 7 хвилин після початку експерименту.



Рис. 3.3. Схема розморожування через 10 хвилин після початку експерименту.



Рис. 3.4. Схема розморожування через 14 хвилин після початку експерименту.



Рис. 3.5. Схема розморожування через 18 хвилин після початку експерименту.



Рис. 3.6. Схема розморожування через 24 хвилини після початку експерименту.

Модель лобового скла та можливої водяної плівки, про яку йшлося раніше, була інтегрована з моделлю пасажирського відсіку. Візуалізацію цієї інтеграції можна побачити на рисунку 3.7. Результати, отримані з цієї моделі, включають інформацію про температуру всередині відсіку та відносну вологість повітря. Ці дані далі використовуються у моделі, що деталізує лобове скло та можливу водяну плівку.

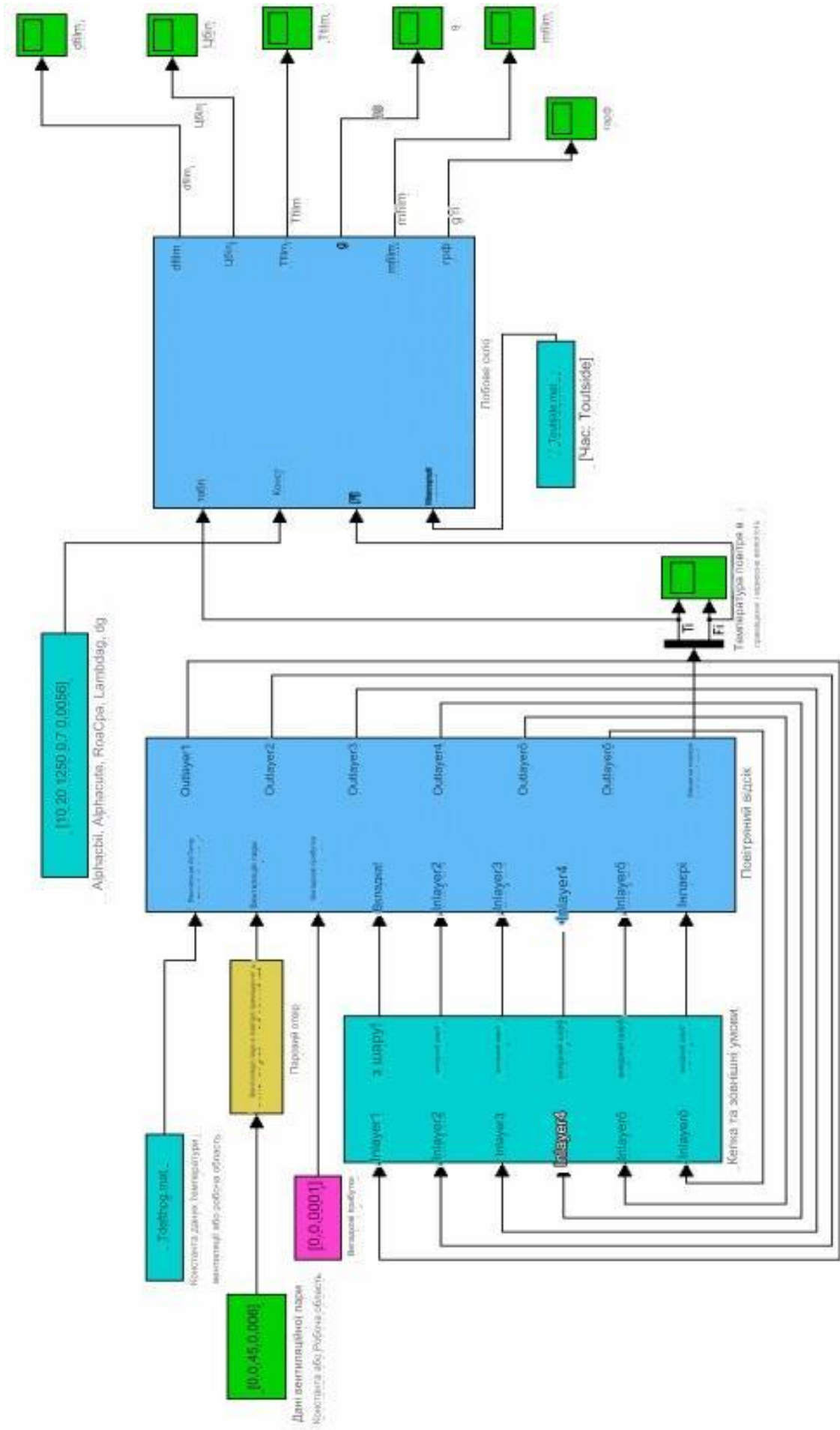


Рис. 3.7. Комбіновані моделі для лобового скла та салону автомобіля.

Дані про температури модельованого потоку повітря від системи обігріву, що йде уздовж внутрішньої сторони лобового скла, відповідали показникам, зазначеним у Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Відображає динаміку змін вимірюваних та модельованих температур виходу повітря від обігрівача, який розташований уздовж внутрішньої поверхні лобового скла.

Час (хвилини)	0	5	10	15	20
Температура з вимірювань V70 (К)	255	283	298	308	313
Температура з симуляції (К)	256	284	296	302	308

Модель була випробувана на верхньому краї лобового скла зі сторони пасажира. Для вхідних даних модель застосовує температуру зовнішнього повітря та температуру вхідного повітря, вологість та первісну кількість води на склі. У комп'ютерній моделі лобового скла передбачалося відсутність сонячного світла та стояння автомобіля на холостих обертах. Швидкість потоку повітря від системи обігріву в кабіні була задана як 2 м/с, як показано на рисунку 3.8. Швидкість потоку зовнішнього повітря була встановлена як 1 м/с.

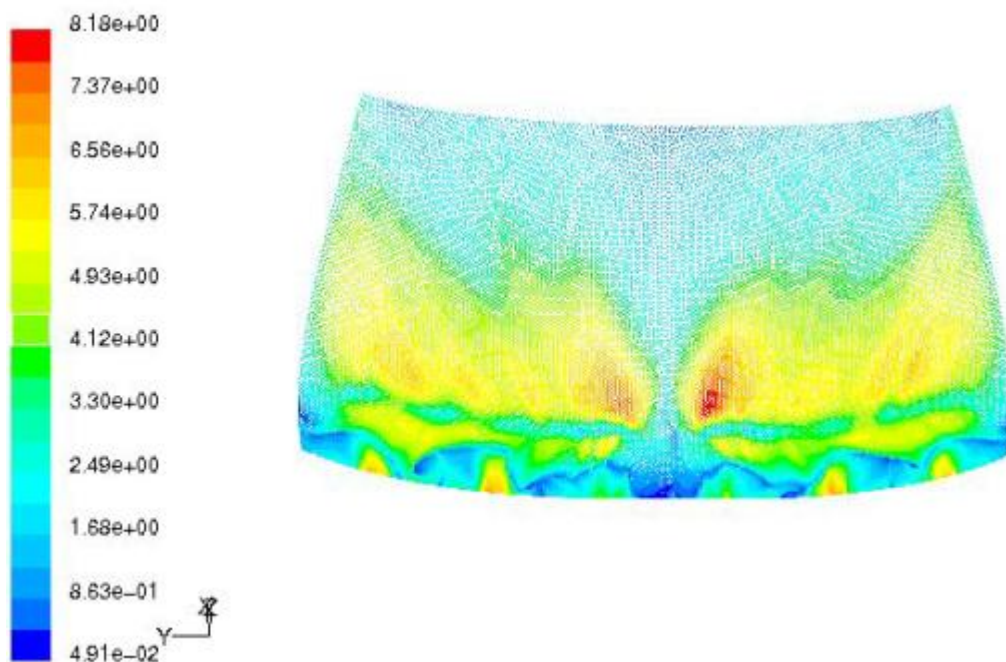


Рис. 3.8: Розподіл швидкостей потоку повітря на лобовому склі моделі V-70, згідно з даними групи обчислювальної гідродинаміки компанії Volvo Car Corporation.

Приймалася упрощена модель лобового скла як плоского скляного вікна. Результати розрахунків включають товщину, масу та температури водяної плівки. Розрахунки стабільного стану проводяться, якщо товщина плівки недостатня (в цьому випадку  $10^{-9}$  м), в іншому випадку проводяться перехідні розрахунки. Час моделювання становив приблизно 5 хвилин на РП 350 MHz.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Стійкість ситалів до механічного впливу

Ситали є унікальними склокристалічними матеріалами, які поєднують в собі властивості скла та кристалів. Ці матеріали формуються шляхом контрольованої кристалізації скляної маси, що дозволяє створювати вироби з певними бажаними характеристиками. Ситали характеризуються високою механічною міцністю, стійкістю до термічних та хімічних впливів, а також здатністю до точного формування. Їх часто використовують в електроніці, оптиці, а також у виробництві лабораторного обладнання, оскільки вони забезпечують необхідну прозорість та стійкість. Властивості ситалів можуть варіюватися залежно від складу та методу виготовлення, що робить їх гнучкими для застосування у різноманітних галузях. Дані для порівняння окремих характеристик початкового скла та ситалу, виготовленого з нього, представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Дані для порівняння окремих характеристик початкового скла та ситалу

Характеристика	Вихідне скло	Ситал
Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,70	2,91
Термостійкість, °С	230	410
Міцність, МПа		
на вигин	105	163
на стискання	450	870
Мікротвердість, ГПа	10,3	12,3
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	1,59	

До цього моменту було розроблено різноманітні матеріали з різними хімічними формулами і властивостями для різних цілей. Однак фізико-хімічні процеси, які використовуються для їх виготовлення, накладають обмеження на вибір складу матеріалу та характеристики технології його створення. Тому при

створенні таких матеріалів застосовуються лише певні спеціальні хімічні рецептури. Все це призводить до високої вартості продукції з такими матеріалами порівняно з аналогічними виробами з скла.

#### **4.2 Процес ламінування для виготовлення захисних скловидних панелей з використанням технології триплекс**

Зростання популярності швидкісного транспорту та розширене використання скляних виробів та конструкцій великого розміру в галузях техніки та будівництва намагаються на необхідність особливого зосередження на питаннях безпеки.

Процес приклеювання спеціалізованої полімерної плівки, яка може бути як прозорою, так і матовою, безбарвною або кольоровою, на поверхню скла для підвищення його міцності та запобігання розлітання уламків при розбитті, відомий як ламінування скла. Цей процес, який забезпечує збереження цілості виробу під час механічного впливу, є широко вживаним методом у виготовленні скляних виробів. Ламіноване скло здатне витримувати сильні удари, при цьому залишаючись цілим та зменшуючи ризик поранень або порізів. Стандарти якості для ламінування скла визначені в ТУ-5923-002-17071027-99.

Процес покриття скла включає накладання термопластичної органічної речовини поміж двома скляними пластинами.

Безпекове скління (стандарт ДСТУ 51136-98) розроблене для вжитку в офісних, громадських та приватних будівлях, а також у засобах пересування, з метою охорони осіб та матеріальних активів. Цей вид скла складається з багатошарової конструкції, включаючи анорганічне скло та синтетичний полімерний компонент. Стійкість цього скла залежить від дизайну його шарів, густини використаного анорганічного скла та виду і густини полімерної частини.

Імпакт-резистентне скління є однією з різновидів багатошарових безпекових скель. Цей термін визначає тип скла, здатного витримувати повторні удари предмета, що падає вільно зі стандартизованими



характеристиками. В залежності від своїх міцнісних характеристик, таке скло класифікується як А1, А2, або А3. Для перевірки стійкості до ударів використовується спеціальне обладнання, на якому проводяться тести з впливу кулі вагою 4,11 кг, що падає вільно з висот 3,5 м, 6,5 м, і 9,5 м на тестовий зразок.

Вибухозахисне скління складається з комбінації силікатного скла зазначеної товщини та поліетилентерефталатної плівки. Згідно з технічними умовами ТУ 5923-008-17071027-00, існує п'ять рівнів стійкості цього скла до вибухів. Тести на стійкість до вибухів виконуються з використанням тротилу різної потужності, розміщеного за 3 метри від скла. Вибухозахисне скло має запобігати повному розлому та утворенню відокремлених шматків скла, як на передній, так і на задній його сторонах.

Броньоване скло надає захист від стрільби та уламків вибухових пристроїв. Вони класифікуються на чотири рівні оборони згідно з ДСТУ 50963-96 і мають товщину в діапазоні 15 ... 65 міліметрів.

Триплекс, або тришарове скління, це захисний скляний елемент, складений з двох шарів скла, з'єднаних за допомогою прозорих органічних речовин та вставок, що формують центральний шар. Як клейовий матеріал зазвичай використовують плівку з полівінілбутиралу, пластифікованого дибутилсебаціатом 16-18%. Ця плівка характеризується високою прозорістю, стійкістю до вологи, адекватною міцністю та сильною прилипальністю до анорганічного скла. Головна перевага триплекса полягає у тому, що при розбитті скло не утворює осколків, але тріщини утримуються на полімерній плівці. Залежно від товщини, розрізняють тонкий триплекс 4,5 мм, стандартний 5 мм та потовщений 6–6,5 мм.

Стійкість триплекса до ушкоджень є значною – коли зразок розміром  $250 \times 250$  мм<sup>2</sup> піддається впливу сталеві кулі вагою 800 грам, що падає з висоти 1 метр, розміри фрагментів скла не повинні бути більшими за 5 мм, а їхня сумарна вага не має перевищувати 0,3% від ваги самого зразка.

Обмеження в застосуванні триплекса та ламінованих скель для захисту частково пов'язані з їх обмеженою здатністю витримувати високі температури. Нормальний діапазон температур, в якому триплекс зберігає свої ключові



властивості, такі як прозорість і відсутність осколків, зазвичай не перевищує 100–110°C. Таким чином, застосування цих матеріалів у умовах, де температура перевищує цей поріг, є неприпустимим.

### **4.3 Процеси формування механічних навантажень під час неінтенційних операцій**

Перш за все, напруження з'являються через розбіжності в коефіцієнтах лінійного теплового розширювання між первинним та іонно-обмінним склом. Розмір цих напружень є невеликим

Другим фактором, що спричиняє напруження, є різниця у специфічних об'ємах між базовим та іонно-обмінним склом. Наприклад, специфічний об'єм скла, що містить натрій  $V_{0Na}$  (іонний радіус  $Na^+$  - 0.98 Å), є меншим, ніж у скла з калієм  $V_{0K}$  (іонний радіус  $K^+$  - 1.33 Å). Іонний обмін  $Na^+ \leftrightarrow K^+$  призводить до зміни специфічного об'єму. В результаті, модифікований поверхневий шар скла намагається розширитися в площинах  $x$  та  $z$ . На рисунку показано специфічний об'єм  $V'$ , який мав би іонно-обмінний шар, якби він не був з'єднаний з основою скла, яка не зазнала обміну. Але міцне з'єднання з основою скла перешкоджає істотному розширенню дифузійного шару в напрямку  $z$ . В результаті, скло займає менший об'єм  $V''K$ . Це викликає виникнення стискаючих напружень у цьому шарі, тоді як основний шар скла піддається розтягувальним напруженням. При високотемпературному іонному обміні або відпалі такі напруження зникають через процеси релаксації, і  $V''K$  прагне до  $V_{0K}$ . Розширення шару в напрямку  $x$  ( $\Delta H''$ ) служить показником вільної зміни об'єму шару внаслідок іонного обміну. У висунуто гіпотезу, що в цьому напрямку можуть виникати напруження на мікроскопічному рівні через побічні ефекти.

У дослідженні вперше була висунута гіпотеза, що небалансний стан скла під час неінтенційних операцій обумовлений наявністю дифузійних напружень, що виникають внаслідок іонної заміни. Ці напруження, які pojawiaються під час процесу НІО і досягають значних рівнів близько 1–3 ГПа, можуть грати важливу роль (завдяки феномену фотоеластичності) у визначенні показника

заломлення та анізотропії в планарних хвилеводах, створених за допомогою технології НІО.

#### **4.4 Характеристики скла, посилених за допомогою іонної обробки**

Вибір конкретного методу посилення скла ґрунтується не лише на рівні міцності, що досягається, але також на загальній сукупності характеристик, якими володіє укріплений скляний виріб. Підсилення скла будь-яким методом веде до зміни його основних атрибутів, покращуючи або погіршуючи їх.

Оперативні характеристики скла, посиленого через іонний обмін, що визначають його застосування як будівельного матеріалу, залишаються недостатньо дослідженими. Більшість досліджень фокусувалися на аналізі окремої характеристики скла, посиленого згідно з режимом, який забезпечує оптимальне підвищення середньої міцності. Проте, іоннообмінний метод може створити різні профілі залишкових напружень у поверхневому шарі скла, через що цей підхід не відкрив усіх потенційних можливостей цієї технології.

У даному розділі аналізуються ключові характеристики скла, зміцненого за допомогою іонного обміну, з акцентом на порівняння з властивостями скла, що було посилено іншими методами. Значимість дослідження кожного параметра в кінцевому аналізі залежить від специфічного функціонального застосування виробу.

#### **4.5 Модифікація макроскопічного профілю та контурів скляних зразків внаслідок іонної заміни**

Заміна іонів з різними радіусами призводить до зміни об'єму скла. Наприклад, заміна  $\text{Na}^+$  на  $\text{K}^+$  іонний радіус натрію  $0.98 \text{ \AA}$ , калію  $1.33 \text{ \AA}$  спричиняє збільшення об'єму скла, тоді як заміна  $\text{Na}^+$  на  $\text{Li}^+$  іонний радіус літію  $0.68 \text{ \AA}$  веде до його зменшення. Подробиці механізмів зміни об'єму при низькотемпературному іонному обміні (НІО) описані в, на яких ми детально зупинятися не будемо. Якщо іонний обмін відбувається на всій поверхні зразка, то зміна об'єму не впливає на макрорельєф поверхні. Проте, якщо іонний обмін

відбувається локально на поверхні зразка, то зміна об'єму веде до зміни макрорельєфу поверхні - зміщення поверхні ( $\Delta H$ ), через яку пройшов обмін, відносно незміненої поверхні. Схематично це зміщення представлено на рис. 4.1. Так, у випадку заміни  $\text{Na}^+$  на  $\text{K}^+$ , величина  $\Delta H$  є позитивною, що свідчить про набряк поверхні. При заміні  $\text{Na}^+$  на  $\text{Li}^+$ , величина  $\Delta H$  негативна, що означає «стискання» поверхні.

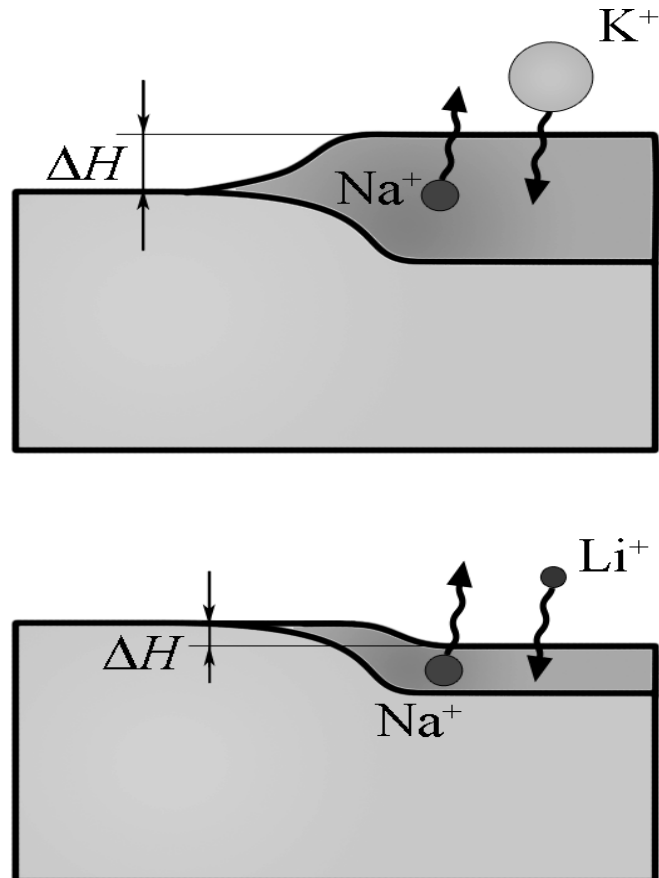


Рис. 4.1. Модифікація макроскопічного профілю поверхні в результаті іонної заміни за участю різних іонів, що дифундують.

Величина зміщення поверхні залежить від тривалості та температури процесу іонної заміни, складу та структури скла, а також видів іонів, що беруть участь у обміні. На рисунку 4.2 представлені типові залежності об'єму «набряку» від часу (а) і температури (б) іонної заміни  $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$  для скла типу К8. З цього видно, що з підвищенням часу та температури іонної заміни значення  $\Delta h$  зростає.

Типові показники набрякання при низькотемпературному іонному обміні для скла К8 варіюються від  $\Delta H = 0.02$  до  $0.2$  мікрметрів. Зростання  $\Delta h$

зумовлене підвищенням концентрації іонів, що беруть участь у обміні, та процесами релаксації.

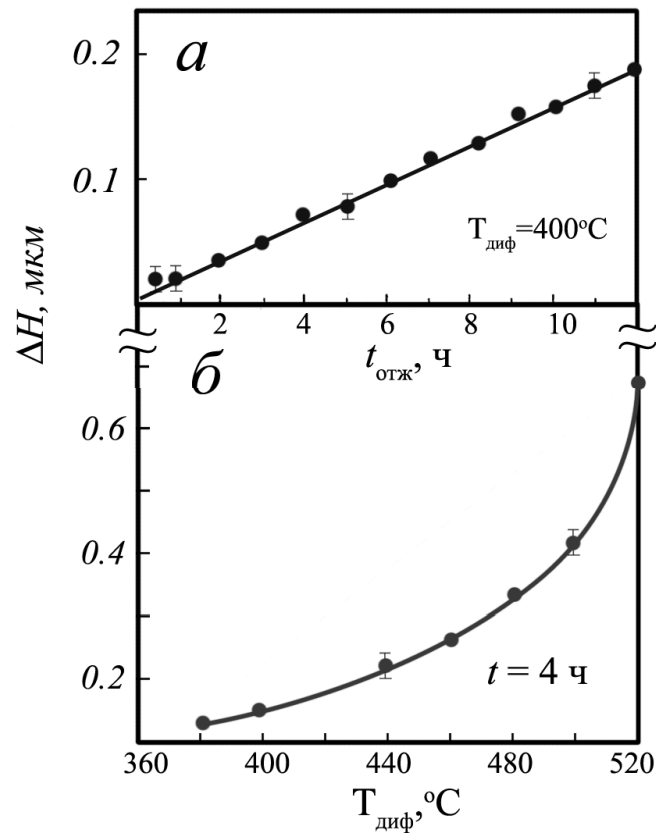


Рис.4.2. Графік, що показує як змінюється об'єм «набряку»  $\text{K}^+$ -дифузійного шару скла К8 залежно від тривалості (а) та температури (б) процесу іонної заміни.

Рисунок 4.3 демонструє, як змінюється об'єм набряку з часом відпалу для скляних зразків, які раніше були піддані низькотемпературному іонному обміну (НІО). Як видно, термічна обробка призводить до додаткового розширення, або збільшення об'єму. Оскільки загальна кількість іонів під час відпалу залишається незмінною, це додаткове розширення пов'язують з процесами релаксації. Найвищі значення  $\Delta h$  спостерігаються при температурах, що сприяють дифузії при температурах, що наближаються до склепіння скла ( $T_g$ ). Наприклад, у випадку скла К8 з  $T_g = 550^\circ\text{C}$ , розширення досягає величини  $\Delta H = 0.6 \text{ мкм}$  при температурі дифузії  $T_{\text{диф}} = 520^\circ\text{C}$  (див. рис. 4.3.б). У ситуації, коли відбувається високотемпературний іонний обмін ( $T_{\text{диф}}$  значно вище  $T_g$ ), після завершення релаксаційних процесів, об'єм іонно-обміненого

скла тендуватиме до об'єму калієвого скла, створеного традиційним методом з вихідних матеріалів.

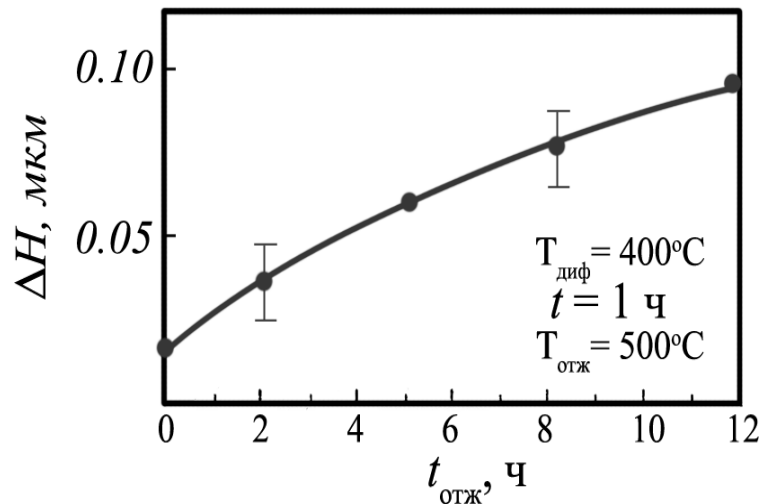


Рис. 4.3. Графік, що ілюструє як змінюється об'єм набряку при іонній заміні в залежності від тривалості подальшої термічної обробки на повітрі.

Коли іонна обробка виконується лише з одного боку скляного зразка, дифузійні напруження та ефект зміни об'єму можуть спричинити його деформацію еластичну або пластичну, в залежності від температури обміну. У випадку, коли зразок є тонкою скляною пластинкою, вона вигинатиметься. Наприклад, при заміні  $\text{Na}^+$  на  $\text{K}^+$ , оброблена поверхня стає випуклою, а необроблена – ввігнутою (див. рис. 4.4). Розглянемо температурні та часові залежності вигину пластини.

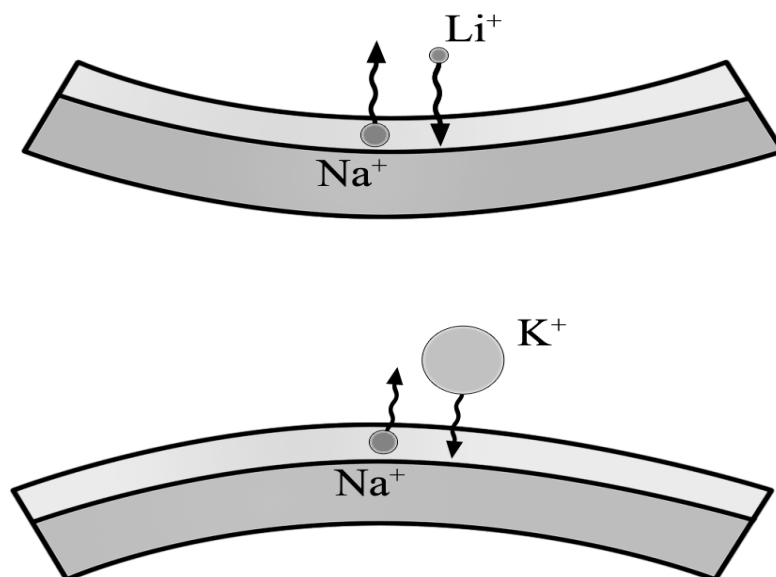


Рис. 4.4. Деформація скляної пластинки внаслідок іонної заміни.

Для дослідження цих залежностей використовуються скляні плоскопаралельні пластинки різної товщини, на одну з поверхонь яких наноситься алюмінієва плівка, яка запобігає іонній заміні. На рисунку 4.5,а представлені типові залежності радіусу кривизни тонкої скляної пластинки від тривалості НІО  $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$ .

З плином часу під час іонної заміни накопичуються напруження, що спричиняють вигин пластини та знижують радіус її кривизни. З рисунку 4.5,а видно, що при однакових умовах дифузії радіус кривизни більший у випадку більш товстих зразків. Це обумовлено тим, що однаковий рівень напруження менше впливає на згинання більш масивного зразка. Наприклад, у випадку скляної пластинки з товщиною 0.15 мм, радіус кривизни досягає  $R = 0.4$  метра при іонно-обмінному шарі товщиною 15 мікрметрів, у той час як для пластинки з товщиною 4.0 мм, радіус кривизни становить  $R = 200$  метрів.

Рисунок 4.5,б ілюструє, як радіус кривизни зразків змінюється в залежності від температури іонної обробки для скла К8 лінія 1 і цинкосилікатного скла (ZS) лінія 2, обидва з товщиною 0.1 мм. З підвищенням температури іонної обробки радіуси кривизни обох типів скла зменшуються. Порівняння ліній 1 і 2 показує, що при температурах  $T_{\text{диф}} < 500^\circ\text{C}$  радіуси кривизни зразків з цинкосилікатного скла (ZS) є меншими, ніж у зразків зі скла К8.

У діапазоні температур  $T_{\text{диф}} > 500^\circ\text{C}$  ситуація змінюється: радіус кривизни зразків зі скла К8 продовжує зменшуватися, тоді як для зразків скла ZS зміни відбуваються менш інтенсивно. Спостережувані залежності можна інтерпретувати наступним чином: у температурному інтервалі  $T_g < 500^\circ\text{C}$  для скла К8 вигин зразків зумовлений еластичною деформацією, і його масштаб визначається розміром дифузійних напружень з досить низьким рівнем їх релаксації ( $\sigma$  близько 0.6 ГПа). Для скла ZS під аналогічними умовами обробки та однаковою товщиною дифузійного шару радіуси кривизни зразків суттєво менші, ніж у зразків з К8, через вищі дифузійні напруження скла ZS ( $\sigma$  близько 1-3 ГПа). У склі К8 ( $T_g = 560^\circ\text{C}$ ) з підвищенням температури (діапазон  $T_{\text{диф}} = 500 - 600^\circ\text{C}$ ) дифузійні напруження релаксують, і зменшення радіуса

кривизни зразка можна пов'язати з пластичною деформацією скла, тобто зі зміною обсягу. У склі ZS з вищою  $T_g$  (600 °C), іонообмінна обробка у діапазоні  $T_{диф} = 500-600$  °C не призводить до значної релаксації дифузійних напружень, тому пластична деформація ще не розпочинається. Відтак, у цьому температурному діапазоні радіуси кривизни більші у зразків зі скла ZS.

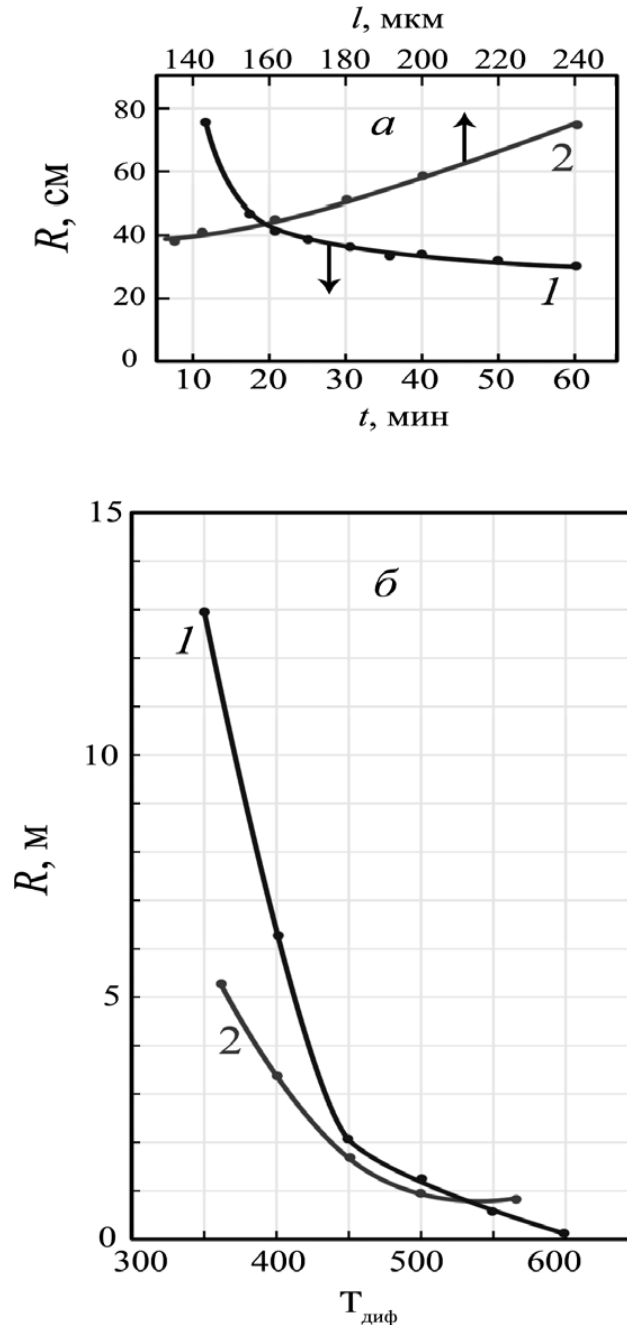


Рисунок 4.5 - Графік, що показує, як радіус кривизни  $R$  поверхні скла змінюється при вигині пластинки через іонну обробку у розплаві  $KNO_3$  (заміна  $Na^+ \leftrightarrow K^+$ ) А) залежно від часу іонної заміни  $t$  (1) та товщини зразка  $l$  (2),  $T_{диф} = 400$ °C, Б) відповідно до температури іонної заміни  $T_{диф}$ ,  $t = 4$  год, товщина пластини  $l = 1$  мм, для скла K8(1) та ZS (2).



Варто відзначити, що вигин скляного зразка під час іонної заміни з одного боку є неприємним побічним ефектом, який потрібно брати до уваги під час посилення скляних виробів або при створенні хвилеводів за допомогою методу НІО. Однак, цей ефект може виявитися корисним для оцінювання розміру дифузійних напружень та збору даних про напруження, які виникають безпосередньо під час іонної заміни. Так, було емпірично доведено, що дифузійні напруження утворюються не після іонної обробки і охолодження зразка до кімнатної температури, а безпосередньо на початкових етапах процесу іонної заміни.

#### 4.6 Спосіб розпаду

У випадку деяких виробів, призначених для конструктивної оптики, спосіб, яким вони руйнуються, є важливішим, ніж їхня міцність. Для деяких виробів критично важливо, щоб під час розпаду не формувалися великі та гострі шматки, тоді як для інших найважливішим є збереження прозорості (місцеве руйнування).

Спосіб розпаду матеріалу залежить від кількості накопиченої внутрішньої енергії. У випадку скла, посиленого шляхом створення внутрішніх стискальних напружень, це визначається балансом між стискальними та розтяжними напруженнями. Іонно-обмінна технологія надає можливість значною мірою змінювати ці параметри, і тим самим керувати способом розпаду. Теоретично, за допомогою іонної заміни можна адаптувати спосіб розпаду виробу від непосиленого до сильно загартованого. Давайте розглянемо декілька прикладів.

На рисунку 4.6 представлено, як товщина та спосіб зміцнення впливають на спосіб розпаду скла хемкор. Три квадрати в верхньому ряду мають однакову товщину 6.35 мм, але були оброблені в розплаві  $\text{KNO}_3$  за різними методами, тоді як квадрати в нижньому ряду були оброблені в  $\text{KNO}_3$  за однаковою процедурою, але мають різну товщину.

У верхній частині рисунка 4.7 зображено процес розпаду серійно виготовлених виробів з оптичного скла К8. Незважаючи на те, що кількість осколків у виробу, посиленого іонно-обмінною технологією, значно вища

порівняно з непоміченим, вони мають вид голок. У нижньому ряду демонструється розпад багат шарових виробів під час динамічного впливу. Так, загартований виріб при цьому розпадається з повною втратою прозорості, тоді як виріб, зміцнений іонно-обмінно, зберігає достатню прозорість, щоб запобігти аварійній ситуації, такий як посадка вертольота чи літака.

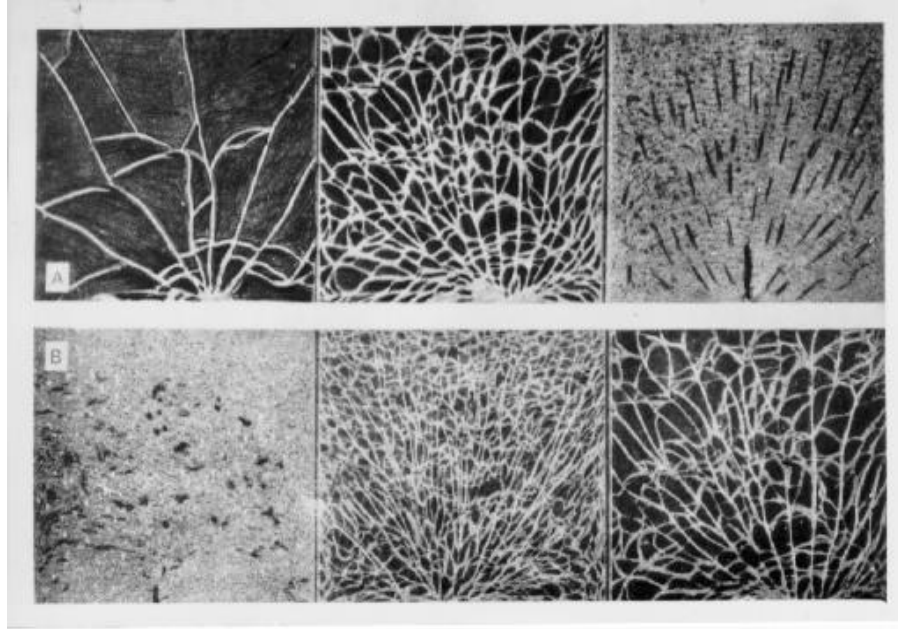


Рис. 4.6. Спосіб розпаду скла Хемкор, зміцненого за допомогою іонного обміну.

Ряд А включає зразки однакової товщини, які були піддані обробці в розплаві  $KNO_3$  за різними методами. Ряд Б демонструє зразки різних товщин, оброблені за однаковим методом.

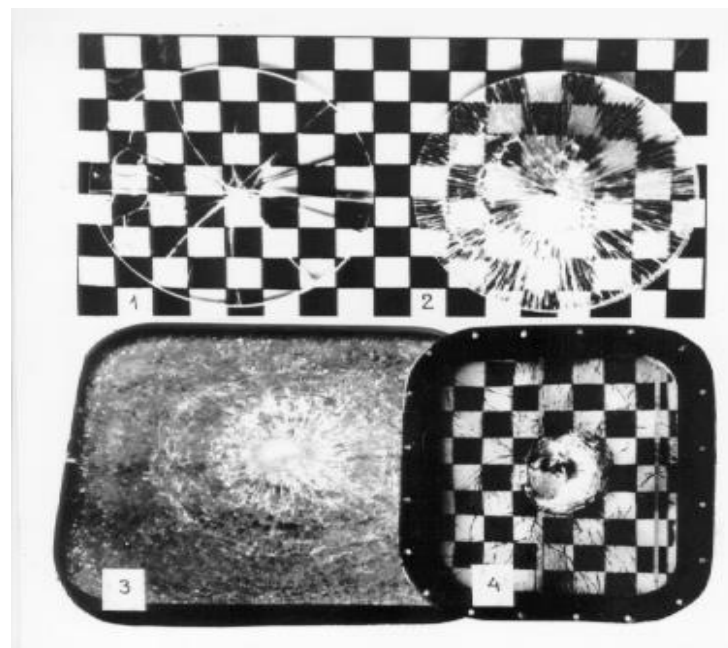


Рис. 4.7. Спосіб розпаду виробів, які не посилені 1, термічно оброблені 3, та зміцнені іонно-обмінним методом 2, 4.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Вимоги пожежної безпеки при зберіганні та заправленні дорожніх транспортних засобів

Дорожні транспортні засоби в приміщеннях, під навісами або на спеціальних майданчиках слід розставляти відповідно до вимог будівельних норм і норм технологічного проектування транспортних підприємств. У приміщенні або під навісами відстань між боковими бортами машин і стіною (колоною) повинна бути не меншою 0,8 м.

Для приміщень і майданчиків, де зберігається більше 25 одиниць транспорту, слід розробляти спеціальний план розстановки транспортних засобів із зазначенням черговості та порядку евакуації в разі виникнення пожежі. Цей план має передбачати чергування персоналу в нічний час, у вихідні і святкові (неробочі) дні, а також порядок зберігання ключів запалювання, щоб черговий міг скористатися ними в разі евакуації транспорту. Місця зберігання транспорту слід забезпечити буксирними тросами і штангами з розрахунку не менш як один трос (штанга) на 10 одиниць техніки.

Над приміщеннями, де розташовані гаражі, неприпустиме розташування приміщень з масовим перебуванням людей. Приміщення для обслуговування автомобілів (за винятком приміщень для миття і прибирання) слід відокремлювати протипожежними стінами (перегородками) від приміщень для зберігання автомобілів. У підвальних, підземних гаражах-стоянках забороняється стоянка газобалонних автомобілів, а також автомобілів для перевезення фекальних рідин, сміття, отруйних і паливно-мастильних матеріалів. Автомобілі, які перевозять ГЗР і ГР, слід зберігати в одноповерхових приміщеннях II ступеня вогнестійкості, ізольованих від інших приміщень стінами 2-го типу.

Автомобілі, які перевозять нафтопродукти, зберігаються як у приміщеннях, так і на відкритих майданчиках, групами із загальним об'ємом ємностей для перевезення означених матеріалів. Вимоги пожежної безпеки при зберіганні дорожніх транспортних засобів

Дорожні транспортні засоби в приміщеннях, під навісами або на спеціальних майданчиках слід розставляти відповідно до вимог будівельних норм і норм технологічного проектування транспортних підприємств. У приміщенні або під навісами відстань між боковими бортами машин і стіною (колоною) повинна бути не меншою 0,8 м.

Для приміщень і майданчиків, де зберігається більше 25 одиниць транспорту, слід розробляти спеціальний план розстановки транспортних засобів із зазначенням черговості та порядку евакуації в разі виникнення пожежі. Цей план має передбачати чергування персоналу в нічний час, у вихідні і святкові (неробочі) дні, а також порядок зберігання ключів запалювання, щоб черговий міг скористатися ними в разі евакуації транспорту. Місця зберігання транспорту слід забезпечити буксирними тросами і штангами з розрахунку не менш як один трос (штанга) на 10 одиниць техніки.

Над приміщеннями, де розташовані гаражі, неприпустиме розташування приміщень з масовим перебуванням людей. Приміщення для обслуговування автомобілів (за винятком приміщень для миття і прибирання) слід відокремлювати протипожежними стінами (перегородками) від приміщень для зберігання автомобілів. У підвальних, підземних гаражах-стоянках забороняється стоянка газобалонних автомобілів, а також автомобілів для перевезення фекальних рідин, сміття, отруйних і паливно-мастильних матеріалів. Автомобілі, які перевозять ГЗР і ГР, слід зберігати в одноповерхових приміщеннях II ступеня вогнестійкості, ізольованих від інших приміщень стінами 2-го типу.

Автомобілі, які перевозять нафтопродукти, зберігаються як у приміщеннях, так і на відкритих майданчиках, групами із загальним об'ємом ємностей для перевезення означених матеріалів газі, підігрів газових комунікацій дозволяється робити тільки за допомогою гарячої води, пари або гарячого повітря.

У приміщеннях, під навісами та на відкритих майданчиках, де зберігається транспорт, не допускається:

встановлювати дорожні транспортні засоби в кількості, що перевищує норму, порушувати план їх розстановки, зменшувати відстань між ними, а також від них до конструктивних елементів будівель (споруд);

захарашувати виїзні ворота і проїзди;

проводити будь-які ремонтні роботи;

тримати дорожні транспортні засоби з відкритими горловинами паливних баків, а також за наявності витікання пального і мастила;

заправляти дорожні транспортні засоби паливом і зливати з них пальне (ці роботи слід виконувати на заправному пункті);

зберігати тару з-під пального, а також пальне і мастила, за винятком палива в баках і газу в балонах, вмонтованих на автомобілях;

підзаряджати акумулятори безпосередньо на дорожніх транспортних засобах;

підігрівати двигуни, трубопроводи відкритим вогнем (смолоскипами, паяльними лампами та ін.), користуватись відкритими джерелами вогню для освітлення;

установлювати на загальних стоянках дорожні транспортні засоби для перевезення ЛЗР та ГР, а також горючих газів;

залишати в дорожніх транспортних засобах промаслені обтиральні матеріали і спецодяг після закінчення роботи;

залишати автомобілі на стоянці з увімкненим запалюванням;

ставити на зберігання транспорт з несправною електропроводкою та з увімкненим вимикачем «маси» (де такий є), з несправною пневматичною гальмовою системою.

Автозаправні пункти (далі - АЗП) поділяються на стаціонарні, пересувні (далі - ПАЗП) і контейнерні (далі КАЗП). Відповідальність за пожежну безпеку АЗП покладається на їхніх керівників. До роботи на АЗП допускаються тільки особи, які пройшли навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму та мають про це відповідні посвідчення.

Протипожежні розриви від АЗП до прилеглих будівель, споруд, відкритих майданчиків, лісових масивів, а також між будівлями та обладнанням

на території станцій, мають відповідати вимогам будівельних норм. Під'їзди не можна захищувати, зимою їх потрібно очищати від снігу і льоду.

Територія АЗП має бути спланована так, щоб унеможливити потрапляння розлитих нафтопродуктів (у тому числі при аварії) за її межі. Автомобільна техніка, яка чекає черги для заправки, повинна знаходитися при в'їзді на територію АЗП, поза зоною розташування паливних резервуарів і колонок.

Забороняється - як у будинку АЗП, так і на відстані менше 20 м від її території — курити, проводити ремонтні та інші роботи, пов'язані з застосуванням відкритого вогню.

На АЗП слід вивісити на видних місцях плакати з переліком обов'язків водія при заправленні автотранспорту, а також інструкції про заходи пожежної безпеки.

Місця заправки та зливання нафтопродуктів мають бути освітлені вночі. АЗП, як правило, повинні бути оснащені телефонним та гучномовним зв'язком. Зливати нафтопродукти в підземні резервуари слід закритим способом (через шланг).

Перед зливанням нафтопродукту з автоцистерни в ємність слід заміряти рівень нафтопродукту в цій ємності. Процес зливання повинні контролювати працівник АЗП і водій автоцистерни.

Під час зливання гнучкий заземлювальний провідник автоцистерни має бути постійно приєднаний до корпусу автоцистерни і мати на кінці пристрій для приєднання до заземлювального пристрою (струбцину, спеціальний наконечник і т.ін.). Кожна цистерна автопоїзда повинна бути заземлена окремо до повного зливу з неї нафтопродуктів. Кожне технічне обслуговування, ремонт, перевірку роздавальних колонок слід фіксувати в журналі обліку ремонту обладнання. Кришки оглядових та приймальних колодязів можна відкривати тільки для вимірювання та відбору проб, при зливних операціях і проведенні профілактичних заходів.

У вибухонебезпечних зонах на АЗП треба мати набір інструменту із металу, який не утворює іскор.

При заправленні на АЗП слід додержуватися таких правил:

мотоцикли і моторолери (за їх наявності) слід подавати до бензоколонок з вимкненими двигунами, пуск і зупинку яких треба здійснювати на відстані не менш 15 м від колонок;

автомобілі подавати до бензоколонок своїм ходом з вимкненням у подальшому двигунів до початку процесу заправлення;

нафтопродукти слід відпускати безпосередньо в бензобаки. Якщо автомобілі направляються в далекий рейс, то дозволяється відпускати бензин (інші нафтопродукти) і в металеві бочки або каністри зі щільними пробками;

облиті нафтопродуктами частини автомобілів до пуску двигунів водії повинні витерти насухо;

випадково пролиті на землю нафтопродукти слід засипати піском, а цей пісок і промаслені обтиральні матеріали зібрати в металеві ящики зі щільними кришками;

відстань між автомобілем, який заправляють, і тим, що за ним у черзі на заправлення, повинна становити не менше 3 м;

відстань між автомобілями, які стоять у черзі на заправлення, - не менш як 1 м, при цьому для кожного дорожнього транспортного засобу має бути забезпечена можливість маневрування та виїзду з території АЗП.

## **5.2 Осередки ураження НС**

Осередком ураження називається територія, на яку впливають негативні фактори надзвичайної ситуації (стихійного лиха, техногенної аварії та ін.), викликаючи масові ураження людей, пошкодження (руйнування) будівель і споруд, пожежі, зараження місцевості. Осередки ураження бувають прості і складні (комбіновані).

Простим осередком ураження називається осередок, який виникає під дією одного вражаючого фактору.

Складний осередок ураження виникає в результаті дії декількох вражаючих факторів (рисунок 5.1).

Форма осередків ураження в залежності від вражаючих факторів може бути:



у вигляді геометричного кола (при вибухах, землетрусах та інше).

у вигляді смуг ( при ураганах, смерчах, затоплені, сольових потоках, снігових лавин та інші).

у вигляді геометрично-неправильної форми (при пожежах, цунамі, зсувах та інше)

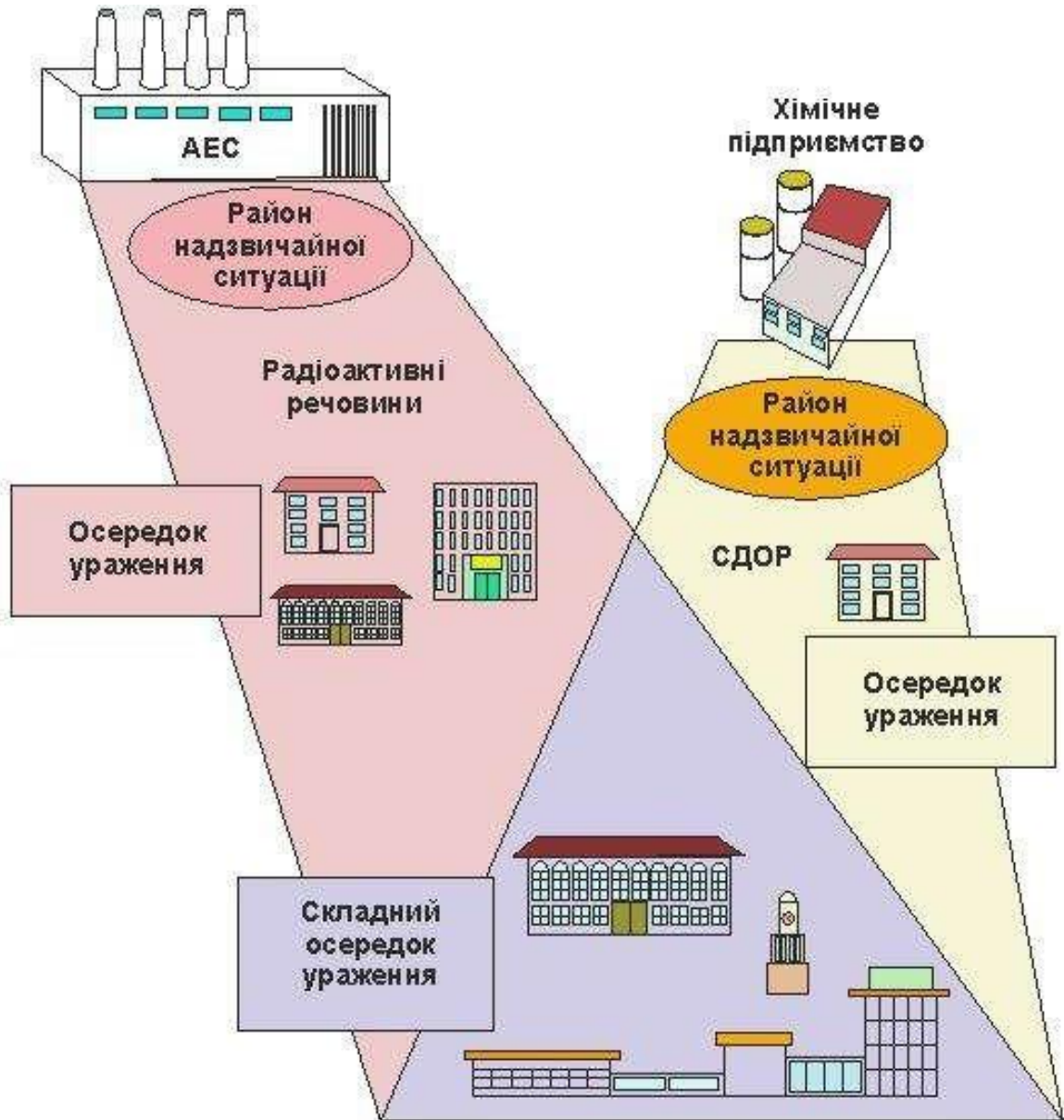


Рис.5.1. Осередки ураження

У графічному зображенні (на плані, карті місцевості) осередок ураження також має певну форму, яка залежить від особливостей даної надзвичайної ситуації. Наприклад, осередок ураження при вибухах має форму кола, при аваріях з викидом радіоактивних речовин – еліпса, при аваріях з викидом небезпечних хімічних речовин – еліпса і сектора кола (Рисунок 5.2 – 5.4)..

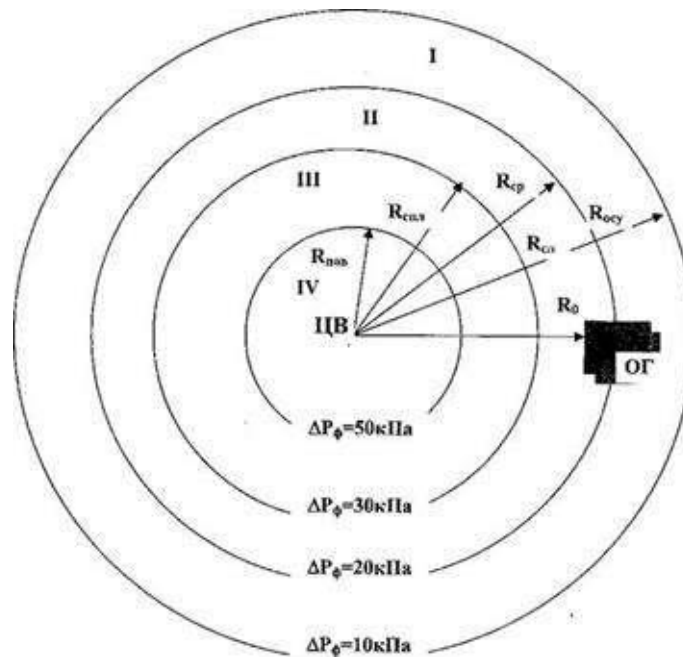


Рис. 5.2. Зображення на карті осередка ураження при вибуху.

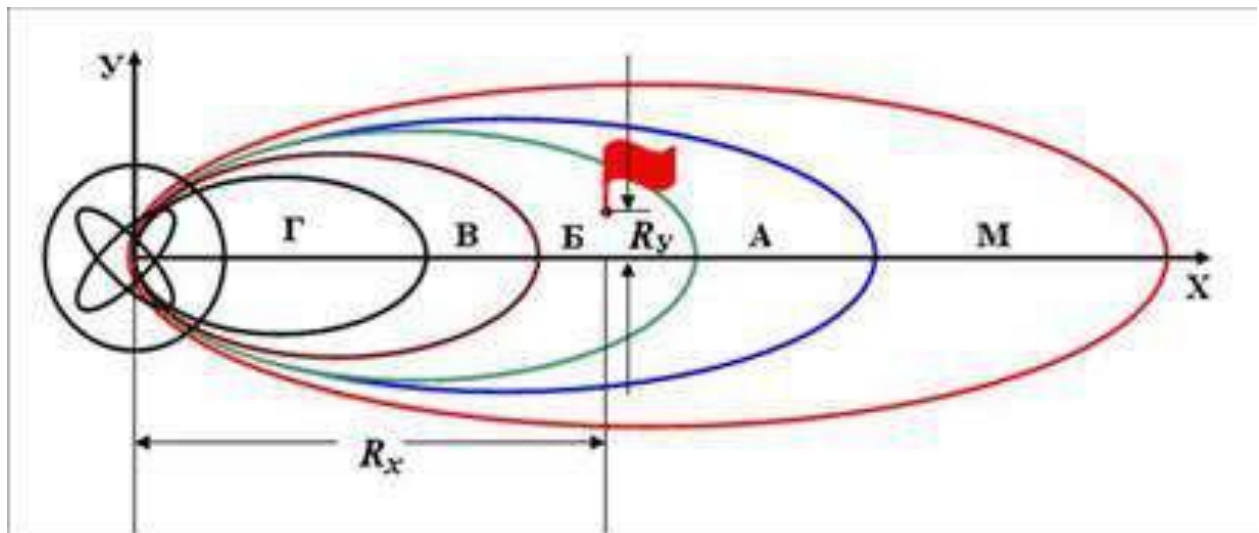


Рис. 5.3. Зображення на карті зон ураження при радіаційних аваріях.

Основними завданнями осередків ураження є координація рятувальних та допомогових заходів, забезпечення ефективного взаємодії між різними службами та організаціями, а також забезпечення інформаційної та психологічної підтримки для постраждалих осіб. Вони також відповідають за планування та проведення тренувань та навчань, спрямованих на підвищення готовності до надзвичайних ситуацій.

Важливо підкреслити, що успіх в управлінні надзвичайними ситуаціями залежить від спільних зусиль усіх сторін, включаючи державні і місцеві органи влади, громадські організації, підприємства та громадян. Осередки ураження

виступають важливим посередником у цьому процесі, сприяючи співпраці та координації всіх зацікавлених сторін.

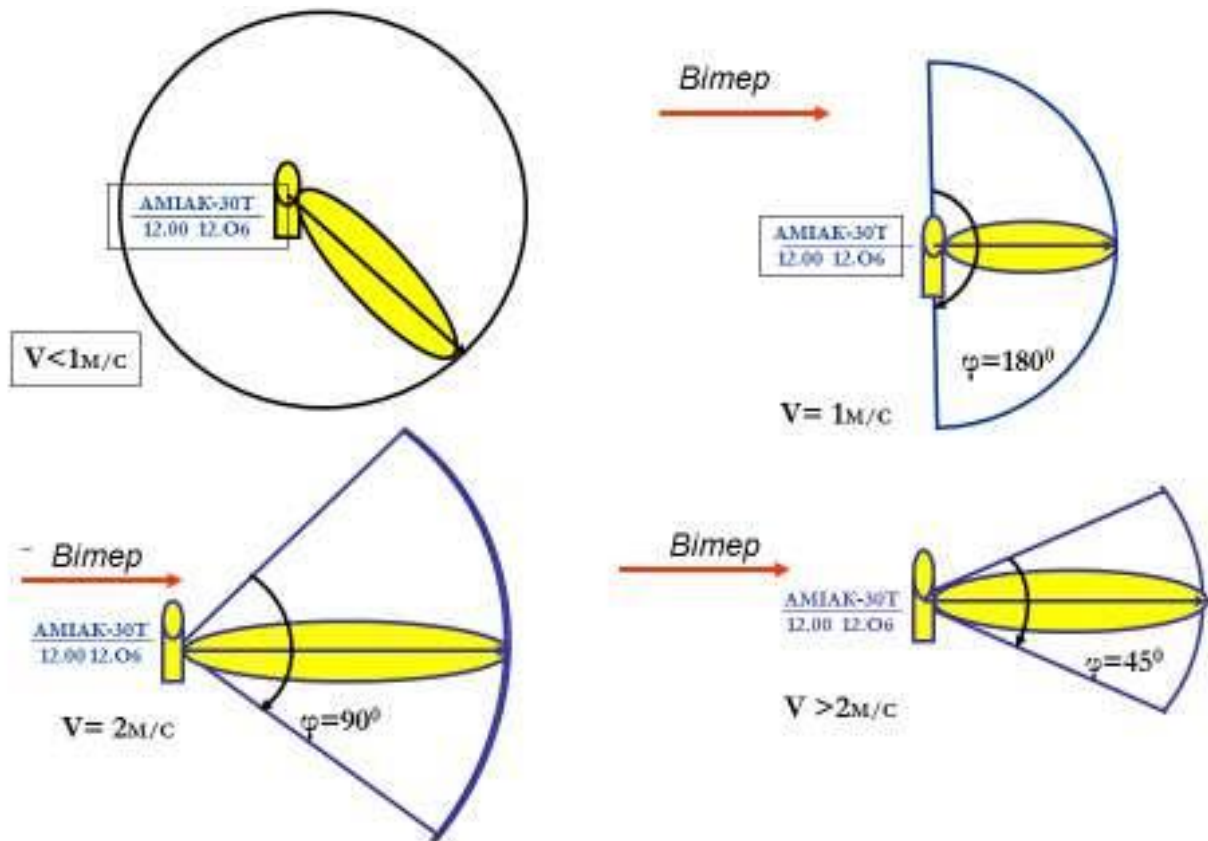


Рис. 5.4. Зображення на карті зон можливого хімічного зараження при аваріях з викидом небезпечних хімічних речовин.

У висновку, осередки ураження є важливими інструментами у системі надзвичайного реагування та готовності до надзвичайних ситуацій. Їх роль полягає у координації та організації рятувальних заходів для захисту життя та майна громадян, і вони відіграють критичну роль у забезпеченні безпеки та підтримці у надзвичайних обставинах.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Удосконалення технологічного процесу ремонту лобового скла легкових автомобілів є важливим аспектом у сучасній автомобільній промисловості. Це дослідження, що включає вивчення склоутворюючих матеріалів, може сприяти підвищенню якості та ефективності ремонтних робіт. Особлива увага приділяється виявленню властивостей скла, таких як міцність, гнучкість та стійкість до впливів зовнішнього середовища, що є ключовими для забезпечення довговічності та безпеки використання скла в автомобілях.

Сучасні технології ремонту передбачають використання високоякісних смол і полімерів, які можуть ефективно заповнювати тріщини та усувати пошкодження без необхідності повної заміни скла. Це не тільки зменшує вартість ремонту, але й сприяє збереженню екологічної рівноваги, оскільки знижується потреба у нових матеріалах.

Впровадження передових методів виявлення та діагностики пошкоджень скла також є важливою частиною удосконалення процесу ремонту. Це дозволяє оперативно визначати необхідність ремонту та вибирати оптимальні способи його проведення. Крім того, постійний розвиток і впровадження нових матеріалів та технік ремонту відкриває нові можливості для підвищення якості та тривалості життя лобового скла автомобілів.

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.

2. Основи теорії і практики гартування скла : навч. посіб. / Т. Б. Жеплинський, С. І. Дяківський. – Л. : Вид-во "Растр- 7", 2011. – 112 с. : іл. – Бібліогр.: с. 107-108 (21 назва).

3. Термічне оброблення і напруження у склі : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. / С. І. Дяківський, Т. Б. Жеплинський, Й. М. Ящишин; ред.: Й. М. Ящишин; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2003. - 196 с. - Бібліогр.: 19 назв.

4. Ящишин Й. М. Технологія скла у трьох частинах: Ч. І. Фізика і хімія скла: Підручник. — Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. — 204 с. ISBN 966-8450-30-2.

5. Ящишин Й. М., Жеплинський Т. Б., Дяківський С. І. Технологія скла у трьох частинах: Ч.ІІ. Технологія скляної маси: Навчальний підручник. — Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2004. — 250 с. ISBN 966-8450-08-6.

6. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

7. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

8. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.

9. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни«Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» /

О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

10. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.

11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.

12. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

13. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

14. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).

15. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).

16. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.

17. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.

18. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська, К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.

19. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.

20. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.