

**ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ У ЯКОСТІ СИРОВИНИ  
ДЛЯ ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ПРОЦЕСІВ**

**Вступ.** Для України критичний стан економіки й виробничої сфери, зв'язаний, насамперед з високими цінами на енергоносії усіх видів. Одним з якісних джерел дешевого енергетичного ресурсу можуть бути полімерні відходи різного виду.

Енерго- і ресурсозберігаючі процеси утилізації полімерних відходів виконують кілька необхідних функцій: 1) економія сировини у вигляді газу або нафти, які є одночасно енергоносіями й енергетичними ресурсами для виробництва первинних полімерів; 2) полімерні відходи, які не підлягають утилізації за пунктом 1 підлягають, наприклад, шляхом високотемпературної газифікації в складові енергетичних ресурсів; 3) створення комплексних підприємств на працюючих виробництвах хімічної промисловості з метою сполучення всіх вищевказаних можливостей. Ресурсозбереження в цьому випадку можна представити у вигляді складових утилізації твердих побутових відходів (ТПВ):

- 1) ресурсовміст, ресурсоемність, ресурсоекономічність і можливість утилізації – з однієї сторони;
- 2) збереження первинних ресурсів, тобто їхня економія, з другої сторони.

Енергозбереження в наш час один із пріоритетів політики будь-якого підприємства або компанії, що працюють у різних сферах виробництва. І це обумовлене не тільки постійним зростанням цін на енергоносії, а також, тим, що питомі енерговитрати на виробництво основних видів продукції в Україні значно вищі, ніж у західноєвропейських країнах. Ефективність енергозбереження може бути представлена в цьому випадку у вигляді енергозберігаючих технологій виробництва продукції з раціональним використанням енергії, які дають можливість одночасно зменшити навантаження на навколишнє середовище й суттєво знизити кількість відходів, одержуваних при виробництві сировини й виробів або експлуатації різного виду полімерної продукції.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Використання полімерних відходів потребує науково-обґрунтованого підходу до аналізу їх властивостей. На зміну деформаційних властивостей полімерних матеріалів у процесі експлуатації впливають різні фактори, наприклад, вид, умови й тривалість строку використання виробу. Для порівняльного аналізу й прогнозування зазначених властивостей необхідна розробка плану досліджень на основі науково-обґрунтованого аналітичного опису цих впливів. Слід зазначити, що вивчення фізико-механічних властивостей полімерних відходів, які проявляються в умовах експлуатації, набагато складніше, ніж вимір цих характеристик, для властивостей первинних полімерів. Завдання значно ускладняється, коли в зазначених матеріалах окрім фізико-механічних і реологічних характеристик, проявляються також і фізико-хімічні властивості. Особливу цінність має розв'язок такого завдання для полімерних відходів, коли крім зіставлення їх фізико-механічних властивостей, доводиться також урахувувати умови експлуатації полімерних виробів. Без визначення таких процесів як повзучість і релаксація зазначене завдання розв'язати неможливо.

При цьому слід відзначити, що під повзучістю розуміють деформацію, що розвивається в часі при постійній нарузі. Повна деформація включає пружну, високоеластичну і деформацію в'язкої течії. Пружна деформація розвивається дуже швидко, високоеластична – розвивається в часі зі спадною швидкістю і прагне досягнення рівноважного значення. Деформація в'язкої течії спостерігається головним чином в полімерах лінійної структури.

В умовах релаксації макромолекули прагнуть перейти в рівноважний стан шляхом перетворення витягнутої конформації в згорнуту, а при повзучості, – навпаки, згорнутої в випрямлену, причому це відбувається з деяким часом запізнювання. Отже, і релаксація напружень і повзучість для полімерних матеріалів визначаються їх структурою (лінійна, сітчаста), довжиною, орієнтацією і конформацією макромолекул.

Таким чином, у комплексне дослідження й аналіз енерго- і ресурсозберігаючих процесів переробки полімерних відходів різного походження необхідно включати окрім фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик, дослідження з повзучості та релаксації.

**Формулювання цілей статті.** Різноманітність полімерних матеріалів і великий обсяг накопиченого експерименту доводять необхідність, як розробки нових методів дослідження їх деформаційних властивостей, так і створення на їхній основі методик контролю якості полімерних відходів. Поява полімерних

відходів з різними в'язкопружними властивостями обґрунтовує пошук нових моделей прогнозування зазначених властивостей і застосування їх з метою вибору способу утилізації. Створення нових методів дослідження експлуатаційних властивостей полімерних відходів сприяє найбільш достовірному прогнозуванню деформаційних процесів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Актуальність питань більш ретельного аналізу деформаційних властивостей полімерних матеріалів в областях неруйнуючих навантажень неодноразово відзначалася в розроблювальних матеріалах конференцій і публікацій. Результатом загальноновизнаної значимості досліджень у цьому напрямку з'явилося виникнення в останні роки ряду деяких рекомендацій, що містять окремі питання фізико-механічні, фізико-хімічні й інші характеристики первинних полімерів, але вони можуть мати пряме відношення до поглибленого дослідження властивостей полімерних відходів.

Невід'ємною частиною ТПВ є полімерні відходи різного походження, кількість яких зростає рік у рік, і ці тенденції будуть підсилюватися. Але найголовніше – проблема утилізації полімерних відходів різного походження, виявилася без якоїсь керівної науково-обґрунтованої ідеї [1–4]. Розробка такої ідеї з погляду технологічних енерго- і ресурсозберігаючих процесів дозволила б переосмислити роль полімерних відходів в організації ринку полімерної сировини й виробити комплексні підходи до умов перехідного періоду ринкових відносин, обраним у якості пріоритетної складової фінальних цілей економіки успішної держави [2, 3].

Відповідно до постановки завдання досліджень пропонується новий підхід до організації енерго- і ресурсозберігаючих процесів переробки полімерних відходів з обліком отриманих нами теоретичних і практичних результатів. Ці розробки проведені з урахуванням необхідності впровадження інноваційних методів навчання у вищих навчальних закладах, тому що все частіше сучасні інженери-технологи повинні знаходити відповіді в нетрадиційних проектах, розв'язок яких вимагає спеціальних підходів і способів оцінки комплексних властивостей об'єкта [5].

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтування отриманих наукових результатів.** Алгоритм виконання завдання для розв'язку питань ідентифікації й математичного моделювання завдань комплексного проекту досить складний, його розв'язок вимагає спеціальної професійної підготовки в цілому з урахуванням останніх досягнень в інноваційному напрямку проекту (рис. 1).

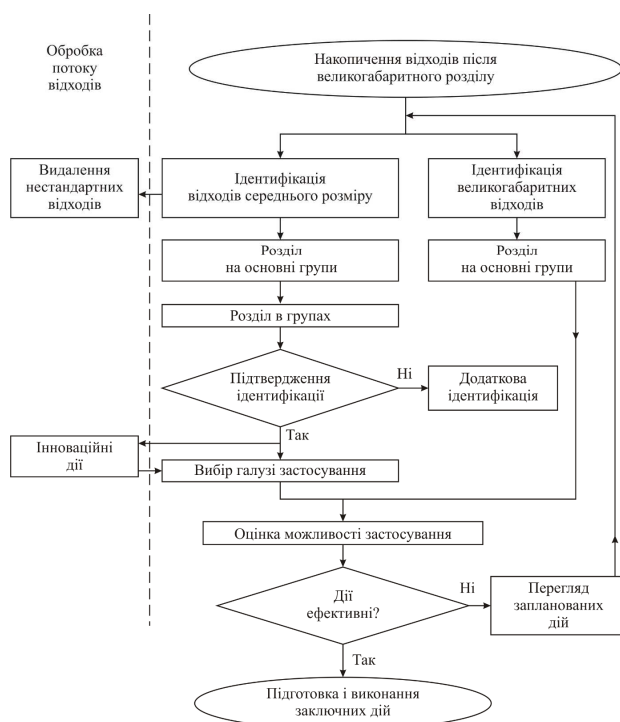


Рисунок 1 – Алгоритм процесів ідентифікації полімерних відходів

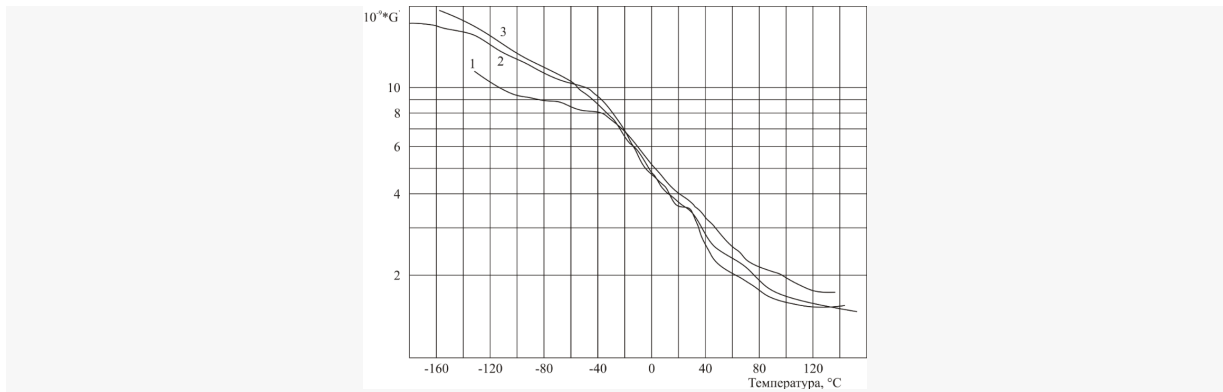
Складність аналізу ситуації з утилізації полімерних відходів зв'язана, насамперед, з різноманітням видів полімерних матеріалів внаслідок потреб ринку, неоднорідністю й нестабільністю складу полімерних відходів, що визначають множинність залежних факторів для їхньої повторної переробки й експлуатації.

Процеси експлуатації поліетиленової плівки багато авторів пов'язують із зміною структури і властивостей, зокрема з появою і зростанням кількості геліфракції – нерозчинної в ксилолі частини поліетилену. Нами були досліджено вплив вмісту геліфракції, що утворилася в процес експлуатації поліетиленової плівки на структуру і властивості вторинного поліетилену, отриманого з неї (табл. 1).

Таблиця 1 – Деякі властивості вторинного поліетилену

№ п/п	Кількість геліфракції, %	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Кристалічність, %
1	17	0,872	10
2	34	0,905	31
3	42	0,887	20

Другою, не менш важливою метою, був пошук критерію оцінки якості, можливого критерію зміни властивостей при експлуатації поліетиленової плівки і вибору способу її утилізації чи переробки.



Отримані залежності (рис. 2) для вторинного поліетилену з різних зразків поліетиленової плівки, кількістю геліфракції складає, %: 1 – 17; 2 – 34; 3 – 42 дозволяють зробити висновки:

- 1) виявлена залежність  $G' = f(T)$  від вмісту геліфракції в температурних областях нижче і вище області механічного склування з характерною температурою інверсії цієї залежності для даної області;
- 2) таку поведінку величини  $G' = f(T)$  зазвичай зв'язують з лінійними кристалічними полімерами – із збільшенням ступеня їх кристалічності (табл.), якщо їх структура відповідає моделі Хоземана-Бонара;
- 3) слід зазначити, що для моделі Хоземана-Бонара із збільшенням  $\chi$  спостерігається зменшення  $G'$  при температурах  $T < T_g$  і зростання  $G'$  – при  $T > T_g$ , подібна залежність для наших досліджень із зростанням вмісту геліфракції.

Аналіз отриманої залежності дозволяє припустити, що, в разі зміни густоти просторової макроскопічної сітки, слід очікувати зворотної залежності для  $G'$  з ростом кількості геліфракції. Таким чином можна говорити про те, що геліфракція не є регулярною структурою – макроскопічною сіткою по всьому об'єму полімерного матеріалу, а спостережувана закономірність обумовлена зміною структури аморфних областей полімеру, тому що оцінка зміни цих зразків не виявляє залежності від вмісту геліфракції (табл. 2), але знаходяться у відповідності з якісними змінами обсягу аморфних областей.

Аналіз кривих температурного ходу коефіцієнта теплового розширення  $\alpha_T$  (рис. 3) підтверджує наші припущення:

- 1) при температурах  $T < T_g$  для зразка 1 характерна наявність більш рихлої молекулярної упаковки аморфної фази і, отже, можлива найбільша ефективність міжмолекулярної і внутримолекулярної взаємодії;
- 2) для зразка 3 з найбільшою кількістю геліфракції слід зазначити зворотні тенденції;

3) аналогічні обставини зумовлюють найменшу величину механічних втрат в цій системі і зрушення деяких релаксаційних процесів в бік більш високих температур.

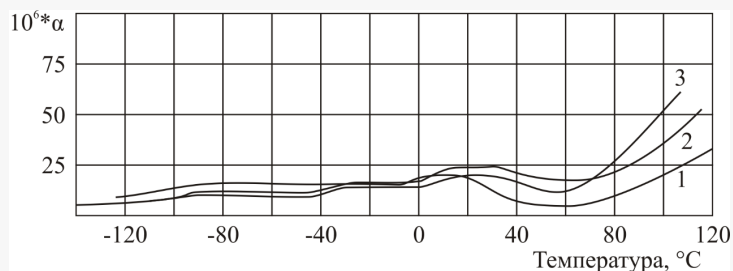


Рисунок 3 – Залежності  $\alpha_T = f(T)$  для вторинного поліетилену з різною кількістю геліфракції, %:  
1 – 17; 2 – 34; 3 – 42

При температурах  $T > T_g$  хід залежності  $\alpha_T = f(T)$  відображає в основному зміну вільного об'єму досліджуваних систем: найбільш щільноупакована система була найбільш термодинамічно нерівноважною – для неї характерна і найбільш різка зміна вільного об'єму при температурних переходах вище температури склування  $T_g$ . При побудові фізико-хімічних і фізико-механічних моделей ми розробили представлення про механізм реальних процесів експлуатації полімерних матеріалів [6–8]. Методологічні принципи утворення таких моделей в основі мають визнання того факту, що різні хіміко-технологічні процеси базуються на однакових законах фізики й хімії, наприклад, на вивченні процесів гідродинаміки, масо- і теплопередачі, хімічної кінетики, процесів фазових переходів і ін.

**Висновки.** Таким чином, можна виділити основні специфічні характеристики енерго- і ресурсозберігаючих процесів у технології утилізації полімерних відходів для оптимально організованого комплексного інноваційного проекту: високий ступінь компетентності в утилізаційних процесах ТПВ ще на первісних стадіях виготовлення виробів і, як правило, достатній практичний і теоретичний досвід з питань розв'язку нестандартних розв'язків використання полімерних відходів.

Необхідно відзначити, що система утилізації полімерних відходів і вибір промислових об'єктів для реалізації цих процесів є найважливішим важелем соціальної політики в руках регіональних органів влади, які формують якість життя населення й зобов'язано займатися екологічними питаннями в тому або іншому регіоні.

І все ж має першорядне наукове і практичне значення задача встановлення зв'язку між хімічним складом, будовою, структурою і макроскопічними властивостями полімерних матеріалів все ще недостатньо вивчена і далека від повного вирішення. Зокрема, слабо вивченим залишається питання встановлення фізичної природи всього комплексу макроскопічних властивостей і, перш за все релаксаційних, в полімерах, для яких характерна значна неоднорідність ступеня молекулярного впорядкування в їх аморфній (некристалічній) частини.

#### Література

1. Бухкало С.И., Гардер С.Е., Химич О.Ю. Применение математического моделирования для комплексных предприятий по переработке отходов // Вісник НТУ «ХП». 2012. № 10. С. 73–78.
2. Бухкало С.И., Сериков А.В., Ольховская О.И. Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов // Вісник НТУ «ХП». 2012. № 10. С. 160–166.
3. Бухкало С.И. Изменение свойств в процессе эксплуатации пленки и направленная модификация вторичного полиэтилена ; дис. ... канд. техн. наук. М., 1988.
4. Богданов В.В., Торнер Р.В. Красовский В.Н., Рeger Э.И. Смешение полимеров. Л.: Химия, 1979. – 192 с.
5. Юшкова Е.В., Шанина Е.В. Деятельностная модель обучения: формирование позиций «инженер-исследователь», «инженер-проектировщик» // Пищевая промышленность. 2011. № 12. С. 10.
6. Boyer R.F. Dependence of mechanical properties on molecular motion in polymers. Polymer Eng. Sci. 1968. Vol. 8. № 3. P. 161–185.

7. Бартнев Г.М., Зелнев Ю.В. Физика и механика полимеров. М.: Высшая школа, 1983. – 392 с.
8. Переходы и релаксационные явления в полимерах / Составитель Р.Ф. Бойер // Под ред. А.Я. Малкина. М.: Мир. 1968. – 384 с.

Bibliography (translated)

1. Buhkalo S.I., Garder S.E., Himich O.Ju. Primenenie matematicheskogo modelirovanija dlja kompleksnyh predpriyatij po pererabotke othodov. Visnik NTU «HPI». 2012. # 10. P. 73–78.
2. Buhkalo S.I., Serikov A.V., Ol'hovskaja O.I. Ob utilizacii polimernyh othodov kak komplekse innovacionnyh proektov. Visnik NTU «HPI». 2012. # 10. P. 160–166.
3. Buhkalo S.I. Izmenenie svojstv v processe jekspluatacii plenki i napravlenaja modifikacija vtorichnogo polijetilena ; dis. ... kand. tehn. nauk. M., 1988.
4. Bogdanov V.V., Torner R.V. Krasovskij V.N., Reger Je.I. Smeshenie polimerov. L.: Himija, 1979.– 192 p.
5. Jushkova E.V., Shanina E.V. Dejatel'nostnaja model' obuchenija: formirovanie pozicij «inzhenersissledovatel'», «inzheners-proektirovshhik». Pishhevaja promyshlennost'. 2011. # 12. P. 10.
6. Boyer R.F. Dependence of mechanical properties on molecular motion in polymers. Polymer Eng. Sci. 1968. Vol. 8. # 3. P. 161–185.
7. Bartenev G.M., Zelenev Ju.V. Fizika i mehanika polimerov. M.: Vysshaja shkola, 1983. – 392 p.
8. Perehody i relaksacionnye javlenija v polimerah. Sostavitel' R.F. Bojer. Pod. red. A.Ja. Malkina. M.: Mir. 1968. – 384p.

УДК 678:628.54

Бухкало С.И.

**НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ  
ДЛЯ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ**

Утилизация и переработка полимерных отходов в статье представлена как комплексное исследование и анализ энерго- и ресурсосберегающих процессов переработки полимерных отходов различного происхождения. Исследования направлены на изучение таких вопросов как: организация сбора и транспортировки отходов, их идентификация по маркировке в соответствии с общепринятой классификацией полимеров; выбор научно-обоснованных методов переработки подлежащих утилизации полимеров; установление связи между изменением химического состава, строения, структуры и свойств полимерных материалов (в частности, полиэтилена) и режимно-временными сроками эксплуатации.

Bukhkalov S.I.

**SOME PROPERTIES OF POLYMER WASTE AS RAW MATERIAL  
FOR ENERGY AND RESOURCE SAVING PROCESSES**

The problem of wastes utilization and recycling is present as complex research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin. The investigation are focused in researching such problems as organization of waste collection, transportation and identification of wastes according to adapted polymers classification; selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice of modifications additives and equipment for polymers waste recycling. The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization.