

Дрозд О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ЕКСПЕРТИЗА ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ НА ОСНОВІ ОЗНАК СТРУКТУРНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РЕЦИКЛІНГУ

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю утилізації відходів руйнації через збройну агресію. Сучасна практика менеджменту відходів в умовах воєнних дій ґрунтується на моделях циркулярної економіки, де оновлення ресурсного потенціалу відбувається через переробку сировини та з повторним використанням у виробництві. Аналіз ситуації показав неспроможність використання теоретично-методичних засад довоєнного періоду та необхідність пошуку нових технологічних рішень, які враховують особливості хімічного складу, структури, зносу матеріалів.

Мета роботи полягає у розробці методологічного підходу до експертизи відходів руйнації, який ґрунтується на критеріях структурної деградації матеріалів та покладений в основу розробки організаційних заходів щодо їх рециклінгу. При постановці досліджень застосовано ситуаційний підхід з методологією експертного експерименту. Розроблено методика з алгоритмом реалізації, який містить виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальні дослідження та аналітичний опис їх макро- і мікроструктури; формулювання головних ідентифікаційних ознак деградації структури у порівнянні з еталонними зразками; експериментальні випробування на зразках-свідках з визначенням кількісного і якісного характеру пошкодження; складання калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки. Методика апробована на зразках-свідках автомобільних сплавів, листового віконного скла та полімерного шиферу, які зазнавали нагрівання у окисному середовищі та занурення у воду. Запропонована методика експертного експерименту на відміну від існуючих дасть змогу лише за структурними ознаками визначитись зі ступенем руйнування матеріалу та зробити висновки щодо доцільності його подальшої переробки на сировину або на іншу продукцію. Наукові результати сформульовані у вигляді моделі задачі рециклінгу відходів руйнації з розробкою організаційних заходів, що являє собою підґрунтя для створення стартапів з впровадження беззалишкових технологій.

Ключові слова: металобрухт, скляний бій, полікарбонат, рециклінг, ситуаційний аналіз, експертний експеримент.

Постановка проблеми. Масові руйнування на півдні України, зокрема у Херсонській та Миколаївській областях призвели до накопичення великих обсягів відходів: уламків будівель, техніки, автотранспорту, скла, пластику тощо. Зберігаючись тривалий час просто неба або на сміттєзвалищах вони втрачатимуть можливість бути використаними повторно або переробленими на інші матеріали та сировину. Вирішення цієї проблеми полягатиме у розробці та впровадженні організаційних та технологічних заходів щодо їх переробки на корисну продукцію, що дасть змогу не тільки ефективно утилізувати руйнування та пошкодження, а й забезпечити економію природних ресурсів, необхідних для відновлення країни. Проблемним питанням стає сортування відходів руйнації з проведенням експертизи щодо ступеня пошкодження зі втрачанням матеріалами своїх корисних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка прямих фізичних пошкоджень, яка здійснена аналітичною командою Київської Школи Економіки спільно з Міністерством розвитку громад і територій України, Міністерством інфраструктури України, Міністерством здоров'я України за координації Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України та у співпраці з іншими профільними міністерствами та Національним банком [1], надає всебічну картину збитків з економіки України в період з 24 лютого 2022 р. по 24 люте 2023 р., яка, на жаль, постійно оновлюється. Новітній досвід з управління військовими відходами [2, с. 185–186] ґрунтується на циркулярному підході, який спрямований на зменшення негативного впливу на екологію країни, формування додаткового ресурсного потенціалу економіки України.

Розвиток потенціалу циркулярної економіки з впровадженням рециклінгу будівельних відходів під час ліквідації наслідків збройної агресії розглянуто у роботі [3], де автори наполягатимуть на симбіотичному співробітництві підприємств щодо переробки демонтованих матеріалів. Систематизацію інформації про особливості менеджменту відходів в умовах воєнних дій з рекомендаціями щодо їх вторинного використання та утилізації надано автором роботи [4, с. 109–122]. Крім відходів будівництва військові дії спричинили утворення великої кількості металобрухту (пошкоджена військова техніка, автотранспорт, зруйновані металокопії, електрообладнання тощо), битого скла, пластику та інших синтетичних матеріалів. Рентабельність їх переробки являє собою складний процес, який залежить від енергетичних і трудових ресурсів, енергетики, транспортних можливостей та інших факторів. Над цією проблемою наполегливо працюють екологи, економісти, юристи, комунальники, волонтери. Проте аналіз ситуації показав неспроможність використання теоретично-методичних засад довоєнного періоду та необхідність пошуку нових технологічних рішень, які враховують особливості хімічного складу, структури, зносу матеріалів. Суттєвим недоліком можливої у воєнних умовах експертизи матеріалів є обмеженість у постановці досліджень з використанням сучасного лабораторного обладнання, неможливість експериментальних випробувань, тривалість та

доровартість виконання досліджень у профільних, зокрема закордонних лабораторіях. Слід зазначити, що єдино доступним на даний час джерелом інформації залишається аналітичний огляд літератури.

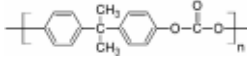
Мета роботи полягає у розробці методологічного підходу до експертизи відходів руйнації, який ґрунтується на критеріях структурної деградації матеріалів та покладений в основу розробки організаційних заходів щодо їх рециклінгу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Матеріали і методи досліджень. При постановці досліджень застосовано ситуаційний підхід [5, с. 296–301], який ґрунтується на прикладанні прямого наукового досвіду до певної ситуації та убачає швидку реакцію на умови, які постійно змінюються. Для досліджень обрано відходи руйнації автомобільного транспорту, листового віконного скла, монолітного та гофрованого полімерного шиферу (табл. 1).

Збирання вхідної інформації полягатиме у аналітичному огляді металевих і неметалевих матеріалів [6–10], які застосовано у автомобілебудуванні [6, pp. 74–81; 7, с. 388–440], для улаштування внутрішніх виробничих приміщень [8, с. 275–282], в технологіях енергозберігаючих віконних систем [9; 10, с. 109–114]. Це значно ускладнює задачу щодо експертизи пошкоджених об'єктів та вилучення фрагментів для їх подальшої переробки. Тому задля отримання якісної інформації щодо характеру пошкодження, зміни фізико-механіч-

Таблиця 1

Дослідні матеріали		
Обраний матеріал	Хімічний склад	Технологія виготовлення
Кузов автомобіля: джерело інформації [6, с. 76-77]		
Твердосплавні сталі (Bake Hardenable, BH)	max: 0,06...0,11 % C, 0,50 % Si, 0,7...1,0 % Mn, 0,060...0,120 % P, 0,030 % S, 0,015 % Al, 0,12 % Ti, 0,09 % Nb	Холоднокатані сталі, зазнають термооброблення одночасно з фарбуванням або цинкуванням
Трансформаційна пластична сталь (Transformation Induced Plasticity, TRIP)	0,14...0,19 % C, 1,57...1,58 % Mn, 0,2...1,6 % Si, 0,013...0,018 % P, 0,025...0,028 % S, 0,04...0,08 % Cr, 0,02 % Ni, 0,002 % Cu, 0,036...0,043 % Al, 0,027 % Ti, 0,042 % Nb	Виготовляються за технологіями холодної та гарячої прокатки
Деформівні високоміцні сплави системи Al-Mg-Si-Mn (зокрема AlSi1MgMn)	max: 0,70...1,30 % Si, 0,60...1,20 % Mg, 0,40...1,00 % Mn, 0,25 % Cr, 0,20 % Zn, 0,10 % Ti	Виготовляється методом екструзії у вигляді листів і плит
Полімерний шифер: джерело інформації [8, с. 275-282]		
Полікарбонат монолітний		Виготовляється методом екструзії
Листове віконне скло: джерело інформації [10, с. 109-114]		
Термополіроване скло (флоат-скло)	Скло систем R ₂ O-PbO-SiO ₂ , SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -Li ₂ O, SiO ₂ -TiO ₂ -Al ₂ O ₃ -B ₂ O ₃ , модифіковані TiO ₂ , SnO ₂ , Mn ₂ O ₃ , CuO, CoO	Модифікація скла методом хімічного зміцнення на основі іонного обміну

них властивостей матеріалів під впливом зовнішніх факторів в роботі застосовано методику експертного експерименту [11, с. 116–221], де за мету ставиться спостереження і фіксація змін в середині предмета дослідження в умовах, наближених до реальних, з аналітичним обробленням результатів та формуванням попередніх висновків. Для цього зі всього обсягу інформації виокремлюється вибірка, у яку штучно вносяться зміни. Проте під час проведення експертного експерименту виникатиме протиріччя між визначенням щодо достатності отриманих результатів та мінімізацією впливу на об'єкт дослідження. Тому для досліджень обраних матеріалів в роботі пропонується наступний алгоритм постановки експертного експерименту з експертизи відходів руйнації:

- виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальні дослідження та аналітичний опис їх макро- і мікроструктури;
- формулювання головних ідентифікаційних ознак деградації структури у порівнянні з еталонними зразками;
- експериментальні випробування на зразках-свідках з визначенням кількісного і якісного характеру поведінки під час нагрівання у окисному середовищі та занурення у воду;
- складання калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки.

Запропонована методика дасть змогу лише за структурними ознаками визначитись зі ступенем руйнування матеріалу та зробити висновки щодо доцільності його подальшої переробки на сировину або іншу продукцію.

Теоретичними і практичними передумовами щодо визначення критеріїв деградації структури дослідних матеріалів і розробки організаційних заходів щодо їх рециклінгу є досвід з оцінки деградування структури та механічних властивостей сталей трубопроводного сортаменту [12, с. 222–227], теоретичні аспекти старіння полімерних матеріалів [13, с. 5–13] та власний досвід автора щодо переробки скляного бою на порошок з виготовленням з нього ізоляційних матеріалів [14, с. 180–185; 15, с. 13–20].

Постановка і результати експертного експерименту. Для досліджень було підготовлено еталонні зразки і зразки-свідки у формі пластин розміром 150 мм×50 мм, макро- і мікроструктуру яких досліджено за допомогою медичного обладнання (мікроскоп *Granum*). Для нагрівання зразків у монотонному режимі окисного середовища до температури 220 °С застосовано стерилізатор сухожар СН-360, який у звичайних умовах використовується для стерилізації манікюрних інструментів. Занурювання зразків здійснювалося у ємності для замочування і стерилізації медичного інструменту у водопровідній воді температурою +20°С протягом 90 днів. Незвичайний для хімічних лабораторних досліджень вибір медичного обладнання зроблено, виходячи з міркувань зручності в умовах пересування по об'єктах руйнації. Якісні результати досліджень наведено у табл. 2, проте слід прийняти до уваги той факт, що зразки-свідки було виокремлено зі зруйнованих об'єктів.

На рис. 1, як приклад, наведено калібрувальну шкалу руйнування зразку полікарбонату під термічним впливом. Гістограми побудовано за результатами прямих вимірювань зміни маси зразків полікарбонату (фрагментів листів шиферу). Кожному результату надано відносну кількісну оцінку (бали), які далі як еталонні значення будуть застосовані для оцінювання ступеня пошкодження інших зразків.

На рис. 1, як приклад, наведено калібрувальну шкалу руйнування зразку полікарбонату під термічним впливом. Гістограми побудовано за результатами прямих вимірювань зміни маси зразків полікарбонату (фрагментів листів шиферу). Кожному результату надано відносну кількісну оцінку (бали), які далі як еталонні значення будуть застосовані для оцінювання ступеня пошкодження інших зразків.

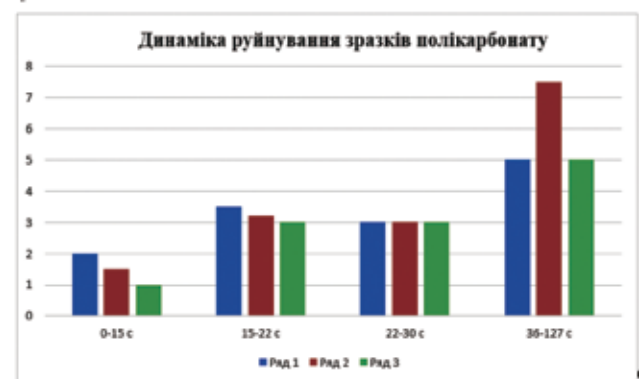


Рис. 1. Калібрувальна шкала руйнування полікарбонату під термічним впливом

[побудовано автором]

Науково-практичні результати досліджень. Методологічний підхід узагальнено у вигляді моделі експертизи відходів руйнації (рис. 2) та організаційних заходів щодо їх рециклінгу (табл. 3). Модель розглядає процес рециклінгу як складну технічну систему з аналізом пошкоджень матеріалів на мікрорівні та реалізацією у вигляді розробки технологічних заходів. Для цього сформульовано ідентифікаційні ознаки деградації структури металевих, скляних, полімерних матеріалів у певних умовах невизначеності.

Розроблена програма заходів (табл. 4) щодо рециклінгу відходів руйнації – це система взаємозв'язаних проєктів та завдань, які разом з моделлю експертизи руйнації являють собою

Аналітичні ефекти якісних пошкоджень зразків-свідків
[складено автором]

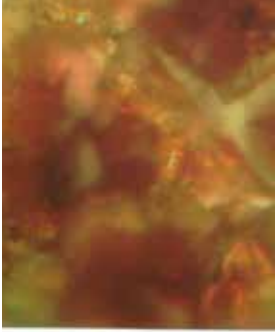
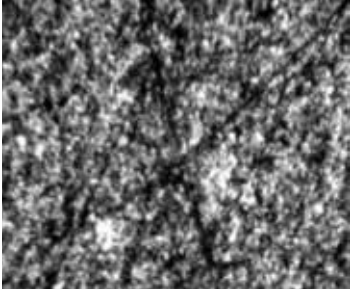

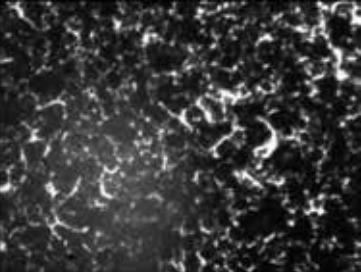
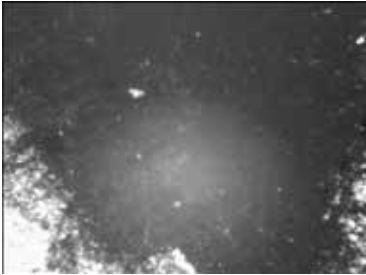


Результати та висновки досліджень		
Автомобільні сплави		
* марку сплаву встановлено за літературними джерелами та інформацією щодо марки автомобілю, країни виробника		
<p>TRIP-сталь (після занурення) Зразок (збільшення $\times 370$) вирізано з кузова підірваної машини</p>  <p>Піттингова корозія з розміром виразок до 10 мм</p>	<p>ВН-сталь (після нагрівання) Зразок (збільшення $\times 250$) вирізано з кузова затопленої машини</p>  <p>Розвиток тріщин у місцях пошкодження лакофарбового покриття</p>	<p>AlSi1MgMn (після пожежі та затоплення) Зразок (збільшення $\times 180$) вирізано з кузова затопленої машини</p>  <p>Наявність захисної плівки гальмує вихід продуктів корозії</p>
<i>Висновок:</i> можлива переробка на порошок для використання у господарських цілях та будівництві	<i>Висновок:</i> можливо використання для виготовлення елементів конструкцій	<i>Висновок:</i> можливо використання у ремонтних технологіях, зокрема у судноремонті
Листове віконне скло (флоат-скло)		
<p>Зразок (збільшення $\times 150$) вирізано зі зруйнованої вітрини, зазнав повторного нагрівання відкритим вогнем</p>  <p>Спостерігається розшарування структурної цілісності</p>	<p>Зразок (збільшення $\times 70$) вирізано зі скла затопленого авто</p>  <p>Не має порушень структури</p>	<p><i>Висновок:</i> рекомендується переробка на бій скла з додаванням у дорожнє будівництво та використання для виготовлення теплоізоляційних блоків піноскла</p>
Полімерний шифер (полікарбонат)		
<p>Зразок (збільшення $\times 70$) вирізано із затопленої огорожі</p>  <p>Спостерігається розбухання</p>	<p>Зразок (збільшення $\times 270$) вирізано з даху будинку після влучення</p>  <p>Спостерігається поява білих ділянок та початок деструкції</p>	<p><i>Висновок:</i> можна рекомендувати для подрібнення з наступним використанням в технологіях виготовлення будівельних матеріалів</p>



Рис. 2. Модель задачі експертизи відходів руйнації
[складено автором]

Таблиця 3

Програма заходів щодо рециклінгу відходів руйнації
[складено автором]

Заходи	Характеристика заходів
Створення пересувних хімічних лабораторій	Можливість виїзду у місця руйнування, забір проб, мобільність прийняття рішень щодо поводження з відходами руйнації та пошкоджених матеріалів
Організація сумісних дій роботи з Державною службою надзвичайних ситуацій	Впровадження систем інформаційної взаємодії між ДСНС та службами комунальних підприємств, диспетчерами, техніками та експертами
Розробка та впровадження нових засобів інформаційної підтримки	Розробка, впровадження та адаптація нових інформаційних систем та створення баз даних з каталогом та результатами досліджень, розширення джерел інформації
Взаємодія з підприємствами Херсонської і Миколаївської областей	Розробка та впровадження нових логістичних рішень з транспортування та промислової переробки на корисну продукцію
Розвиток технологічного потенціалу існуючих підприємств Херсонської і Миколаївської областей	Відновлення виробництв будівельних матеріалів, ремонтних підприємств з впровадженням нових технологій, відновлення річкових перевезень
Економічний ефект	Створення альтернативного резерву сировинного ресурсу Науково-технічне підґрунтя для розробки стартапів
Соціальний ефект	Утилізація відходів, які утворено внаслідок в руйнувань

науково-методичне підґрунтя для створення стартапів з впровадження беззалишкових технологій.

Перспективи подальших досліджень полягати-муть у розробці професійної інформаційної підтримки з експертизи відходів руйнації.

Висновки. Сучасна практика менеджменту відходів в умовах воєнних дій ґрунтується на моделях циркулярної економіки, де оновлення ресурсного потенціалу відбувається через переробку сировини з повторним використанням у виробництві. Аналіз ситуації показав неспроможність використання теоретично-методичних засад довоєнного періоду та необхідність пошуку нових технологічних рішень, які враховують особливості хімічного складу, структури, зносу матеріалів.

Розроблено нову методику постановки експертного експерименту з експертизи відходів

руйнації, алгоритм якої містить виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальні дослідження та аналітичний опис їх макро- і мікроструктури; формулювання головних ідентифікаційних ознак деградації структури у порівнянні з еталонними зразками; експериментальні випробування на зразках-свідках з визначенням кількісного і якісного характеру пошкодження; складання калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки.

Наукові результати сформульовані у вигляді моделі задачі експертизи відходів руйнації з розробкою організаційних заходів щодо їх рециклінгу, що являє собою підґрунтя для створення стартапів з впровадження беззалишкових технологій. Реалізація програми планується на підприємствах Херсонської і Миколаївської областей.

Список літератури:

1. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf (дата звернення 22.07.2023)
2. Марченко В. М., Гречко В. В., Корогодова О. О. Циркулярний підхід до управління військовими відходами. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конф. «Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи»*. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. 292 с.
3. Фісуненко П. А., Герасимова О. Л. Напрями зменшення ризиків воєнного екоциду за допомогою рециклінгу будівельних відходів в девелопменті нерухомості. *Економіка і суспільство*. 2022. 45. URL: <https://economyandsociety.in.ua> (дата звернення 22.07.2023).
4. Токарчук Д. М. Особливості утворення і поводження з відходами під час воєнних дій: досвід України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. 2. С. 109–122.
5. Ляшенко Р. В. Основні підходи до управління в бізнесі. *Молодий вчений*. 2018. 12 (64). С. 296–301.
6. Гнатуш В. А., Дорошенко В. С. Сучасне застосування металевих сплавів для автомобілебудування. *Met. Lit'e Ukr*. 2019. Vol. 27 № 10–12 (317–319), Pp. 74–81.
7. Пашкова О. М., Нардід Л. В., Руднева К. Є., Зарубіна М. В. Характеристика сучасних полімерних матеріалів та їх застосування в автомобілебудуванні. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики: збірник наук. праць*. Харків: Право, 2020. Вип. 21. С. 388–410.
8. Щодо використання полікарбонату або іншого полімерного матеріалу як легкоскладної конструкції у вибухонебезпечних виробничих приміщеннях / О. Ф. Нікулін, Д. О. Добряк, О. М. Крикун, Н. В. Кравченко, О. В. Савченко, Ю. В. Луценко. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2021. Т. 32 (71). 4. С. 275–282.
9. Бардаш М. С., Подольна В. В., Писанець К. К. Аналіз використання енергозберігаючих віконних систем на українському ринку скла. Електронний журнал «Ефективна економіка». 2015. 12. URL: http://economy.nauka.com.ua/pdf/12_2015/49.pdf (дата звернення 26.07.2023).
10. Шабетя О. А. Міцність скла, модифікованого методами на основі іонного обміну і травлення. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2019. 1. С. 109–114.
11. Поліщук В. А. Особливості експертного експерименту під час проведення судових комп'ютерно-технічних експертиз. *Криміналістичний вісник*. 2018. 2 (30). С. 116–121.
12. Миндюк В. Д., Карпаш М. О., Доценко Є. Р. Досвід та проблеми оцінки деградування структури та механічних властивостей сталей трубопровідного сортаменту. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2012. 2 (32). С. 222–227.
13. Доманцевич Н. І., Яцишин Б. П. Теоретичні аспекти процесів старіння полімерних матеріалів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2022. 30. С. 5–13. URL: <http://journals-lute.lviv.ua> (дата звернення 26.07.2023).
14. Казмиренко Ю. О., Дрозд О. В., Жарський Є. І. Технологічні особливості і фізико-хімічні процеси переробки кристалевих стекел на порошок. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Т. 31 (70). 4. С. 180–185.

15. Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2022. 29. С. 13–20. URL: <http://journals-lute.lviv.ua> (дата звернення 26.07.2023).

Drozd O.V. EXAMINATION OF DESTRUCTION OF WASTE BY MEANS OF STRUCTURAL DEGRADATION SIGNS OF MATERIALS AND PROSPECTS FOR RECYCLING

The research significance is determined by the need to dispose of the destruction waste due to armed aggression. The modern practice of waste management in the conditions of hostilities is based on circular economy models, where the renewal of resource potential occurs through raw material processing and reuse in production. The analysis of the situation showed the impossibility of using the theoretical and methodological principles of the pre-war period and the need to find new technological solutions that consider the peculiarities of the chemical composition, structure, and wear of materials.

The paper aims to develop a methodological approach to the examination of destruction waste, which is based on the criteria of structural degradation of materials and is underlying the development of organizational measures for their recycling. A situational approach with the expert experiment methodology was used when setting up the research. The technique with an implementation algorithm has been developed, containing the selection of reference samples and witness samples from the entire variety of materials; experimental studies and analytical description of their macro- and microstructure; formulation of the principal identification signs of structure degradation in comparison with reference samples; trial tests on witness samples to determine the quantitative and qualitative nature of the damage; compilation of a calibration scale for each type of material specimen from the sampling. The methodology was tested on witness samples of automotive steel, sheet window glass, and polymer slate, which were heated in an oxidizing environment and immersed in water. The proposed expert experiment method, unlike existing ones, will make it possible to determine the degree of material destruction based only on structural features and to conclude the expediency of its further processing into raw materials or other products. The scientific results are formulated as the model of the destruction waste recycling task with the organizational measures development, which is the basis for the implementation of no-residue technologies startups.

Key words: *scrap metal, cullet, polycarbonate, recycling, situational analysis, expert experiment.*