

*С. І. БУХКАЛО***ВИБІР СИНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗРОБКИ КОМПЛЕКСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ І ПАКУВАННЯ ПІСЛЯ ЗАВЕРШЕННЯ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

В статті наведені можливості вирішення деяких проблем у межах вибору моделей та наукового обґрунтування розробки технології комплексної утилізації полімерної тари і пакування після завершення термінів їх експлуатації з метою підвищення ефективності використання твердих побутових відходів та відходів різних галузей промисловості на комплексному підприємстві, яке може забезпечувати усі свої енергетичні потреби самостійно. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як: 1) класифікація-ідентифікація моделей організації збирання і транспортування відходів; 2) їх класифікація-ідентифікація за методами контролю якості з урахуванням стійкості до дії природних факторів – сонячного світла, води; кліматичних умов та мікроорганізмів; 3) аналіз вибору науково-обґрунтованих моделей переробки та утилізації полімерів як частки твердих побутових відходів; 4) розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки відходів; 5) вибір підприємств для утилізації полімерів і виду енергетичних ресурсів для реалізації цих проектних та технологічних рішень.

Ключові слова: комплексна синергетична утилізація, полімерна тара та пакування, науково-обґрунтовані моделі.

*S. I. BUKHALO***CHOICE OF SYNERGETIC MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF COMPLEX DISPOSAL OF POLYMER CONTAINERS AND PACKAGING AFTER THE END OF THEIR USAGE**

The article presents the possibilities of solving some problems within the framework of the choice of models and the scientific justification for the development of a technology for the complex utilization of polymer containers and packaging after the end of their service life in order to increase the efficiency of the use of solid household waste and waste from various industries at a complex enterprise that can provide all its energy needs independently. Research is aimed at studying such issues as: 1) classification-identification of models of the organization of waste collection and transportation; 2) their classification-identification according to quality control methods, taking into account resistance to the action of natural factors - sunlight, water; climatic conditions and microorganisms; 3) analysis of the choice of scientifically based models of processing and utilization of polymers as part of solid household waste; 4) development of necessary technological schemes and equipment for waste processing; 5) the choice of enterprises for the utilization of polymers and the type of energy resources for the implementation of these design and technological solutions.

Keywords: complex synergistic utilization, polymer containers and packaging, scientifically based models.

Вступ. Основним джерелом багатотоннажного забруднення довкілля є виробі з коротким терміном експлуатації до яких починаючи з 80-х років ХХ століття світова спільнота наукових дослідників справедливо відносить полімерну тару та пакування. При цьому виникає нова відповідальність, наприклад, стосовно прийняття правильних не тільки технічних, технологічних, конструкційних, а також комплексних стратегічних і тактичних рішень [1–3]. Більшість авторів за означеною темою надають класифікацію-ідентифікацію моделей утилізації полімерної тари і пакування у означених далі прикладах: спалювання з метою одержання енергії; термічне розкладання – піроліз, деструкція, або до вихідних мономерів та ін; різновиди повторного використання; вторинна переробка у виробі.

Треба визначити, що спалювання відходів у сміттєспалювальних печах не є рентабельним та екологічно безпечним способом утилізації, оскільки передбачає безповоротну втрату цінної хімічної сировини (при цьому слід пам'ятати, що Україна імпортує полімерну сировину, тобто, практично немає своїх виробничих потужностей), утворення токсичних відходів та димових газів та ін..

Найбільш переважними способами утилізації вторинної полімерної сировини, за думкою автора, з економічної та екологічної точок зору надається

повторне використання та вторинна переробка в нові види матеріалів та виробів [2]. Значне місце у утилізації вторинної полімерної сировини приділяється термічного розкладання – піролізу [3–8]. При нижчих температурах (до 600°C) утворюються в здебільшого рідкі продукти, а вище 600°C – газоподібні, до технічного вуглецю. Незважаючи на ряд недоліків, піроліз, на відміну від процесів спалювання, дає можливість отримання промислових продуктів, що використовуються для подальшої переробки. Ще одним способом термічної трансформації вторинного полімерної сировини є каталітичний термоліз [9], який передбачає застосування нижчих температур. Автором визначені приклади методів модифікації властивостей вторинних полімерних матеріалів: хімічні (зшивання пероксидами, наприклад, пероксидом дикумілу, малеїновим ангідридом, кремнійорганічними рідинами та ін); фізико-хімічні (введення різних добавок органічної природи, наприклад, технічних лігнінів, сажі, термоеластопластів, восків та ін.) створення композиційних матеріалів; фізичні (введення неорганічних наповнювачів: крейди, оксидів, графіту та ін.); технологічні (варіювання режимів переробки та введення в технологічну схему переробки додаткових пристроїв) [10–17].

© Бухкало С.І., 2023

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Поліолефіни, як багатотоннажний вид термопластів знаходять широке застосування у виробництві різновидах пакування і тари. У результаті процесів деструкції поліолефінів, зазвичай, після завершення терміну їх експлуатації, наприклад, досліджено зменшення молекулярної маси та визначена зміна реологічних властивостей, що і призводить до зміни деформаційних властивостей та показників міцності полімерних матеріалів. У зв'язку з цим останнім часом все більшої актуальності набувають дослідження синергетичних властивостей вторинної полімерної сировини.

Метою представлено у статті наукового дослідження є впровадження інноваційних моделей, методів, механізмів, технологій, обладнання, менеджменту, маркетингу й інформаційної технології розробки напрямків комплексної утилізації тари і пакування після завершення термінів їх експлуатації до світового наукового дослідження сучасних технологій поводження з полімерними відходами.

Об'єкт дослідження – процеси синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки твердих побутових відходів (ТПВ), управління проектами й програмами гармонізації дослідження у світовий процес комплексних технологій з утилізації ТПВ.

Предмет дослідження – фізико-хімічні, фізико-механічні, структурно-механічні та інші механізми наукового обґрунтування моделей та методів, а також забезпечення складовими управління комплексними технологіями, проектами та програмами.

Як відомо, Данія визначена однією з перших країн, що впровадили комплексну централізовану систему збору, транспортування, переробки й утилізації побутових та промислових відходів у масштабах усієї країни, підкреслюють відсутня дуже важлива, на мій погляд, попередня стадія класифікація-ідентифікація. Але, коли це стосується великої кількості промислових підприємств, вказана вище стадія обов'язково має місце. Кожне підприємство, де утворюються відходи, зобов'язане повідомляти місцеві органи влади про кількість і склад цих відходів, а також проводити заходи по вивозу чи знешкодженню методами, які відповідають рекомендаціям санітарних органів. Місцеві муніципалітети, при необхідності, забезпечують підприємства спеціальними транспортними засобами для доставки відходів у встановлені пункти збору, що знаходяться в їхньому підпорядкуванні. До підприємств – утворювачів відходів не пред'являється вимога проводити відповідну обробку і знешкодження відходів на місці їх утворення, оскільки це небезпечно з погляду попередження забруднення навколишнього середовища та невигідно економічно. На першому етапі утилізаційної діяльності в Данії було визначено проектну кількість відходів і їхню класифікацію-ідентифікацію по якісних ознаках. Це дозволило

визначити потужність проектного заводу, місця – тобто логістичні зв'язки проміжних пунктів збору, необхідну кількість і характер транспортних засобів. Ці відходи були розділені на 6 основних груп, тільки шоста група позначена як тверді відходи, тобто неприпустима суміш: пакувальні матеріали, пластмаси, побічні хімічні продукти та ін.

Система прийому промислових відходів Данії включає 23 централізованих пунктів збору відходів. Централізовані пункти збору розташовуються на відстані не більшою за 50 км від місць утворення відходів. Великі обсяги відходів транспортуються у вагонах, у цистернах чи в контейнерах (пастоподібні відходи, осад, пеки).

Доповненням до розвитку і підтримки класифікації-ідентифікації означає визначення такої мережі та оцінка комплексної привабливості, а також сприяння ефективній діяльності з метою досягнення поставлених завдань і цілей енерго- і ресурсозбереження. Контроль різновидів твердих побутових відходів деякі дослідники пропонують проводити за здатністю до щільного сумісного компактування (табл. 1).

Таблиця 1 – Щільність деяких складових ТПВ

Тип матеріалу ТПВ	Навалом, кг/м ³	В тюках, кг/м ³
Картон	30 – 60	360 – 650
ПЕТ -пляшки	18 – 24	120 – 300
Поліетилен	13 – 15	120 – 300
Алюмінієві банки	30 – 45	90 – 300
Консервні сталеві банки	90 – 105	300 – 600
Папір	300 – 360	600 – 715
Газети	210 – 300	450 – 600

Повторна переробка полімерів є досить складним механічно-хімічним процесом, в якому застосовують декілька видів обладнання, а саме агломераційне, подрібнювальне, екструзійне, грануляційне. В першу чергу полімер, що переробляється, очищають від відходів, домішок і сортують. Ця процедура виконується за допомогою агломераційного або сортувального обладнання для переробки полімерів. Потім матеріал подрібнюється за допомогою шредера (спеціальний подрібнювач), що дозволяє підготувати пластмасу до екструзії. Після подрібнення полімери та пластмаси приводять у рідкий стан і видавлюють у спеціальні форми, а після затвердіння ці форми гранулюються за допомогою відповідного обладнання. В результаті переробки виходять гранули або пластівці, саме у такому вигляді перероблений полімер придатний для вторинного використання.

До основних особливостей вторинного поліетилену низької щільності (ВПЕНЦ), які визначають специфіку його переробки, слід визначити: низьку насипну щільність; особливості реологічної поведінки розплаву, зумовлені високим вмістом кількості геліфракції; підвищену хімічну активність внаслідок змін структури, що відбуваються під час переробки та експлуатації

первинного полімеру та експлуатації отриманих із нього виробів. Наприклад, поліетилен у процесі експлуатації набуває нових властивостей (табл. 2). Це визначена нами кількість киснеутримуючих груп: 1 – складнофірні, 2 – карбоксильні, 3 – гідроксильні; 4 – кількість гел-фракції; δ_p – руйнівне напруження при розтяганні; ε – відносне подовження при розриві, які далі у процесах повторної переробки, наприклад поліетилену, надають неізотермічність його розплаву, але й нові синергетичні властивості для отримання

вторинних полімерних матеріалів. Аналіз ряду наших досліджень (табл. 3) показав, що адсорбція кисню відбувається в неупорядкованих областях поверхневого шару, а дифузія кисню відбувається також через неупорядковані області. Найбільш ефективним способом утилізації відходів є їх повторне використання – шість циклів виробництва (табл. 3: методи переробки 1/2 – вальцювання, пресування; 2/2 – здрібнення, лиття під тиском; 3/2 – здрібнення, грануляція, лиття під тиском).

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика зміни властивостей поліетиленової плівки у процесі експлуатації

Місце експлуатації	Час експлуатації, діб	Визначена кількість, %				ММх10 ³	δ_p , МПа	ε , %
		1	2	3	4			
Харків	60	1,53	0,31	0,19	35,3	43	9,6	221
	120	0,19	1,15	0,44	34,8	18	9,4	182
Сочі	60	2,10	0,72	0,91	29,4	18,4	9,4	130
	120	–	1,28	1,21	40,8	14,2	9,3	212
Олайн	60	1,10	0,57	0,30	28,5	26,6	9,7	134
	120	0,04	0,90	0,61	39,4	18,1	9,5	151
Лівні	60	1,20	0,20	0,28	22,8	22,4	9,8	340
	120	0,03	1,10	1,26	29,7	18,3	9,5	300

Таблиця 3 – Класифікація-ідентифікація усереднених деяких властивостей вторинного поліетилену ВПЕ – сировини для подальшої переробки після завершення терміну експлуатації

Порівняльні показники властивостей	Визначення методу переробки у вторинні полімерні матеріали		
Вміст гелфракції, (ГФ), %	1/2	2/2	3/2
Міцність при розриві, (δ_p), МПа	54,00	49,00	47,00
Відносне подовження при розриві, (ε), %	10,90	13,70	13,00
Показник текучості розплаву (ПТР), г/10 хв.	0,8	2,2	2,3

Таблиця 4 – Класифікація-ідентифікація усереднених результатів світлостаріння вторинного поліетилену після завершення терміну експлуатації

Термін експозиції під лампою ПРК-2, год	ГФ, %	ПТР, г/10 хв.	δ_p , МПа	ε , %
0	51,00	2,2	10,3	230,0
100	33,00	2,8	10,0	43,0
200	27,20	3,1	7,5	25,0
300	27,80	3,7	6,0	19,0
600	10,00	3,3	4,5	16,0

При дослідженні впливу часу світлостаріння на властивості ВПЕ (табл. 4) встановлено, що його властивості знижуються та майже не мають періоду індукції за деякими з визначених показників. Можна зробити висновок з урахуванням результатів комплексних досліджень про можливість додавання ВПЕ, отриманого з плівки сільськогосподарського призначення до первинної сировини до 20 %.

Викладання основного матеріалу досліджень. Екологічна та економічна доцільність багаторазового використання ТПВ у якості природних ресурсів шляхом залучення частини відходів виробництва і споживання в господарський оборот, наприклад, полімерної найбільш небезпечної частки в якості вторинної сировини доведена багаторічною практикою в багатьох країнах світу. Дефіцит ряду полімерних матеріальних ресурсів, вичерпання природних родовищ, забруднення відходами оточуючого середовища ставить перед населенням

України, в числі першочергових задач, питання утилізації і рекуперації відходів.

Напрямок розробки комплексних технологій підприємства з переробки полімерної частки ТПВ обирають за обраними напрямками синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ замкнутого циклу. Подальше використання отриманих матеріалів – сировини та енергоресурсів можливе за загальною функціональною схемою розвитку підприємства ресурсо- та енергозбереження з урахуванням загальної схеми інноваційного дослідження та особливостями обраного напрямку прикладів (рис. 1 та 2). Різновиди проведених досліджень доводять, що 80 % економії матеріальних ресурсів пов'язане із впровадженням ресурсозберігаючих технологій і тільки 20 % пов'язані з іншими заходами. Основою ресурсо- і енергозбереження з погляду охорони навколишнього середовища є створення нової ефективної технології,

маловідходної або безвідходної, котра дозволяє забруднення, а з системи виводяться тільки одержувати цільові продукти без теплового її продукти, що складають біосферу[10–17].



Рис. 1 – Загальна функціональна схема роботи у комплексному підприємстві

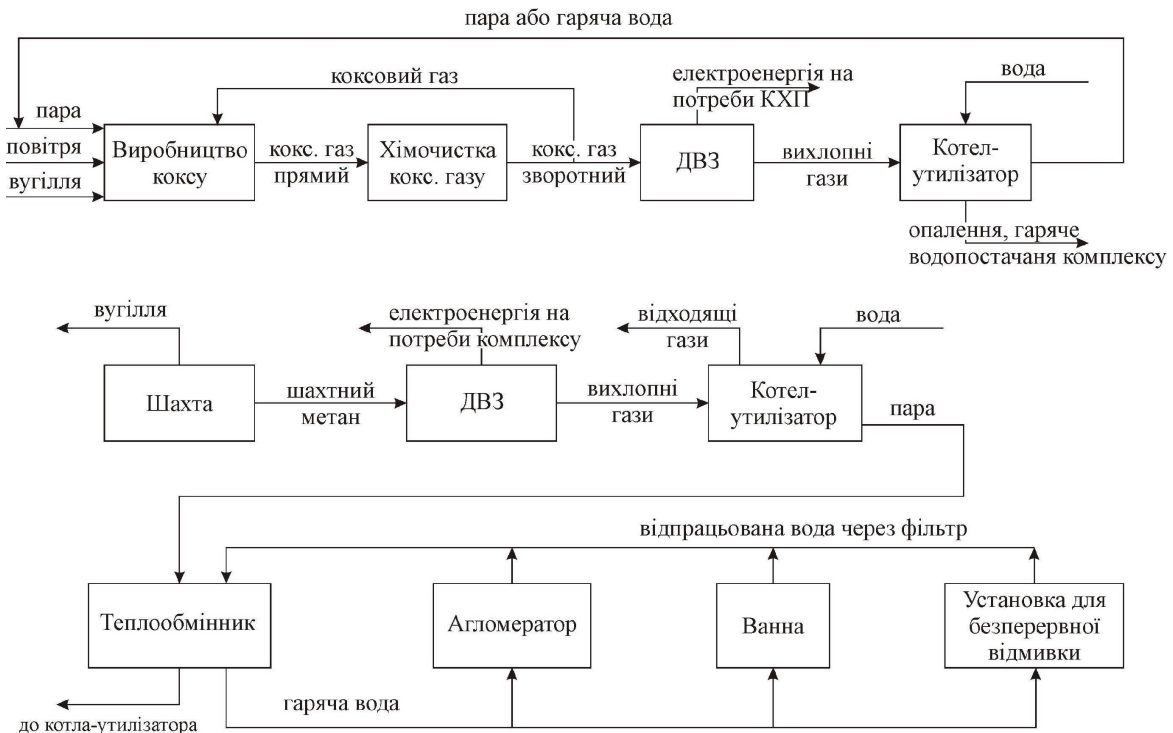


Рис. 2 – Приклади різновидів функціональних схем роботи енергоутилізаційного комплексу

При цьому, слід відзначити, що процеси утилізації передбачають повторне використання вторинних матеріальних ресурсів, що не знаходять прямого використання за призначенням, а у новій якості, яку отримують в результаті спеціальної обробки відходів вони набувають інноваційних властивостей. Утилізація найчастіше здійснюється на спеціалізованих підприємствах з метою використання отриманих продуктів за новим призначенням. Рекуперація зводиться до повернення в даний технологічний процес втраченої вихідної сировини, проміжних і кінцевих продуктів. У загальному розумінні рекуперація – повернення частини матеріалів або енергії для повторного використання у тому ж технологічному процесі. Прикладами рекуперації можуть бути переробка скляного бою і браку в скломасу, повернення у виробництво очищених від забруднення стічних вод тощо; а також, головне у даному випадку використання розроблених проєктів з урахуванням факторів якості проведення комплексних технологій, що далі відкриває додаткові можливості розширення інноваційного асортименту продукції та галузей їх використання.

У сучасній практиці широко використовується термін «рециклінг» – процес переробки відходів в матеріал, який можна використовувати повторно. В результаті цієї дії отримують продукцію, яку використовуємо вдруге – з макулатури туалетний папір, з пластика – інші пластикові вироби різновидів інноваційного асортименту, з битого скла нові вироби і т.і.

Таблиця 5 – Дані дериватографії поліетиленової плівки різної тривалості експлуатації (ТЕ).

ТЕ, діб	Тпл, °С	Тпл, °С до	Тст, °С	Тпл, °С	Тпл, °С
0	105	100	220		
30	106	90	220		
62	108	92	210		
97	105	93	210		

Температура початку плавлення, як видно з даних таблиці 4 при експлуатації поліетилену, дещо підвищується від 80 °С до 107 °С. Термостабільність плівки падає від 220 до 200 °С. Максимальна швидкість деструкції спостерігається у вузькому інтервалі температур від 466 °С до 476 °С. В інтервалі допустимих температур переробки до 230 °С втрати маси практично немає. Максимальна втрата маси становить 0,7 % або, враховуючи величину навішування 0,1 г – всього 0,007 г, тобто величина, що знаходиться в межах точності вимірювання. Максимальна швидкість втрати маси коливається також у дуже вузьких межах – від 2,1 до 2,7 °С на хвилину. За ТГ кривої дериватограми, у втраті маси можна розрізнити два періоди, що відрізняються кутами нахилу кривої втрати маси до горизонталі. Перший період відноситься до інтервалу температур 300 °С – 400 °С, тобто коли волога та оксидовані гази вже видалені, а процес деполімеризації ще не почався, і другий період від

Таким чином, до рециклінгу можна віднести усі види утилізації відходів з метою ресурсо- і енергозбереження, за виключенням захоронення та спалювання. Рециклінг вважається перспективною різновидів комплексних можливостей та особливостей для галузей промисловості сучасності або майбутнього, незважаючи на те, що його господарське застосування вимагає проведення широких інноваційних досліджень та значних інвестицій у організацію виробництва.

З метою виявлення змін будови поліетиленової плівки у період різновидів термінів експлуатації та вибору температурних інтервалів її переробки у вторинний поліетилен було проведено дериватографічні дослідження за показниками: температура плавлення – Тпл; інтервал плавлення – Тпл; термостабільність, як визначення граничних температур без втрати маси – Тст; температура максимальної швидкості деструкції – Тмаксдес; температура повної деструкції – Тповдес, після якої немає втрати маси; величина втрати маси в % до 230 °С (гранична температура переробки), в інтервалах: 230–400 °С та 400–500 °С – Gm; екстремальні точки на кривих ДТА та ДТГ, °С; ефективна енергія активації деструкції в інтервалах температур 300–400 °С – Eак (табл. 4).

Ці результати отримані шляхом усереднення даних трьох дериватограм, знятих для кожного зразка за єдиною, описаною вище методикою. Розкид експериментальних даних настільки малий, що усереднені дані мало відрізняються від одиничних дослідів.

450 °С до 490 °С відповідає інтервалу бурхливого процесу деполімеризації. Можна припустити, що перший період відповідає деструкції кисневмісних груп. Другий період відповідає розвитку процесу деполімеризації всієї маси розплаву полімеру. Природно, не можна припустити, що зберігаються впорядковані зони при температурі 300 °С і вище, може йтися лише про передісторію ланцюгів з різним вмістом кисневмісних груп.

Дослідження цих областей дає змогу визначити ефективну енергію активації деструкції. Значення енергії активації помітно відрізняються плівок з різною тривалістю експлуатації, як першого, так другого періодів. Так, ефективна енергія активації у першому періоді деструкції залежно від терміну експлуатації падає від 8,8 ккал/моль до 5,8 ккал/моль. Це природніше пояснити тим, що деструкція ланцюгів, що мають кисневмісні групи, відбувається з меншою енергією активації і при нижчій температурі, ніж розрив ковалентних С-С зв'язків.

Значні коливання енергії активації у другому періоді, можливо, пов'язані з супутніми реакціями рекомбінації, що відбуваються по-різному для систем з різними функціональними групами, а, як видно з таблиць 4.4 і 4.5, відмінності дійсно мають місце.

За останні двадцять років структура побутових відходів кардинально змінилася. Харчова органіка в значній мірі стала перебувати у змішаному стані, наприклад, з полістирольною, поліетиленовою та скляною тарою. Це стало причиною значного зниження щільності твердих побутових відходів. Утворення значних обсягів відходів з невисокою щільністю викликає необхідність ущільнення відходів, але знову без стадії попередньої класифікації-ідентифікації. З результатів аналітичного та виконаного нами експериментального дослідження стало відомо, що визначення зміни фізико-хімічних ($1 \rightleftharpoons 1'$), молекулярних (4), реологічних ($3 \rightleftharpoons 3'$) та фізико-механічних ($2 \rightleftharpoons 2'$) властивостей надають певні зв'язки з подальшою утилізацією полімерної тари та пакування за функціональною схемою (рис. 7).

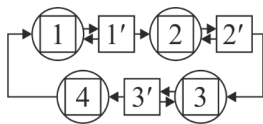


Рис. 7 – Визначення зміни властивостей тари та пакування при експлуатації

Потрібно зазначити, що поліетилен у процесі експлуатації набуває нових властивостей (табл. 1). Це визначена нами кількість киснеутримуючих груп: 1 – складноєфірні, 2 – карбоксильні, 3 – гідроксильні; 4 – кількість гель-фракції; δ_p – руйнівне напруження при розтяганні; ε – відносне подовження при розриві, які далі у процесах повторної переробки, наприклад поліетилену, надають неізотермічність його розплаву, але й нові синергетичні властивості для отримання вторинних полімерних матеріалів.

Аналіз ряду наших досліджень (табл. 1) показав, що адсорбція кисню відбувається в неупорядкованих областях поверхневого шару, а дифузія кисню відбувається також через неупорядковані області.

Теорія синергетичного механізму утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ представлена у проекті з умов виявленої нами спільної дії сукупності факторів для обраних науково-обґрунтованих моделей виробництва вторинних полімерних матеріалів. Для досягнення загальних цілей процесів утилізації-модифікації, використовували принципи, що ціле (вторинний полімер) представляє за властивостями щось більше, ніж сума його частин.

Синергетика у даному дослідженні представлена як інноваційний науковий напрямок технології полімерних матеріалів, який сприяє дослідженню зв'язків між елементами структури (підсистеми), що утворюються в відкритих системах,

завдяки інтенсивному (потоківому) обміну властивостями сировини, обраними речовини з синергетичними можливостями та механізмами взаємодії з навколишнім середовищем в нерівноважних умовах.

Автором представлено синергетичний підхід до екологічно чистої ефективною утилізації твердих полімерних відходів (рис. 3, 4): 1 – організація цільового збору, класифікація-ідентифікація; 2 – цільова класифікація-ідентифікація сортів. Облік хімічних процесів (табл. 2) у полімерах під час використання вихідного продукту та на етапі його переробки відходів 3: 6 – кінцевий виробничий цикл; 7 – багаторазовий виробничий цикл; непереробні полімерні відходи 4: 8 – види утилізації відходів; 9 – види безпечної утилізації відходів); полімерні відходи для виробництва енергії 5: 10 – високотемпературна газифікація, 11 – процеси високотемпературного каталізу.

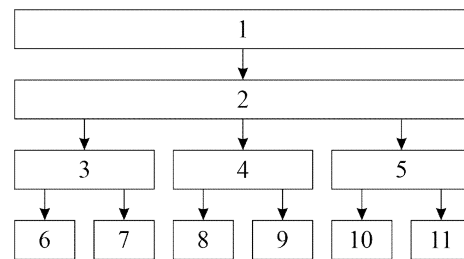


Рис. 3. Приклад синергетичної утилізації твердих полімерних відходів.

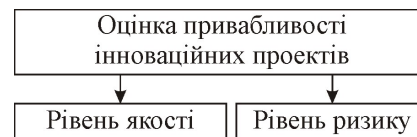


Рис. 4 – Загальна оцінка привабливості синергетичних проектів

Основні завдання в області ресурсо- і енергозбереження для різновидів технологічних процесів можна сформулювати в такий спосіб:

- Класифікація-ідентифікація та розробка синергетичних маловідходних або безвідходних технологій;
- визначення переліку й кількості кінцевих продуктів експлуатації полімерних відходів тари і пакування, які можуть бути засвоєні природними біологічними системами;
- створення підприємств комплексно-синергетичної переробки, які використовують фактично повністю відходи й викиди свого виробництва, а також виробництв інших галузей промисловості;
- створення малоенергоємних виробництв із мінімальним споживанням води;
- модернізація й удосконалювання теплообмінного встаткування в процесі проектування нових технологій;

• підвищення рівня регенерації тепла потоків і на цій основі широке використання енерготехнологічних схем і ін.

Для загальних підходів до створення безвідхідних виробництв можна сформулювати основні принципи:

• класифікація-ідентифікація та розробка синергетичних енерготехнологічних схем, що передбачають повну переробку сировини й побічних продуктів у корисні продукти – принцип раціонального використання всіх компонентів сировини й енергії, з використанням вторинних енергоресурсів на базі принципів рециркуляції й циклічності;

• принцип максимальної ізоляваності виробництва від навколишнього середовища – кількість відходів шкідливих речовин, що утворюються, у повітряному басейні, ґрунті й водоймах менше їхніх припустимих концентрацій відповіло до оновленої нормативно-технічної документації синергетичних виробництв;

• принцип комплексного використання багатокомпонентної сировини у безвідхідному виробництві, побічна продукція здобуває всі властивості цільової продукції, сировина використовується в повному обсязі й розширюється асортимент продукції, і ін.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

У результаті подовження роботи [14–27] за вищевказаними напрямками дослідження комплексних інноваційних синергетичних технологій студенти причасні до злomu звичних виробничих ланцюжків у переробці полімерної частки ТПВ, які обумовлюють наступний етап розвитку світової цивілізації. При оцінці економічної ефективності

безвідхідних або маловідходних виробничих комплексів необхідно враховувати ефект від утилізації й переробки відходів на всіх стадіях з урахуванням вартості аналогічної первинної сировини інакше експлуатаційні витрати можуть бути вище, ніж на підприємствах з існуючою технологією. Тобто оцінку витрат у цьому випадку проводять з урахуванням витрат на виробництво: товарної й супутньої продукції, а також товарної продукції, одержуваної з відходів.

При цьому варто враховувати економічний ефект: одержаний за рахунок використання скидного тепла, а також від одержання тепла й енергії з відходів. Підсумовуючи все вищевикладене, визначають ефективність безвідхідних або маловідходних виробничих комплексів, яка прагне досягти максимуму:

Досягнуті наступні конкретизовані результати за деякими питаннями з теми інноваційних досліджень:

1) основна мета представленої розробки – освоєння нових компетентнісних навчальних технологій з організації, виконання та упровадження комплексного міжвузівського інноваційного проектування для забезпечення активізації технічної творчості студентів на усіх напрямках навчання;

2) за результатами комплексного інноваційного проектування з метою розповсюдження інформації про інноваційні методи навчання готуються до друку у 2017–2022 навчальному році сімнадцять статей та тез на міжнародні конференції сумісно зі студентами;

3) учасниками проекту прийнято рішення про подовження цього етапу розробки ще на два семестри з метою розвинення теми за стандартами ЄС та розповсюдження ідей серед широкого кола населення України.

Список літератури

1. Бухкало С.І., Соловей В.М., Іглін С.П., Ольховська О.І. Складові розрахунку параметрів очищення стічних вод комплексних підприємств. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 202 с.
2. Бухкало С.І., Соловей В.М., Іглін С.П., Ольховська О.І. Деякі особливості розрахунку параметрів ефективного очищення стічних вод комплексних підприємств. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 203 с.
3. Бухкало С.І., Соловей В.М., Іглін С.П., Ольховська О.І. Алгоритм управління ефективним очищенням стічних вод комплексних підприємств. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 204 с.
4. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 205 с.
5. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 206 с.
6. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD, 16-18 травня 2018р. Ч. II/за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 201 с.
7. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 208 с.
8. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І., Соловей В.М. Комплексні методи навчання як основа розвитку фахових компетентностей ВНЗ в НТУ «ХП» // Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». 2017. № 18. С. 9–19.
9. Бухкало С.І., Іглін С.П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 3. С. 52–57.
10. Бухкало С.І. и др. Математическое моделирование как инструмент модификации отходов полимеров. Вісник НТУ «ХП». 2010. Вип. 32. С. 52–59.
11. Бухкало С.І. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки. Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ «ХП», 2005, № 2. С. 29–33.

12. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2014. № 16. С. 3–11.
13. Бухкало С.І. Синергетичні процеси утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2017. – № 41 (1263). С. 17–27.
14. Бухкало С.И., Тovaжнянский Л. Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 460 с.
15. Тovaжнянский Л.Л., Бухкало С.І., Зипунников М.М., Ольховська О.І. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
16. Тovaжнянский Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах [текст] підр. К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
17. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (приклади та тести з технології переробки плодоовочевої сировини), 2-ге вид. доп. Ч. 3. Підр. з грифом. К.: «ЦНЛ»: 2022, 108 с.
18. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ», С. 217.
19. Ольховська В.О., Кравченко О.С., Бухкало С.І. Складові алгоритму пошуку раціональних закономірностей роботи обладнання. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня Ч. II./за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ», с. 249.
20. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
21. Zipunnikov, Mykola; Bukhkalov, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144>. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
22. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhkalov, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/186442>.
23. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhkalov, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
24. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.:, 2014. № 16. С. 3–11.
25. Бухкало С.І., Ольховська О.І., Ольховська В.О., Зипунников М.М. Дослідження та аналіз інноваційних заходів з технології комплексної утилізації післяспиртової барди. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 66–74. doi: 10.20998/22204784.2019.15.12
26. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 84–93. doi: 10.20998/22204784.2019.21.13
27. Бухкало С.І. Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 7 (1116), с. 103–108.

References (transliterated)

1. Bukhkalov S.I., Solovej V.M., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Skladovi rozrahunku parametriv ochishhennja stichnih vod kompleksnih pidpriemstv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD, 16-18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.:NTU «KhPI», 202 p.
2. Bukhkalov S.I., Solovej V.M., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I. Dejaki osoblivosti rozrahunku parametriv efektiivnogogo ochishhennja stichnih vod kompleksnih pidpriemstv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv:NTU «KhPI», 203 p.
3. Bukhkalov S.I., Solovej V.M., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Algoritm upravlinnja efektiivnim ochishhennjam stichnih vod kompleksnih pidpriemstv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD, 16-18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh: NTU «KhPI», 204 p.
4. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 205 p.
5. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh: NTU «KhPI», 206 p.
6. Bukhkalov S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv:NTU «KhPI», 201 p.
7. Bukhkalov S.I., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 208 p.
8. Bukhkalov S.I., Iglin S.P., Ol'hov's'ka O.I., Solovej V.M. Kompleksni metodi navchannja jak osnova rozvitku fahovih kompetentnostej VNZ v NTU «KhPI» // Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017, no. 18 (1240), pp. 9–19.
9. Bukhkalov S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri ekspluataciji polimernih virobiv. Integrovani tehnologii ta energozberezhenja. Kharkiv: NTU «KhPI», 2016, no. 3, pp. 52–57.
10. Bukhkalov S.I. i dr. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument modifikacii othodov polimerov. Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" 2010. Vup. 32, pp. 52–59.
11. Bukhkalov S.I. K vo-prosu jenergozberezenija processa aglomerirovanija polimernoj upakovki. Integrovani tehnologii ta energozberezhenja. Kharkov : NTU «KhPI», 2005, no. 2, pp. 29–33.
12. Bukhkalov S.I. Udoshkonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhiv navchal'nih zakladiv. Visnyk NTU

- "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kh., NTU "KhPI" Publ. 2014, no. 16, pp. 3–11.
13. Buhkalo S.I. Sinergetichni procesi utilizacii-modifikacii polimernoї chastki TPV. Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017, no. 41 (1263), pp. 17–27.
 14. Buhkalo S.I., Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevyyh proizvodstv i jenergoberezenie (navch. posibnik). Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 460 p.
 15. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Zipunnikov M.M., Ol'hov's'ka O.I. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. K.: CNL, 2013. 352 p.
 16. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah, pidr. K. CNL, 2011. 832 p.
 17. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii pererobki plodoovochevoї sirovini), 2-ge vid. dop. Ch. 3. Pidruchnik z grifom. K: «CNL»: 2022, 108 p.
 18. Buhkalo S.I. Vznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», 217 p.
 19. Ol'hov's'ka V.O., Kravchenko O.S., Buhkalo S.I. Skladovi algoritmu poshuku racional'nih zakonimirostiej roboti obladnannja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVIII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnja Ch. II./za red. prof. Sokola Є.I. – Kh.: NTU «KhPI», p. 249.
 20. Buhkalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340). – p. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
 21. Zipunnikov, Mykola; Buhkalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258).
 22. Bilous, O., Sytnik, N., Buhkalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019. 186442. http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442).
 23. Bilous, O., Demidov, I., & Buhkalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
 24. Buhkalo S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2014. № 16. S. 3–11.
 25. Buhkalo S.I., Ol'hov's'ka O.I., Ol'hov's'ka V.O., Zipunnikov M.M. Doslidzhennja ta analiz innovacijnih zahodiv z tehnologii kompleksnoї utilizacii pisljaspirtovoї bardi. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340), pp. 66–74. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.12
 26. Buhkalo S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmaliv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346). – pp. 84–93. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
 27. Buhkalo S.I. Osnovni skladovi kompleksnih pidprijemstv energetichnogo miks. Visnik NTU «KhPI». 2015. № 7 (1116), pp. 103–108.

Надійшла (received) 23.06.2023

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухало Світлана Іванівна (Бухало Светлана Ивановна, Buhkalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

С. И. БУХКАЛО

ВЫБОР СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье приведены возможности решения некоторых проблем в рамках выбора моделей и научного обоснования разработки технологии комплексной утилизации полимерной тары и упаковки после завершения сроков их эксплуатации с целью повышения эффективности использования твердых бытовых отходов и отходов различных отраслей промышленности на комплексном предприятии, которое может обеспечивать все свои энергетические потребности самостоятельно. Исследования направлены на изучение таких вопросов как: 1) классификация-идентификация моделей организации сбора и транспортировки отходов; 2) их классификация-идентификация по методам контроля качества с учетом устойчивости к воздействию природных факторов – солнечного света, воды; климатических условий и микроорганизмов; 3) анализ выбора научно-обоснованных моделей переработки и утилизации полимеров как части твердых бытовых отходов; 4) разработка необходимых технологических схем и оборудования для переработки отходов; 5) выбор компаний для утилизации полимеров и вида энергетических ресурсов для реализации этих проектных и технологических решений.

Ключевые слова: комплексная синергетическая утилизация, полимерная тара и упаковка, научно обоснованные модели.