

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20150116>

УДК 502.174.1

В 92

DETERMINATION OF CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE LIQUID FRACTION OF PRODUCTS OF MULTISTAGE CIRCULATION PYROLYSIS

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У РІДКІЙ ФРАКЦІЇ ПРОДУКТІВ БАГАТОКОНТУРНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ПІРОЛІЗУ

Serhiy S. Ryzhkov

rektor@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0001-9560-2765

Hanna H. Trokhymenko

ganna.trokhymenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-0835-3551

Liudmyla M. Markina

markserg@ukr.net

ORCID: 0000-0003-3632-1685

Nina V. Tsyhaniuk

nina.tsyganiuk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-4013-8875

С. С. Рижков,

д-р техн. наук, проф.;

Г. Г. Трохименко,

канд. біол. наук, доц.;

Л. М. Маркіна,

канд. техн. наук, доц.;

Н. В. Циганюк,

асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The data on the accumulation of heavy metals in the liquid fraction of municipal solid waste have been presented in the paper. Atomic absorption spectrophotometry should be used for detecting heavy metals of multistage circulation pyrolysis. The purpose of the study is to determine the qualitative and quantitative characteristics of heavy metals in the liquid fraction of multistage circulation pyrolysis by atomic absorption spectrometry and spectrophotometry. Spectrophotometric analysis method was used as a comparative to atomic absorption one to define the most appropriate and efficient method of investigation the pyrolysis products for the presence of heavy metals in them. Experimental investigations were held. They have confirmed the presence of heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn, Co) in the liquid fraction of multistage circulation pyrolysis using atomic absorption spectrometry and spectrophotometry. Genuine technique for detection of concentration of heavy metals in the liquid fraction was developed.

Keywords: atomic absorption spectrometry; spectrophotometry; multistage circulating pyrolysis; liquid fraction, heavy metals.

Анотація. Розроблено оригінальну методику визначення кількості важких металів у рідкій фракції продуктів багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП). Виконано експериментальні дослідження та отримано дані про накопичення важких металів у рідких фракціях БЦП. Проведено порівняння результатів на вміст важких металів у залишку БЦП методами атомно-абсорбційної спектроскопії та спектроскопії. Визначено відповідність вмісту важких металів у продуктах БЦП до вимог ДСТУ.

Ключові слова: атомно-абсорбційна спектроскопія; спектроскопія; багатоконтурний циркуляційний піроліз; рідка фракція; важкі метали.

Аннотация. Разработана оригинальная методика определения количества тяжелых металлов в жидкой фракции продуктов многоконтурного циркуляционного пиролиза (МЦП). Выполнены экспериментальные исследования и получены данные о накоплении тяжелых металлов в жидких фракциях МЦП. Проведено сравнение результатов на содержание тяжелых металлов в остатке МЦП методами атомно-абсорбционной спектроскопии и спектроскопии. Определено соответствие содержания тяжелых металлов в продуктах МЦП с требованиями ГОСТа.

Ключевые слова: атомно-абсорбционная спектроскопия; спектроскопия; многоконтурный циркуляционный пиролиз; жидкая фракция; тяжелые металлы.

REFERENCES

- [1] Britske M.E. *Atomno-absorbtsionnyy spektrokhimicheskiy analiz (Metody analiticheskoy khimii)* [Atomic absorption spectrochemical analysis (Methods of Analytical Chemistry)]. – Moscow, Khimiya Publ., 1982. 224 p.

- [2] Varshal Ye.B. Metodika vychislitel'nogo eksperimenta i interpretatsiya ego rezultatov v plamennoy atomno-absorbtsionnoy spektrometrii [The technique of computational experiment and interpretation of its results in flame atomic absorption spectrometry]. *Teziy Dokladov Ch. 2 «Primenenie matematicheskikh metodov dlya opisaniya i izucheniya fiziko-khimicheskikh ravnovesiy»* [Application of mathematical methods for defining and studying physical and chemical equilibrities Scientific conference abstracts. Vol. 2]. Novosibirsk, 1989, pp. 108–109.
- [3] Kalinikhin O.N., Krasnyanskiy M.Ye., Rekun V.V. Zagryaznenie tyazhelymi metallami prirodnoy sredy pri termicheskoy utilizatsii tverdykh bytovykh i promyshlennykh otkhodov [Heavy metal pollution of the natural environment in the thermal utilization of household and industrial solid waste]. *Ekolohichna bezpeka – Environmental safety*, 2008, vol. 2, no. 2, pp. 103–109.
- [4] Kuzyakov Yu.Ya., Semenenko K.A., Zorov N.B. *Metody spektral'nogo analiza* [Methods of spectral analysis] Moscow, 1990.
- [5] Markina L.M., Filatova M.I. Rozrobka eksperymentalnoi ustanovky dlia vidpratsiuvannya tekhnolohichnykh rezhymiv protsesu bahatokonturnoho tsyrkuliatsiinoho pirolizu [Development of the experimental device for testing technological modes of multistage circulation pyrolysis process]. *Visnyk NUK* [NUS Journal. Electronic Edition], 2012, issue 1, pp. 63–68.
- [6] Pshiyalkovskiy B.I. Otkhody lakokrasochnykh sredstv [Varnish-and-paint media waste]. *Lakokrasochnye materialy – Paint materials*, 1982. Available at: <http://ecoportal.su>.
- [7] Ryzhkov S.S., Markina L.M. Analiz protsesu rehuliuвання potokiv v tsyrkuliatsiinii systemi bahatokonturnoho tsyrkuliatsiinoho pirolizu [Analysis of the process of flow regulation in the circulation system of multistage circulation pyrolysis]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 2010, issue 1, pp. 103–111.
- [8] Ryzhkov S.S., Rudyuk M.V., Markina L.M. *Innovatsiini tekhnolohii utylizatsii orhanichnykh vidkhodiv z otrymanniam alternatyvnoho palyva na osnovi bahatokonturnoho tsyrkuliatsiinoho pirolizu* [Innovative technologies of recycling organic wastes and getting alternative fuel based on multistage circulation pyrolysis]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 2010, issue 2, pp.133–142.
- [9] Ryzhkov S.S., Markina L.M. *Eksperimentalnye issledovaniya utylizatsii otkhodov metodom mnogokonturnogo tsirkulyatsionnogo piroliza* [Experimental investigations of waste recycling using multistage circulation pyrolysis]. *Sbornik nauchnykh trudov NUK – Collection of Scientific Publications of NUS*, 2007, issue 5, pp. 100–106.
- [10] Smetanin V.I. *Zashchita okruzhayushchey sredy ot otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Protection of the environment from production and consumption waste]. Moscow, Kolos Publ., 2003. 22 p.
- [11] Khomin V.S. Nakopiteli tverdykh bytovykh otkhodov kak potentsialnye istochniki zagryazneniya sredy [Storages of municipal solid waste as a potential source of environmental pollution]. *Tr. nauch.-tekhn. konf. «Ekologiya i zdorove cheloveka. Okhrana vodnogo i vozdushnogo basseynov. Utilizatsiya otkhodov»*. [Scientific and engineering work. Conf. «Environment and human health. Protection of water and air basins. Disposal of waste»]. Shchelkino, 2001, pp. 402–403.
- [12] Chappell P. A review of municipal waste combustion technology. *Energy waste clean, green and profitable : pap. and Synop. presentat. conf.* London, 1991, 11 p.
- [13] Chimenos J.M., Segarra M., Fernandez M.A., Espiell F. Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazard Mater*, 1999, A64:211–222.
- [14] Wiles C.C. Municipal solid waste combustion ash: state-of-the-knowledge. *Journal of Hazard Mater*, 1996, 47:325–344.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Тверді побутові відходи (ТПВ) характеризуються складним морфологічним складом, який має різні ступені токсичності. Наявність важких металів (свинець, кадмій, нікель, хром) у складі ТПВ спричиняє негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини [11]. Саме від присутності в шлаку і золі ТПВ важких металів (ВМ) залежить якість отриманих корисних продуктів. Важкі метали мають низькі гранично допустимі показники, тому проблема переробки та утилізації різних видів відходів, що

містять сполуки важких металів, та їх подальшого використання як альтернативного палива є досить актуальною і важливою на сьогоднішній день.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ступінь антропогенного навантаження на навколишнє середовище зростає, стримування і зменшення цього впливу неможливі без аналітичного контролю рівня забруднення, зокрема важкими металами (свинцем, ртуттю, кадмієм, цинком, вісмутом,

кобальтом, нікелем та ін.), які є обов'язковою складовою ТПВ.

Досвід термічної переробки сміття в розвинених країнах світу показує, що все більшого значення набувають технології, спрямовані на утилізацію так званих збагачених комплексних сумішей. Ці суміші поєднують у своєму складі як окремі горючі компоненти побутового сміття (папір, харчові та садові відходи), так і деякі види промислових відходів, що мають досить високу теплоту згоряння [6, 13]. Тому перспективним є залучення в паливний баланс країни твердих побутових відходів як альтернативних енергоносіїв та отримання з них нетрадиційного високоенергетичного палива з забезпеченням екологічної безпеки.

В останнє десятиліття все більшого значення у сфері утилізації твердих побутових відходів набувають методи, спрямовані на отримання вторинного палива з окремих компонентів ТПВ. Так, у США та ЄС з початку 70-х років проводяться роботи з переробки побутових відходів у тверде паливо Refuse Derived Fuel (RDF), яке тривалий час можна зберігати і транспортувати на відносно великі відстані.

Дані щодо вмісту важких металів у золі і шлаку від спалювання сумішей відходів коксохімічних заводів і ТПВ у вітчизняній літературі практично відсутні, тоді як дані іноземних джерел [12, 14], як правило, стосуються RDF на основі викопних мінеральних палив.

Основними джерелами надходження важких металів до ТПВ є зношені автомобільні шини та гума, залишки дерев'яних, паперових, шкіряних, лакофарбових виробництв та інші органічні відходи, які покриті лакофарбовими продуктами.

Учені Донецького національного технічного університету О.Н. Калініхін та М.Є. Краснянський проводили дослідження впливу добавок кам'яновугільних фусів (суміш смол та вуглецевих продуктів) та кислоти смоли в побутовому смітті на вміст важких металів у шлаку коксохімічних виробництв, що залишився після спалювання ТПВ. Результати досліджень наведені у табл. 1 [3].

Таблиця 1. Вміст важких металів у компонентах вихідних сумішей

Назва відходів	Валовий вміст металів, мг/кг					
	Pb	Ni	Cr	C	Zn	Hg
ТПВ	51	140	190	12	24	10
Кисла смола	54	94	270	72	29	0
Фуси	46	105	125	71	24	0

Специфічним джерелом важких металів є деревина, яка може містити величезну кількість як неорганічних (кількість захисного покриття до 10 кг на 1 м³ деревини), так і органічних шкідливих речовин (кількість захисного покриття до 400 кг на 1 м³ деревини). Відходи лакофарбових матеріалів складають-

ся з широкого спектра важких металів, які наведені в табл. 2 [10].

Таблиця 2. Концентрація металів у складі лакофарбових матеріалів

Метал	Вміст, %	Метал	Вміст, %
Алюміній	0,8	Нікель	0,0071
Залізо	7,5	Свинець	0,54
Кадмій	0,00161	Титан	0,00686
Кальцій	0,79	Хром	0,0692
Мідь	0,0424	Цинк	0,35

Для важких металів (таких, як цинк, мідь, нікель і хром) неможлива «нульова концентрація» в рослинній тканині, і тому вони є важливими елементами, обов'язковими для росту рослин, і, отже, знаходяться в органічних відходах [12].

При утилізації відходів важкі метали, які в них містяться, переходять у продукти, отримані при переробці. Перспективними методами утилізації є ті, при яких отримуються корисні речовини, наприклад альтернативне паливо. Тому важливою задачею є визначення наявності ВМ та їх якісного і кількісного складу.

МЕТА СТАТТІ – визначення якісних та кількісних характеристик важких металів у рідкій фракції БЦП методами атомно-абсорбційної спектроскопії та спектроскопії.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На сьогоднішній день найбільш раціональним та економічно вигідним методом утилізації сухих відходів є технологія багатоконтурного циркуляційного піролізу. Дана технологія дозволяє успішно утилізувати полімерні матеріали, папір, зношені автошини, відпрацьовані машинні масла, нафтошлами та інші сухі органічні відходи як окремо, так і їх суміші [5].

Рідка фракція характеризується молекулярною масою не більше 200, низькою температурою застигання, відсутністю сірки у своєму складі, невеликим вмістом води. А завдяки багатоконтурній циркуляційній системі даний цільовий продукт є екологічно чистим [7–9]. У практичному застосуванні рідку фракцію можна додавати до бензину в межах 20 % без попереднього очищення.

Важкі метали є токсичними домішками у паливі, що також є джерелом забруднення в містах і в районах поблизу доріг. Крім того, присутність таких домішок навіть у низькій концентрації може привести до високого споживання палива.

Для визначення наявності важких металів у продуктах БЦП були проведені дослідження методами атомно-абсорбційної спектроскопії та спектроскопії.

Атомно-абсорбційний аналіз часто використовують у поєднанні з попереднім розділенням

і концентруванням екстракцією, дистиляцією, іонним обміном, хроматографією. У ряді випадків це дозволяє побічно визначати деякі неметали та органічні сполуки.

Аналіз спектрофотометричним методом використовувався як порівняльний для атомно-абсорбційного з метою визначення найбільш доцільного та раціонального методу дослідження продуктів піролізу на наявність у них важких металів [1, 2].

Аналіз вмісту важких металів у рідкому залишку на спектрофотометрі Beckman проводився за стандартними методиками для кожного металу окремо [14].

Для досліджень було використано два зразки рідкого продукту, отримані при переробці сировини з суміші різних полімерних матеріалів з додаванням до 10 % кисневмісних компонентів (деревина, картон) [4].

Металами, за якими проводився моніторинг, стали: свинець (Pb), нікель (Ni), мідь (Cu), цинк (Zn), кобальт (Co).

Зразок № 1 за органолептичними властивостями – це оліїподібна рідина з досить різким запахом, жовтогарячого кольору, здатна до піноутворення.

Зразок № 2 – це оліїподібна рідина з різким запахом, коричневого кольору, менш здатна до піноутворення.

Різниця в характеристиках рідкого залишку піролізної технології обґрунтовується різними технологічними режимами.

Атомно-абсорбційна спектрометрія проводилася на атомно-абсорбційному спектрометрі моделі C-115M1. Спектрофотометричний аналіз здійснено на спектрофотометрі Beckman DU 520 (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Спектрометр C-115M1 (а) та спектрофотометр Beckman DU 520 (б)

Для проведення аналізу атомно-абсорбційною спектрометрією було розроблено оригінальну методику визначення вмісту важких металів у рідкій фракції БЦП.

Підготовка проб рідкого залишку для визначення концентрації важких металів проводилася за розробленою методикою, що складається з таких етапів:

1. Екстракція важких металів у паливі. Азотну кислоту HNO_3 0,1 н. та зразок палива змішують у колбі в співвідношенні 1:1. Екстракція проводиться шляхом перемішування на магнітній мішалці протягом 1 год.

2. Розділення органічної та неорганічної фаз у ділильній лійці об'ємом 1 л.

3. Відділення водної фракції і перенесення її до випарної чашки. Нагрівання проводиться до повного випарювання води.

4. Прожарювання сухого залишку в муфельній печі за температури 550 °С протягом 2 год.

5. Розчинення мінерального залишку в 0,1 н. азотної кислоти та перенесення в колбу на 250 мл. Отримують аналізований розчин.

Обґрунтування пунктів 4, 5. У зразку продукту піролізу знаходиться велика кількість розчинних у воді органічних речовин. Азотна кислота вступає в реакції амінування, а наявність аміногрупи в молекулі органічної речовини сприяє розчиненню у воді продукту піролізу. Тому можна зробити припущення, що у водній фракції буде знаходитись деяка кількість органічних речовин, а це, у свою чергу, буде негативно впливати на полум'я спектрометра та спотворювати результати аналізу. Тому пункти 4, 5 сприяють повному видаленню органічних речовин шляхом сублімації та подальшим термічним розкладом.

Результати досліджень. Концентрація важких металів у продуктах піролізу залежить від вихідного складу сировини для БЦП та обумовлена різними технологічними режимами, а саме часом і температурою перебування суміші в реакторі установки БЦП.

Отримані результати показали наявність важких металів у пробах рідкого залишку продуктів БЦП (табл. 3). Вміст Cu, Zn, Ni не відповідає нормативам для дизельного палива, проте задовольняє вимоги для палива нафтового (мазут).

Результати атомно-абсорбційного аналізу концентрації важких металів у пробі № 1 та градувальні графіки для Cu і Ni наведені на рис. 2.

Спектрофотометричний аналіз підтвердив отримані результати атомно-абсорбційним методом (табл. 4). Різниця в отриманих результатах пояснюється відносною похибкою приладів.

Таблиця 3. Вміст важких металів у рідкій фракції полімерних матеріалів, отриманій методом БЦП

Компоненти	Концентрація, мг/л (n = 3)		Результати	
	у пробі № 1	у пробі № 2	за відношенням до ДСТУ 3868–99 «Паливо дизельне»	за відношенням до ДСТУ 4058–2001 «Паливо нафтове. Мазут»
Мідь	0,14	< 0,1	Не відповідає	Відповідає
Свинець	Не виявлено	< 0,1	Відповідає	
Цинк	< 0,1	0,17	Не відповідає	
Нікель	0,21	0,22	Не відповідає	
Кобальт	Не виявлено	Не виявлено	Відповідає	

Примітка. n – кількість дослідів.

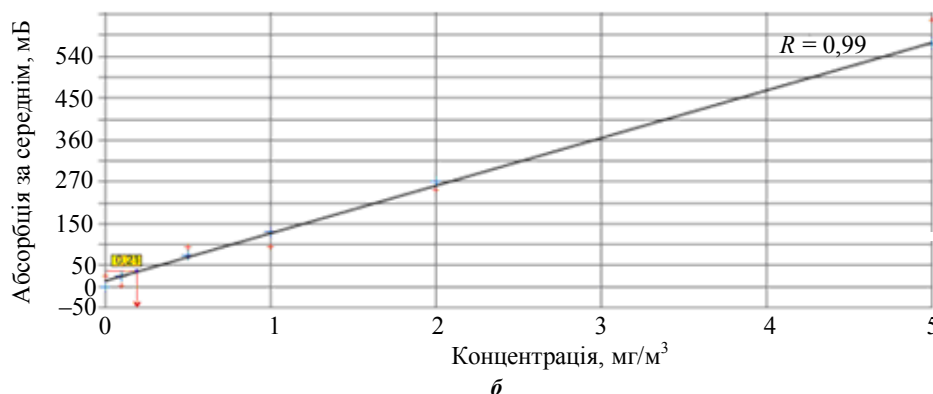
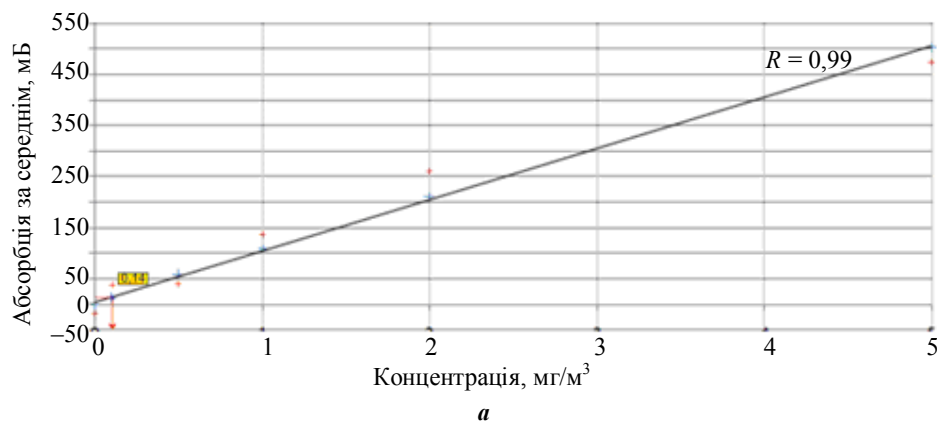


Рис. 2. Результати дослідження вмісту міді (а) та нікелю (б) у рідкій фракції пробі № 1, отриманій методом БЦП полімерних матеріалів

Таблиця 4. Вміст важких металів у рідкій фракції полімерних матеріалів, отриманій методом БЦП (спектрофотометричний аналіз)

Компоненти	Концентрація, мг/л (n = 3)		Результати	
	у пробі № 1	у пробі № 2	за відношенням до ДСТУ 3868–99 «Паливо дизельне»	за відношенням до ДСТУ 4058–2001 «Паливо нафтове. Мазут»
Мідь	0,15	< 0,1	Не відповідає	Відповідає
Свинець	< 0,1	Не виявлено	Відповідає	
Цинк	< 0,1	0,18	Не відповідає	
Нікель	0,20	0,22	Не відповідає	
Кобальт	Не виявлено	Не виявлено	Відповідає	

Результати спектрофотометричного аналізу концентрації важких металів у пробі № 1 та градувальні графіки для Cu наведені на рис. 3.

Порівняльний аналіз атомно-абсорбційної спектрометрії та спектрофотометрії у визначенні

важких металів у продуктах піролізної технології. Використання оригінальної методики для атомно-абсорбційного аналізу в порівнянні зі стандартною методикою спектрофотометрії при дослідженні наявності ВМ у продуктах БЦП надає ряд таких переваг:

- 1) Високу точність та селективність вимірювання: атомно-абсорбційний спектрометр – $\delta_x = 1 \dots 2 \%$; спектрофотометр – $\delta_x = 3 \dots 5 \%$.
- 2) Меншу трудомісткість за рахунок легшої пробопідготовки.
- 3) Порівняно невеликий час проведення аналізу від підготовки проб до отримання результатів: атомно-абсорбційний аналіз – два робочих дні;

спектрофотометричний аналіз – три робочих дні.

- 4) Економічну ефективність за рахунок використання меншої кількості реактивів. Собівартість одного дослідження методом:

атомно-абсорбційної спектрометрії – 1123,97 (грн);
спектрофотометрії – 1245,34–1387,65 (грн).

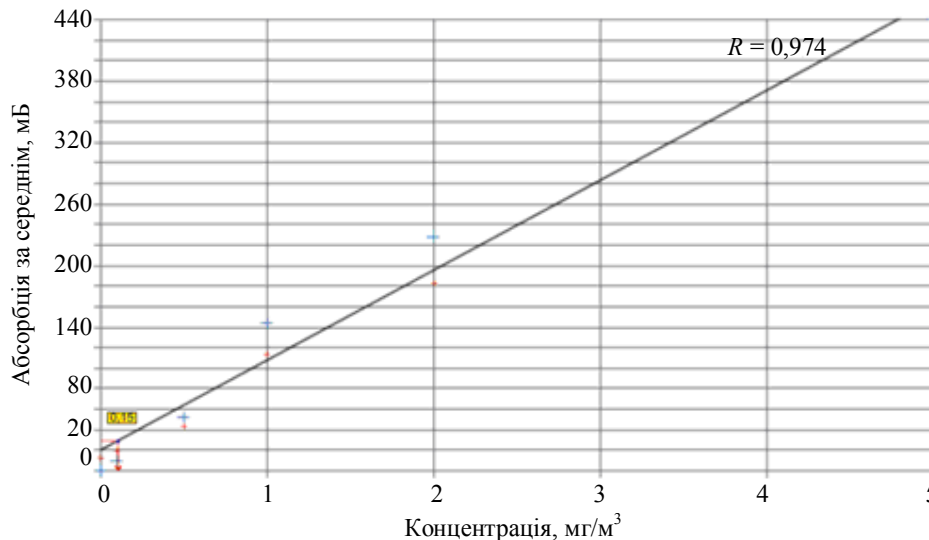


Рис. 3. Результати дослідження вмісту міді у рідкій фракції проби № 1, отриманій методом БЦП полімерних матеріалів (спектрофотометричний аналіз)

ВИСНОВКИ

1. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили наявність важких металів (Pb, Ni, Cu, Zn, Co) у рідкій фракції БЦП методом атомно-абсорбційної спектрометрії та спектрофотометрії. Порівняльний аналіз концентрацій важких металів у продуктах БЦП з ДСТУ «Паливо нафтове. Мазут» та ДСТУ «Паливо дизельне» показав наступне:

концентрації Pb, Ni, Cu, Zn, Co у рідкій фракції БЦП при дослідженні на ААС С-115М1 та спектрофотометрі Beckman повністю відповідають ДСТУ «Паливо нафтове. Мазут»;

при порівнянні концентрації Pb, Ni, Cu, Zn, Co у рідкій фракції БЦП при дослідженні на ААС

С-115М1 та спектрофотометрії концентрації Ni, Cu, Zn перевищують значення ДСТУ «Паливо дизельне».

Тому потрібно проводити жорсткий та постійний контроль концентрацій Ni, Cu, Zn у рідкій фракції продуктів БЦП.

2. Розроблено оригінальну методику, яка дозволяє якісно, швидко та дешево визначити кількості важких металів у рідкій фракції БЦП. Атомно-абсорбційний метод у порівнянні зі спектрофотометричним методом є більш раціональним та економічно вигідним методом дослідження вмісту важких металів у продуктах піролізної технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Брицке, М. Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ (Методы аналитической химии) [Текст] / М. Э. Брицке. – М. : Химия, 1982. – 224 с.
- [2] Варшал, Е. Б. Методика вычислительного эксперимента и интерпретация его результатов в пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии [Текст] / Е. Б. Варшал // Применение математических методов для описания и изучения физико-химических равновесий : тезисы докладов. – Новосибирск : ИНХ СО АН ССР, 1989. – С. 108–109.
- [3] Калинихин, О. Н. Загрязнение тяжелыми металлами природной среды при термической утилизации твердых бытовых и промышленных отходов [Текст] / О. Н. Калинихин, М. Е. Краснянский, В. В. Рекун // Екологічна безпека. – 2008. – № 2. – С. 103–109.
- [4] Кузяков, Ю. Я. Методы спектрального анализа [Текст] / Ю. Я. Кузяков, К. А. Семенов, Н. Б. Зоров. – М., 1990.

- [5] **Маркіна, Л. М.** Розробка експериментальної установки для відпрацювання технологічних режимів процесу багатоконтурного циркуляційного піролізу [Електронний ресурс] / Л. М. Маркіна, М. І. Філатова // Вісник НУК. – 2012. – № 1. – Режим доступу: <https://ev@nuos.edu.ua>.
- [6] **Пшиялковский, Б. И.** Отходы лакокрасочных средств [Электронный ресурс] / Б. И. Пшиялковский // Лакокрасочные материалы. – М. : Химия, 1982. – Режим доступа: <http://ecportal.su>.
- [7] **Рижков, С. С.** Аналіз процесу регулювання потоків в циркуляційній системі багатоконтурного циркуляційного піролізу [Електронний ресурс] / С. С. Рижков, Л. М. Маркіна // Вісник НУК. – 2010. – № 1. – Режим доступу: <https://ev@nuos.edu.ua>.
- [8] **Рижков, С. С.** Інноваційні технології утилізації органічних відходів з отриманням альтернативного палива на основі багатоконтурного циркуляційного піролізу [Текст] / С. С. Рижков, М. В. Рудюк, Л. М. Маркіна // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – № 2 (431). – С. 133–142.
- [9] **Рыжков, С. С.** Экспериментальные исследования утилизации отходов методом многоконтурного циркуляционного пиролиза [Текст] / С. С. Рыжков, Л. М. Маркина // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2007. – № 5 (416). – С. 100–106.
- [10] **Сметанин, В. И.** Защита окружающей среды от отходов производства и потребления [Текст] / В. И. Сметанин. – М. : Колос, 2003. – 22 с.
- [11] **Хомин, В. С.** Накопители твердых бытовых отходов как потенциальные источники загрязнения среды [Текст] / В. С. Хомин // Тр. науч.-техн. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Щелкино, АР Крым, 2001. – Т. II. – С. 402–403.
- [12] A review of municipal waste combustion technology [Text] / Chappell Peter // Energy waste clean, green and profitable : pap. and Synop. presentat. conf. – London, 1991. – P. 11.
- [13] Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator [Text] / J. M. Chimenos, M. Segarra, M. A. Fernandez, F. Espiell // J. Hazard Mater. – 1999. – A64:211–222.
- [14] **Wiles, C. C.** Municipal solid waste combustion ash: state-of-the-knowledge [Text] / C. C. Wiles // J. Hazard Mater. – 1996. – 47:325–344.

© С. С. Рижков, Г. Г. Трохименко, Л. М. Маркіна, Н. В. Циганюк

Надійшла до редколегії 17.11.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *М. І. Радченко*