

УДК 628.47
Д 70

ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ УСТАНОВКИ ЕУ БЦП-14

С. С. Рижков, д-р техн. наук, проф.;
Л. М. Маркіна, канд. техн. наук, доц.;
М. В. Рудюк, старш. наук. співроб.;
М. І. Філатова, магістр

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Проведені випробування з переробки різномірної сировини. Досліджені технологічні параметри роботи установки ЕУ БЦП-14. Проаналізовані залежності отримання кінцевих продуктів від вхідної сировини й технологічних параметрів процесу багатоконтурного циркуляційного піролізу.

Ключові слова: багатоконтурний циркуляційний піроліз, органічні відходи, процес деструкції, експериментальна установка, альтернативне паливо.

Аннотация. Проведены испытания по переработке разнородного сырья. Исследованы технологические параметры работы установки ЭУ МЦП-14. Проанализированы зависимости получения конечных продуктов от входного сырья и технологических параметров процесса многоконтурного циркуляционного пиролиза.

Ключевые слова: многоконтурный циркуляционный пиролиз, органические отходы, процесс деструкции, экспериментальная установка, альтернативное топливо.

Abstract. Testing is carried out on dissimilar raw materials processing. Technological parameters of experimental unit MCP-14 were investigated. Dependences were analyzed of receiving final products from raw material and technological parameters of the multicircuit circulatory pyrolysis.

Keywords: multicircuit circulatory pyrolysis, solid domestic wastes, the process of destruction, experimental unit, alternative fuel.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Запропонована технологія багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП) дозволяє шляхом багаторазового повернення важкої реакційної маси в реактор досягти повного перетворення вихідної високомолекулярної сировини в рідину легких фракцій. Однак на кількісний та якісний склад кінцевих продуктів впливає ряд параметрів. Вхідна речовина є одним з головних параметрів для будь-якого мето-

ду утилізації. Сировина регулює та визначає більшість технологічних параметрів процесу переробки методом БЦП: темп нагріву відходів, час виходу на режим, час деструкції, загальну тривалість проведення процесу. Для відпрацювання технологічних режимів БЦП необхідно проведення експериментальних досліджень, які б дозволи виявити залежності складу вихідних продуктів від вхідної сировини й технологічних параметрів процесу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Найбільш перспективним для утилізації органічної сировини є процес багатоконтурного циркуляційного піролізу, який забезпечує вихід корисних продуктів, що можуть у подальшому використовуватися як альтернативні палива [2, 5, 6]. Для дослідження БЦП був створений ряд установок [1, 3, 4]. У даній статті наведені результати відпрацювання раціональних технологічних режимів для вдосконалення конструкторських рішень.

МЕТА СТАТТІ — виявлення та дослідження залежностей отримання кінцевих продуктів від сировини, яка утилізується, й технологічних режимів БЦП, а також визначення параметрів виходу обладнання на робочий режим.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

За рахунок правильного підбору робочого режиму можливо направити реакцію всередині реактора в бік макси-

мального виходу газоподібного або рідкого продукту, який у подальшому може використовуватися як корисна речовина. Для вивчення процесу БЦП створена лабораторна установка ЕУ БЦП-14. Схема експериментальної установки, призначеної для відпрацювання технологічного процесу переробки відходів на основі БЦП, зображена на рис. 1. Фото даної установки наведено на рис. 2.

У ході випробувань різні види та суміші відходів завантажуються в реактор. Позначення сумішей наведені в табл. 1. Для дослідження температурних режимів процесу БЦП установлені сім термопар: хромель-алюмелеві К1, К2, К3 та хромель-капелеві К4, К5, К6, К7. Розміщення термопар зображено на схемі ЕУ БЦП-14 (див. рис. 1), а вимірювана величина і позначення термопар наведені в табл. 2. Показання виводяться на головний пульт керування, який містить аналогово-цифровий перетворювач УКТ38-Щ4, до якого підключаються ПК, термопари, манометр, що показує тиск у системі, та тумблери керування системою вентиляції. Система

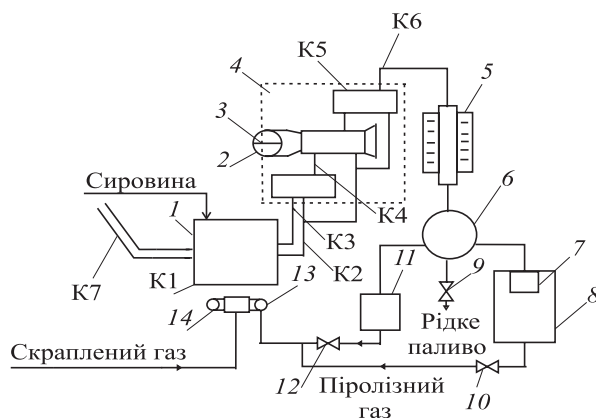


Рис. 1. Блок-схема експериментальної установки ЕУ БЦП-14: 1 — реактор; 2 — система повітряного охолодження II контуру; 3 — повітряна заслінка; 4 — блок контурної циркуляційної системи; 5 — вихідний конденсатор з водяним охолодженням; 6 — розподільна ємність; 7 — підричний запобіжник; 8 — компенсаційна ємність; 9 — кран зливання рідкого палива; 10, 12 — крани подачі піролізного газу на пальник допалювання; 11 — лічильник піролізного газу; 13 — пальник допалювання піролізного газу; 14 — пальник скрапленого газу; К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7 — термопари



Рис. 2. Фото експериментальної установки ЕУ БЦП-14: *а* — вигляд установки спереду; *б* — вигляд установки ззаду

Таблиця 1

| Експериментальні дані | Скорочене позначення сировини | | | |
|-------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|---|
| | А | Б | В | Г |
| Сировина | Шприци медичні ін'єкційні багаторазового застосування (ГОСТ 22967-90) | Відходи кабельного виробництва | Подрібнені пляшки | Пакувальна клейка стрічка різних марок (ЛС-100011, ЛС-100012, ЛС-110011, ЛС-100241) |
| Хімічний склад відходів | Матеріал циліндра — поліпропілен, матеріал шток-поршня — поліетилен | Зшитий поліетилен | Поліетилен-терефталат (ПЕТФ) | Різна полімерна основа (поліпропілен, ПЕТФ) |
| Номери випробувань | 1, 2, 3 | 4, 5, 6 | 7, 8, 9 | 10, 11, 12 |

Таблиця 2

| Позначення термопар | Вимірювана величина |
|---------------------|--|
| К1 | Температура на пальнику |
| К2 | Температура парогазової суміші (ПГС) на вході в реактор |
| К3 | Температура ПГС на виході з реактора |
| К4 | Температура ПГС між першим та другим контурами |
| К5 | Температура ПГС на третьому контурі |
| К6 | Температура ПГС на виході з третього контуру в конденсатор |
| К7 | Температура ПГС димових газів у повітроході |

керування і контролю забезпечує керування параметрами технологічного процесу, контроль технологічних режимів, діагностику справності устаткування, а також контроль аварійних ситуацій, керування режимом у нестандартних ситуаціях, самоконтроль справності устаткування з формуванням попереджувальної інформації та реєстрацію значень технологічних параметрів.

На склад кінцевого продукту впливає ряд факторів. У випробуваннях, що проводилися, досліджувався вплив температури та тривалості процесу БЦП на склад вихідних продуктів. Характер температурної залежності виходів продуктів складний і, як правило, встановлюється для різних видів сировини експериментально.

У ході дослідження впливу температур на склад вихідних продуктів найважливішою вимірюваною величиною є температура ПГС на виході з третього контуру в конденсатор (К6), яка визначає вихід реактора на режим. Регулювати температуру контурів можливо за допомогою заслінки в залежності від поставленої мети проведення процесу БЦП. На рис. 3 показана зміна температури при закритті дросельної заслінки. З графіка видно, що при закритті заслінки температура поступово збільшується. Детальніше вплив заслінки був експериментально досліджений у випробуванні № 2.

Для визначення режимів процесу БЦП були проведені 12 випробувань, у ході яких у реактор завантажувалися різні види відходів. Оскільки коефіцієнт завантаження реактора дотримувався однаковим — приблизно 0,9, то вага різної сировини, що завантажувалася в реактор, була різною.

Проводилися три випробування експериментальної установки, в ході яких у реактор була завантажена сировина А. Тиск скрапленого газу (пропану) на основному пальнику підтримувався 2 кг/см^2 . Тиск піролізного газу всередині реактора не перевищував 10 Па. Піролізний газ відбирився з верхньої частини бака і подавався на пальник дожигу. Загальний обсяг отриманого піролізного газу складав 19%. Стік рідини в розподільну ємність відбувається при збільшенні температури ПГС на виході з третього контуру (К6) до $80 \dots 130^\circ\text{C}$. Таким чином, для виходу реактора на режим температура на третьому контурі повинна досягти 80°C . Загальний обсяг отриманої рідкої фракції складав 79%. Отримане рідке паливо мало прозорожовтий колір та різкий запах бензинової фракції. Збільшення температури ПГС легких фракцій на виході з третього контуру експериментально досліджувалося за допомогою хромель-капелевої термопарі, яка позначена К6 на блок-схемі експериментальної установки. З графіка на рис. 4 видно, що температура почала різ-



Рис. 3. Графік залежності температурних режимів при регулюванні температури за допомогою заслінки

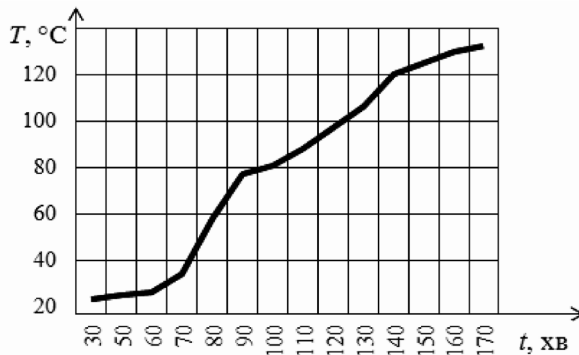


Рис. 4. Графік показання термопари К6 при переробці сировини А (випробування №3)

ко збільшуватися на 60 хвилині процесу та стабілізувалася на 77 хвилині, досягнувши температури 75 °С. Це свідчить про вихід реактора на режим. Подальше збільшення температури відбувалося поступово. З графіка помітно, що температура на виході з третього контуру при переробці використаних багаторазових медичних шприців установилася 120...135 °С.

Були також зафіксовані: температура димових газів, які входять у димохід реактора, — 830 °С, температура розплавлених полімерів у корзині всередині реактора — 400 °С, температура ПГС усередині реактора з корзиною — 300 °С. Також була виміряна висота розплавлених полімерів у реакторі (208 мм). У випробуванні № 2 ек-

периментально був досліджений вплив заслінки на зміну температури на всіх вимірюваних точках. На рис. 5 зображений графік зміни температур на контурах при відкритті-закритті заслінки. На початку проведення випробування заслінка була відкрита — спостерігалося поступове збільшення температури в процесі нагрівання реактора. З графіка (див. рис. 5) видно, що при закритті заслінки на 65 хвилині проведення процесу відбулося різке збільшення температури на всіх вимірюваних точках: К4 — на 84,2 °С, К5 — на 39 °С, К6 — на 78,3 °С. При відкритті заслінки на 1 поділку спостерігалося поступове зменшення температури приблизно на 0,5 °С за хвилину.

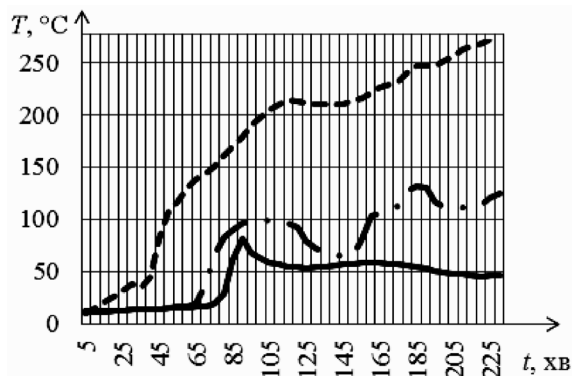


Рис. 5. Дослідження залежності тривалості процесу при регулюванні температурних режимів: — — К4; - - - - К5; - · - · К6

Таблиця 3.

| Параметри | Номер випробування | | |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Загальна вага сировини, г | 3100 | 3300 | 2900 |
| Загальна тривалість процесу | 3 год | 4 год | 2 год 50 хв |
| Час виходу на режим реактора | 1 год 21 хв | 1 год 25 хв | 1 год 17 хв |
| Загальний об'єм отриманих продуктів: | | | |
| рідка фракція, г | 2900 | 3100 | 2700 |
| газ, м ³ | 0,304 | 0,324 | 0,285 |

Дані випробувань з переробки сировини А наведені в табл. 3.

У ході даних випробувань було виявлено, що раціональна тривалість процесу БЦП для переробки медичних шприців складає 3 год. З таблиці видно, що подальше проведення процесу не впливає на кількісний склад вихідних продуктів.

У ході випробування, при якому в реактор була завантажена сировина Б, вихід на режим реактора був зафіксований через 125...151 хв після початку процесу, що майже вдвічі довше, ніж у попередній серії випробувань при переробці сировини А. Це пояснюється зміною у властивостях поліетилену в результаті зшивання: підвищення міцності й деформованості, зниження температури крихкості та збільшення стійкості до розтріскування, викликаних збільшенням вмісту прохідних ланцюгів, що сприяють дисипації напруг в аморфно-кристалічному полімері

за рахунок підвищення сили зв'язку між кристалічними утвореннями. Початок плавлення зшитого полімеру зміщується в область більш високих температур. Графік збільшення температури ПГС легких фракцій на виході з третього контуру наведений на рис. 6.

З графіка на рис. 6 видно, що різке збільшення температури відбулося на 80 хвилині проведення процесу. Коливання температури К6 стабілізувалося на 125 хвилині, це вказує, що реактор вийшов на режим. Дані випробувань з переробки відходів кабельного виробництва (сировини Б) наведені в табл. 4.

Таким чином, з табл. 4 видно, що вихід на режим реактора був зафіксований (125...150 хв). Для сировини Б раціональна тривалість процесу встановлюється в межах 4 год...4 год 20 хв, подальше проведення процесу не впливає на кількісний склад кінцевих продуктів. Загальний об'єм отриманого піролізного газу склав 21%. Одержаний рідкий

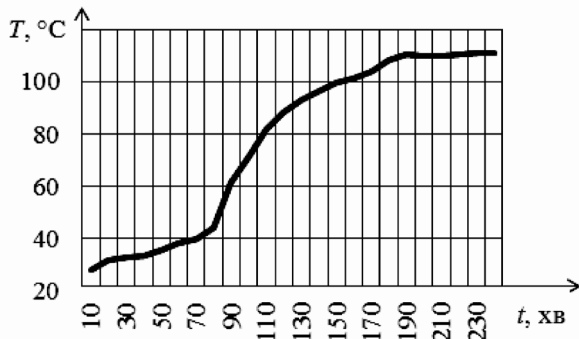


Рис. 6. Графік показання термопари К6 сировини Б (випробування №4)

Таблиця 4

| Параметри | Номер випробування | | |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | 4 | 5 | 6 |
| Загальна вага відходів, г | 3800 | 4000 | 4300 |
| Загальна тривалість процесу | 4 год | 4 год 20 хв | 4 год 50 хв |
| Час виходу на режим реактора | 2 год 05 хв | 2 год 18 хв | 2 год 31 хв |
| Загальний об'єм отриманих продуктів: | | | |
| рідка фракція, г | 3000 | 3200 | 3500 |
| газ, м ³ | 0,369 | 0,382 | 0,418 |

продукт темного кольору з різким запахом бензинової фракції в процентному співвідношенні дорівнював 71% від загального об'єму отриманих продуктів.

Проводилися випробування, в ході яких у реактор завантажили подрібнені ПЕТФ-пляшки. Дані випробувань при переробці сировини В наведені в табл. 5.

З табл. 5 видно, що спостерігалось інтенсивне виділення піролізного газу загальним об'ємом 23% від виходу всіх продуктів БЦП. Рідкого продукту було отримано 75%. Одержане рідке паливо мало мутний темно-коричневий колір та різкий запах бензинової фракції. Це пояснюється наявністю в ПЕТФ-пляшках

забруднювачів, таких, як волога, клей, барвники та ін., оскільки в основі даної продукції лежать вторинні полімери. У процесі переробки вторинний матеріал зазнає деякої втрати в'язкості, що викликано температурним та деформуючим впливом у процесі пластикації полімеру. Крім того, ймовірна наявність у ПЕТФ-відходах ПВХ- та ПЕ-домішок, що також може впливати на характеристики вихідного продукту, що буде аналізуватися в наступних дослідженнях. Графік коливання температури на вимірюваній точці К6 при переробці сировини В наведений на рис. 7.

Таблиця 5

| Параметри | Номер випробування | | |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | 7 | 8 | 9 |
| Загальна вага відходів, г | 3000 | 3200 | 3500 |
| Загальна тривалість процесу | 2 год 10 хв | 3 год 10 хв | 3 год 50 хв |
| Час виходу на режим реактора | 1 год 40 хв | 1 год 47 хв | 1 год 53 хв |
| Загальний об'єм отриманих продуктів: | | | |
| рідка фракція, г | 2800 | 3000 | 3300 |
| газ, м ³ | 0,543 | 0,581 | 0,639 |

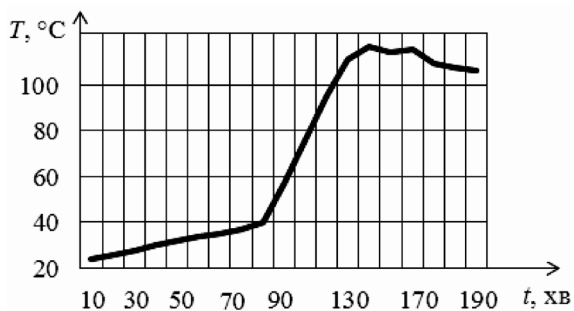


Рис. 7. Графік показання термометри К6 сировини В (випробування № 8)

Таблиця 6

| Параметри | Номер випробування | | |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | 10 | 11 | 12 |
| Загальна вага відходів, г | 2900 | 3200 | 3600 |
| Загальна тривалість процесу | 4 год | 4 год 15 хв | 4 год 30 хв |
| Час виходу на режим реактора | 2 год 15 хв | 2 год 19 хв | 2 год 24 хв |
| Загальний об'єм отриманих продуктів: | | | |
| рідка фракція, г | 1900 | 2000 | 2200 |
| газ, м ³ | 0,702 | 0,738 | 0,812 |

З графіка (див. рис. 7) видно, що температура різко збільшувалася на 100...130 хвилині. Через 2 години від початку проведення процесу температура на виході з третього контуру стабілізувалася й встановилася 110...117°C. Отже, загальна тривалість переробки для сировини В коливається в межах 2 год 50 хв–3 год 10 хв.

Проводилися випробування, в ході яких у реактор було завантажено суміш сировини Г. Дані випробувань при БЦП пакувальної клейкої стрічки наведені в табл. 6.

З табл. 6 видно, що піролізного газу було отримано в процентному співвідношенні 25 %. Одержане рідке паливо, що складало 68 %, мало велику в'язкість, мутний темний колір. Це пояснюється специфічним складом клею, який є одним з основних компонентів клейкої стрічки, та наявністю білої або бурої целюлози в складі втулки. Пакувальна клейка стрічка виробляється з двовіснорієнтованого поліпропілену і клейового шару. Клей наноситься на полотно, що проходить сушильні вузли та намотується на втулку. В залежності від ступеня адгезії розрізняють декілька видів клею, що використовуються у виробництві клейкої стрічки. Сольвент — клей, що виготовляється шляхом розчинення й обробки натурального каучуку. Натуральний каучук — це еластомер, що виготовляється з латексу (молочного соку каучуконосних рослин) і різних домішок. Липкість такого виду клею до-

сягається за рахунок взаємного притягання молекул клею і поверхні. Hot-melt (хот-мелт) — клей, що виготовляється шляхом розчинення та обробки синтетичного каучуку. Принцип склеювання хот-мелту такий же, як сольвенту, тобто взаємне притягання молекул. Клейовий шар у клейких стрічках, виготовлений із синтетичного каучуку, надає їм неприємного специфічного запаху. Клей хот-мелт надає клейким стрічкам медового кольору та різко хімічного, смоляного запаху. Сольвентний клей та hot-melt втрачають міцність і стають крихкими при дії світла, теплоти й кисню повітря. Максимальна адгезія акрилових клеїв виникає через добу–дві після приклеювання як результат хімічної реакції між поверхнею і клеєм, тобто акриловий клей вступає в хімічну реакцію з поверхнею, змінюючи її, що впливає на процес їх деструкції.

З графіка (рис. 8) видно, що інтенсивне збільшення температури відбулося через 1 годину після початку процесу. Температура К6 стабілізувалася в межах 120...143 °C на 135 хвилині проведення процесу. Отже, час виходу на режим реактора був зафіксований на 135...144 хв у залежності від кількості завантаженої сировини.

ВИСНОВКИ

У ході проведених випробувань було виявлено, що тривалість процесу залежить від складу сировини, загальний час складає 3...4 год. Характеристики різних видів відходів впливають на кількісний

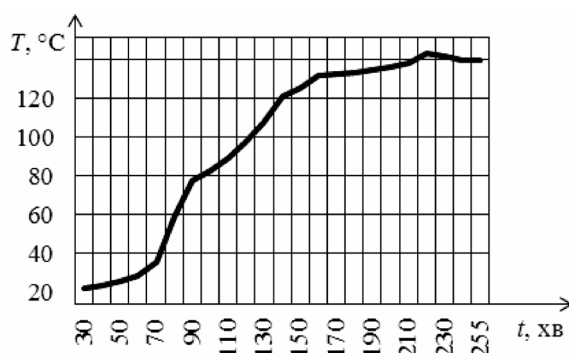


Рис. 8. Графік показання термопар К6 сировини Г (випробування № 11)

склад кінцевих продуктів, але коливання різниці загального об'єму не перевищує 7...9 %. Найбільший вихід газу був зафіксований при переробці пакувальної клейкої стрічки та полімерних пляшок, це пояснюється наявністю в даній сировині ПЕТФ. Найбільший вихід рідкого продукту — при переробці медичних шприців. Було виявлено, що на час виходу реактора на режим впливає якісний та кількісний склад органічних відходів, але різниця в часі складає не більше 10...15 хв та встановлюється в межах 80...100 хв від початку проведення процесу.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження термічної утилізації органічних відходів на установці ЕУ БЦП-14, у ході яких відпрацьовані технологічні режими експериментальної установки ЕУ БЦП-14 та виявлені залежності складу кінцевих продуктів від вхідної сировини й технологічних параметрів процесу. Визначені параметри виходу обладнання на робочий режим. Виявлені залежності можуть бути використані для створення рекомендацій для вдосконалення конструкторських рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Пат. 93427 України, кл. F23G 5/027. Установа безперервної термічної утилізації полімерних відходів [Текст] / Маркіна Л.М., Рижков С.С., Рудюк М.В., Гержов Ю.І. — №93427 ; заявл. 25.05.09 ; опубл. 10.02.11, Бюл. № 3.
- [2] Пат. 50431 України на корисну модель, кл. F23G 5/027. Установа для безперервної термічної утилізації органічних відходів з одержанням рідкого палива [Текст] / Маркіна Л.М., Рижков С.С., Рудюк М.В. — № 50431 ; заявл. 03.12.09 ; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11.
- [3] Пат. 96080 України, кл. F23G 5/027. Установа для циркуляційного піролізу інфікованих медичних відходів [Текст] / Маркіна Л.М., Рижков С.С., Рудюк М.В. — №96080 ; заявл. 18.05.10 ; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.
- [4] Пат. 57336 України, кл. F23G 5/027. Установа піролізу органічних відходів з безперервним вивантаженням пірокарбону [Текст] / Маркіна Л.М., Рижков С.С., Рудюк М.В. — № 57336 ; заявл. 8.07.10 ; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4.

- [5] **Рижков, С.С.** Аналіз процесу регулювання потоків в циркуляційній системі багатоконтурного циркуляційного піролізу [Текст] / С.С. Рижков, Л.М. Маркіна // Зб. наук. пр. НУК. — Миколаїв : НУК. — 2010. — № 1 (430). — С. 144–151.
- [6] **Рыжков, С.С.** Экспериментальные исследования утилизации отходов методом многоконтурного циркуляционного пиролиза [Текст] / С.С. Рыжков, Л.М. Маркина // Зб. наук. пр. НУК. — Миколаїв : НУК, 2007. — № 5 (416). — С. 100–106.