

Лебедєв В.В., к.техн.н., доцент, Мірошніченко Д.В., д.техн.н., професор,
Тихомирова Т.С., к.техн.н., доцент, Савченко Д.О., студент, Мазченко М.В., студентка,
Мисяк В.Р., магістр, Кочетов М.С., аспірант, Соловей Л.В., старший викладач

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІЛАКТИДУ, КАВОВОЇ ГУЩІ ТА ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: екологічно безпечні, біодеградабельні, композити, гібридна модифікація, полілактид, кавова гуща, гумінові речовини.

Вступ. Одним з найбільш ефективних полімерів для виробництва біопластиків є синтетичний поліестер - полімолочна кислота у вигляді полілактиду [1]. Полілактид відноситься до біопластиків природного циклу одержання, бо він одержується шляхом ферментації сировини та відходів різних культур, багатих крохмалем: такі як кукурудза, буряк або висівки пшеничні [2]. Фактично ПЛА реалізує в собі принцип «Zero Waste» та дозволяє уникнути будь-якого роду конкуренції між різними галузями промисловості, через те, що він є біопластиком, який отримується з побічних продуктів агропродовольчої промисловості. Плівкоутворююча здатність крохмалю дозволяє використовувати його як основну полімерну матрицю для розробки біопластичних матеріалів, у той час як ліпіди використовуються для надання гідрофобності, пластичності та еластичності. Однак поряд з наявністю широкого комплексу корисних властивостей у порівнянні з найбільш широко використовуваними нафтохімічними пластиками, полілактид характеризується низькою паро- та газонепроникністю [2, 3], що значно обмежує сферу його застосування. За для усунення вищезгаданих недоліків полілактиду використовують різні напрями його функціональної модифікації іншими біопластиками або наповнювачами органічної та неорганічної природи. Одним з найбільш ефективних напрямів при цьому є одержання композицій полілактиду, наповнених кавовими відходами. Фактично відходи кави є джерелом різних молекул, придатних для розробки полімерних матеріалів та композитів з різними фізико-хімічними та/або біологічними властивостями. У цьому огляді основна увага приділяється можливості використання кавової гущі для розробки композицій полілактиду з покращеними фізико-хімічними, механічними, бар'єрними та біодеградабельними властивостями. Незважаючи на те, що в хімічному складі відпрацьованої кавової гущі можуть спостерігатися невеликі варіації в залежності від кавового напою, умови екстракції [4] та складу обсмажених кавових зерен, що залежить від видів кави та умови післязбиральної обробки, загальний склад відпрацьованої кавової гущі оптимально підходить для одержання наповнених біодеградабельних композитів з полілактиду для харчових та нехарчових продуктів. На сьогодні існує значна кількість наукових досліджень кавової гущі як наповнювач у полімерних композиційних матеріалах [5, 6, 7]. Так, у роботі [8] була продемонстрована можливість використання кавової гущі та лузги в якості посилюючого агента в біокомпозитах на основі сумішей полібутиратадипінтерефталату (PBAT) і полігідроксивінілбутирату (PHBV). Метою підвищення сумісності кавової гущі з різними біопластиками досліджено використання компабілізаторів з метою підвищення міжфазної адгезії між

натуральними наповнювачами та полімерними матрицями [9]. У наших наукових статтях [10, 11] також вивчені біопластикові полімерні матриці наповнені відходами кавової гущі, але ці роботи мають більш науковий, ніж прикладний промисловий характер. Саме тому дуже актуальним є розробка та дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних полімерних композиційних матеріалів на основі полілактиду та відходів кавової гущі при їх сумісній функціональній гібридній модифікації гуміновими речовинами з метою досягнення у таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних полімерних композиційних матеріалів оптимального комплексу експлуатаційних властивостей.

Мета статті – дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин.

Об’єкти та методи дослідження. Використовували полімер молочної кислоти полілактид екструзійної марки Terramac TP-4000. Полілактид TP-4000 — це біодеградабельна рослинна полімолочна кислота, яка проявляє покращені властивості розтопу, низьку кількість викидів CO₂, ніж звичайні пластмаси, низьку горючість і відсутність викидів токсичних газів (наприклад, діоксинів, хлористого водню, NO_x або SO_x).

Використовували відходи кавової гущі, зібрані в 8 різних кав’ярнях в місті Харкові та висушені до вологості 0,5%. Відходи кавової гущі мають поліфракційний склад в межах розміру частинок від 0,5 до 1 мм.

Як гібридні модифікатори використовували гумінові речовини, які отримували при екстракції бурого вугілля лужним розчином пірофосфату натрію з подальшою екстракцією 1 %-ним розчином гідроксиду натрію і осадженням мінеральної кислотою [12]. В таблиці 1 наведена характеристика дослідних зразків бурого вугілля різного ступеня метаморфізму.

Таблиця 1 – Технічний аналіз бурого вугілля*

Зразок вугілля	Технічний аналіз, %			
	W ^a	A ^d	S _t ^d	V ^d
ГР1	16,8	48,7	2,50	29,1
ГР2	8,1	8,3	1,87	43,7
ГР3	30,6	36,7	4,00	43,7

W^a – волога на аналітичний стан, %; A^d – зольність на сухий стан, %; S_t^d – вміст сірки на сухий стан, %; V^d – вихід летких речовин на сухий беззольний стан, %.

Композити отримували шляхом екструзування попередньо підготовлених полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в одношнековому лабораторному екструдері при температурі 170–200 °С і швидкість обертання валка 30–100 об/хв. Співвідношення L/D екструдера становить 25, а в з метою підвищення однорідності розподілу дисперсних кавових відходів у готових композиціях.

Дослідження ударної в’язкості та руйнівної напруги при вигині зразків без надрізу при температурі 20 °С проводили на маятниковому копрі згідно ISO 180 та ISO 178 відповідно. Температурні інтервали топлення і деструкції полімерів визначали на латунному диску розміром діаметр 50 мм товщина 19 мм з боковим отвором під термометр діаметром 9 мм. Дослідження показника плинності розтопу (ППР) виконували за допо-

могою приладу ПРТ-М при 190 °С та навантаженні 2,16 кгс. При визначенні біодеградабельності гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в якості контрольних зразків використовувалися полімерні плівки товщиною. Дослідження на біодеградацію проводили у модельній системі: використовували контейнери, що заповнювалися 150 грамами польової землі, ступінь біодеградації оцінювали за втратою ваги зразків.

Обговорення результатів

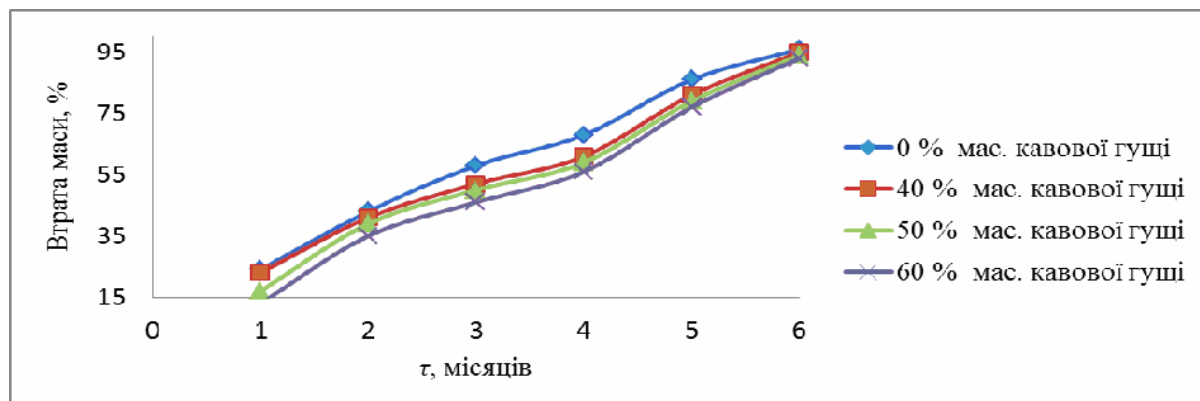
На початковому етапі було досліджено оптимальний вміст кавової гущі у гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в аспекті досягнення максимальних фізико-механічних та технологічних властивосте. В таблиці 2 наведено зведені данні по фізико-механічним і технологічним властивостям розроблених гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин.

Таблиця 2 – Зведені властивості фізико-механічних і технологічних властивостей гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин

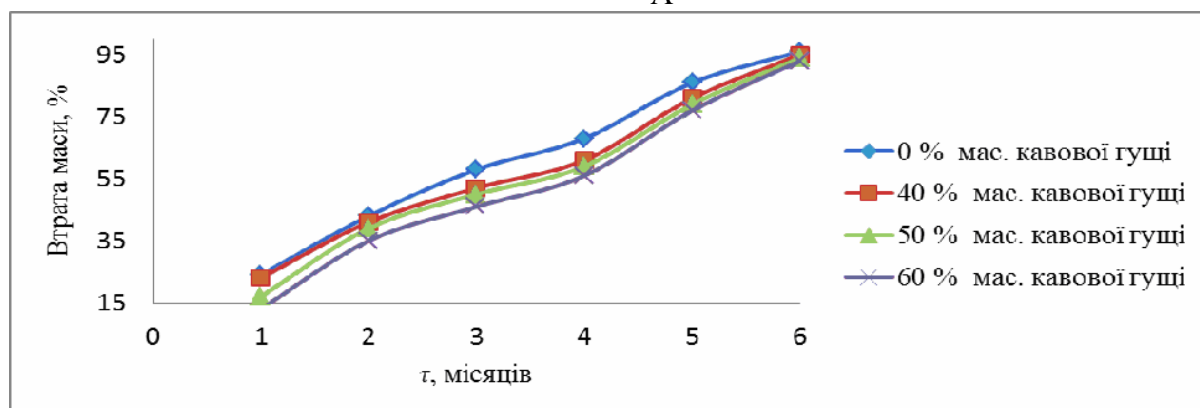
Вміст полілактиду, % мас.	Вміст відходів кавової гущі% мас.	Тип гумінових речовин при їх вмісті 0,5 % мас.	Ударна в'язкість, МПа	Руйнівна напруга при вигині, МПа	ППР, г/10 хв.	Температура топлення, °С
60	40	ГР1	33	330	3,9	178
50	50		36	470	3,7	180
40	60		20	350	3,6	184
60	40	ГР2	36	350	3,7	180
50	50		39	500	3,5	182
40	60		22	390	3,4	186
60	40	ГР3	42	420	3,3	182.00
50	50		45	530	3,1	186.00
40	60		27	480	3,0	190.00

Дані свідчать про зростання ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині при гібридній модифікації екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин у 2, 5 рази, при цьому оптимальним з погляду міцностних характеристик є вміст кавової гущі на рівні 50 % мас. та 0,5 % мас. ГР3. Для таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин характерний ППР на рівні 3,1 г/10 хв. та температурний інтервал переробки 182–188 °С.

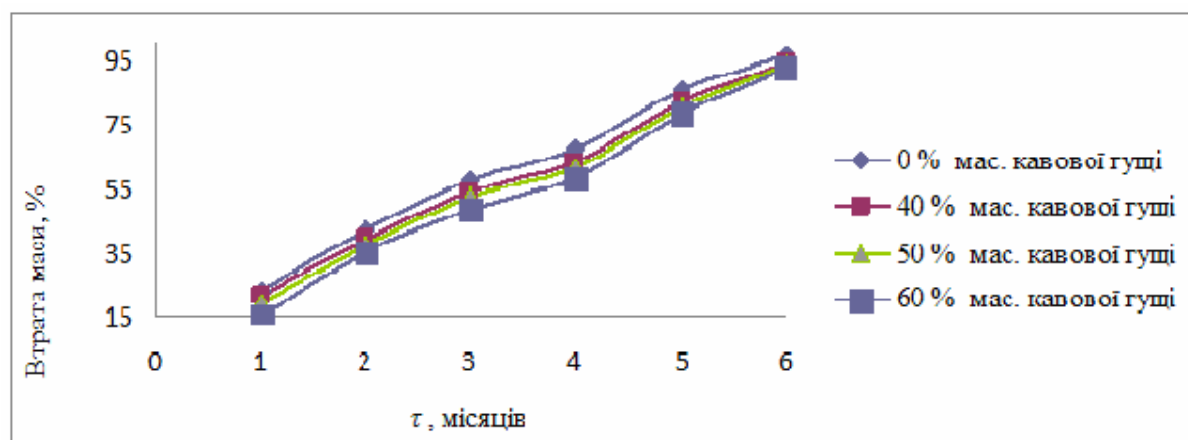
На рис. 1 наведено дослідження біодеградації гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин при різному вмісті кавової гущі та різних гумінових речовин.



А



Б



В

Рисунок 3 – Залежність ступеня біодеградації гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гуші та гумінових речовин при різному вмісті кавової гуші та вмісті 0,5 % мас.: А – ГР1; Б – ГР2; В – ГР3

Загалом, можна побачити, що гібридна модифікація в рамках одержання гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гуші та гумінових речовин при вмісті 0,5 % мас. різних типів гумінових речовин в них та різному вмісті кавової гуші дозволяє зберегти в них властивості до біодеградації впродовж 6 місяців.

Висновки. В статті проведено дослідження з метою встановлення особливостей характеристик гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин. Встановлено, що гібридна модифікація високонаповнених систем полілактид-кавова гуща гуміновими похідними бурого вугілля у вигляді гумінових речовин дозволяє значно збільшити основні міцності характеристики. Встановлено, що спостерігається зростання ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині при гібридній модифікації екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин у 2,5 рази, при цьому оптимальним з погляду міцностних характеристик є вміст кавової гущі на рівні 50 % мас. та 0,5 % мас. гумінових речовин. Для таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин характерний ППР на рівні 3,1 г/10 хв. та температурний інтервал переробки 182–188 °С. Також показано, що гібридна модифікація в рамках одержання гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин при вмісті 0,5 % мас. різних типів гумінових речовин в них та різному вмісті кавової гущі дозволяє зберегти в них властивості до біодеградації впродовж 6 місяців.

Література

1. Tawakkal I.S.M.A., Cran M.J., Miltz J., Bigger S.W. A Review of Poly(Lactic Acid)-Based Materials for Antimicrobial Packaging // *J. Food Sci.* – 2014. – Vol. 79. – R1477–R1490.
2. Jamshidian M., Tehrany E.A., Imran M., Jacquot M., Desobry S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2010. – Vol. 9. – P. 552–571.
3. Rebocho A.T., Pereira J.R., Freitas F., Neves L.A., Alves V.D., Sevrin C., Grandfils C., Reis M.A.M. Production of Medium-Chain Length Polyhydroxyalkanoates by *Pseudomonas Citronellolis* Grown in Apple Pulp Waste // *Appl. Food Biotechnol.* – 2019. – Vol. 6. – P. 71–82.
4. Lee H.K., Park Y.G., Jeong T., Song Y.S. Green nanocomposites filled with spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2015. – Vol. 132. – P. 42043.
5. Siriwong C., Boopasiri S., Jantarapibun V., Kongsook B., Pattanawanidchai S., Sae-Oui P. Properties of natural rubber filled with untreated and treated spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2018. – Vol. 135. – P. 46060.
6. Essabir H., Raji M., Laaziz S.A., Rodrique D., Bouhfid R., el kacem Qaiss A. Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds // *Compos. Part B Eng.* – 2018. – Vol. 149. – P. 1–11.
7. Moustafa H., Guizani C., Dupont C., Martin V., Jeguirim M., Dufresne A. Utilization of Torrefied Coffee Grounds as Reinforcing Agent to Produce High-Quality Biodegradable PBAT Composites for Food Packaging Applications // *ACS Sustain. Chem. Eng.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1906–1916.
8. Sarasini F., Tirillò J., Zuorro A., Maffei G., Lavecchia R., Puglia D., Dominici F., Luzi F., Valente T., Torre L. Recycling coffee silverskin in sustainable composites based on a

poly(butylene adipate-co-terephthalate)/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) matrix // *Ind. Crops Prod.* – 2018. – Vol. 118. – P. 311–320.

9. Kourmentza C., Economou C.N., Tsafrakidou P., Kornaros M. Spent coffee grounds make much more than waste: exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream // *J. Clean. Prod.* – 2018. – Vol. 172. – P. 980-992.

10. Lebedev V., Tykhomyrova T., Litvinenko I., Avina S., Saimbetova Z. Design and Research of Eco-Friendly Polymer Composites // *Materials Science Forum.* – 2020. – Vol. 1006. – P. 259–266.

11. Lebedev V., Miroshnichenko D., Bilets D., Mysiak V. Investigation of Hybrid Modification of Eco-Friendly Polymers by Humic Substances // *Sol St Phen.* – 2022. – Vol. 334. – P. 154–161.

12. ГОСТ 9517-94 (ИСО 5073-85) Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот.

Bibliography (transliterated)

1. Tawakkal I.S.M.A., Cran M.J., Miltz J., Bigger S.W. A Review of Poly(Lactic Acid)-Based Materials for Antimicrobial Packaging // *J. Food Sci.* – 2014. – Vol. 79. – R1477–R1490.

2. Jamshidian M., Tehrany E.A., Imran M., Jacquot M., Desobry S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2010. – Vol. 9. – P. 552–571.

3. Rebocho A.T., Pereira J.R., Freitas F., Neves L.A., Alves V.D., Sevrin C., Grandfils C., Reis M.A.M. Production of Medium-Chain Length Polyhydroxyalkanoates by *Pseudomonas Citronellolis* Grown in Apple Pulp Waste // *Appl. Food Biotechnol.* – 2019. – Vol. 6. – P. 71–82.

4. Lee H.K., Park Y.G., Jeong T., Song Y.S. Green nanocomposites filled with spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2015. – Vol. 132. – P. 42043.

5. Siriwong C., Boopasiri S., Jantarapibun V., Kongsook B., Pattanawanidchai S., Sae-Oui P. Properties of natural rubber filled with untreated and treated spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2018. – Vol. 135. – P. 46060.

6. Essabir H., Raji M., Laaziz S.A., Rodrique D., Bouhfid R., el kacem Quaiss A. Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds // *Compos. Part B Eng.* – 2018. – Vol. 149. – P. 1–11.

7. Moustafa H., Guizani C., Dupont C., Martin V., Jeguirim M., Dufresne A. Utilization of Torrefied Coffee Grounds as Reinforcing Agent to Produce High-Quality Biodegradable PBAT Composites for Food Packaging Applications // *ACS Sustain. Chem. Eng.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1906–1916.

8. Sarasini F., Tirillò J., Zuorro A., Maffei G., Lavecchia R., Puglia D., Dominici F., Luzi F., Valente T., Torre L. Recycling coffee silverskin in sustainable composites based on a poly(butylene adipate-co-terephthalate)/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) matrix // *Ind. Crops Prod.* – 2018. – Vol. 118. – P. 311–320.

9. Kourmentza C., Economou C.N., Tsafrakidou P., Kornaros M. Spent coffee grounds make much more than waste: exploring recent advances and future exploitation strategies for

the valorization of an emerging food waste stream // *J. Clean. Prod.* – 2018. – Vol. 172. – P. 980–992.

10. Lebedev V., Tykhomyrova T., Litvinenko I., Avina S., Saimbetova Z. Design and Research of Eco-Friendly Polymer Composites // *Materials Science Forum.* – 2020. – Vol. 1006. – P. 259–266.

11. Lebedev V., Miroshnichenko D., Bilets D., Mysiak V. Investigation of Hybrid Modification of Eco-Friendly Polymers by Humic Substances // *Sol St Phen.* – 2022. – Vol. 334. – P. 154–161.

12. GOST 9517-94 (ISO 5073-85) Topливо tverdoe. Metody opredeleniya vyhoda guminovykh kislot.

УДК 678

Лебедєв В.В., Мірошніченко Д.В., Тихомирова Т.С., Савченко Д.О., Мазченко М.В.,
Мисяк В.Р., Кочетов М.С., Соловей Л.В.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ
БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІЛАКТИДУ,
КАВОВОЇ ГУЩІ ТА ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН**

У статті проведено дослідження з метою встановлення особливостей характеристик гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин. Гібридні екологічно безпечні біодеградабельні наповнені композити отримували шляхом екструдювання попередньо підготовлених полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в одношнековому лабораторному екструдері при температурі 170–200 °С і швидкість обертання валка 30–100 об/хв. При одержанні гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів використовували полімер молочної кислоти полілактид екструзійної марки Тетгамас ТР-4000. Використовували відходи кавової гущі, зібрані в 8 різних кав'ярнях в місті Харкові та висушені до вологості 0,5 %. Як гібридні модифікатори використовували гумінові речовини. Встановлено, що гібридна модифікація високонаповнених систем полілактид-кавова гуща гуміновими похідними бурого вугілля у вигляді гумінових речовин дозволяє значно збільшити основні міцності характеристики. Встановлено, що спостерігається зростання ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині при гібридній модифікації екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин у 2,5 рази, при цьому оптимальним з погляду міцностних характеристик є вміст кавової гущі на рівні 50 % мас. та 0,5 % мас. гумінових речовин. Для таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин характерний показник плинності розтопу на рівні 3,1 г/10 хв. та температурний інтервал переробки 182–188 °С. Також встановлено, що гібридна модифікація в рамках одержання гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин при вмісті 0,5 %

мас. різних типів гумінових речовин в них та різному вмісті кавової гущі дозволяє зберегти в них властивості до біодеградації впродовж 6 місяців.

Ключові слова: екологічно безпечні, біодеградабельні, композити, гібридна модифікація, полілактид, кавова гуща, гумінові речовини.

Лебедев В.В., Мирошніченко Д.В., Тихомирова Т.С., Савченко Д.О., Мазченко М.В., Мысяк В.Р., Кочетов М.С., Соловей Л.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА, КОФЕЙНОЙ ГУЩИ И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

В статье проведено исследование с целью установления особенностей характеристик гибридных экологически безопасных биоразлагаемых наполненных композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ. Гибридные экологически безопасные наполненные биоразлагаемые композиты получали путем экструдирования предварительно подготовленных полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ в одношнековом лабораторном экструдере при температуре 170–200 °С и скорости вращения вала 30–100 об/мин. При получении гибридных экологически безопасных наполненных биоразлагаемых композитов использовали полимер молочной кислоты полилактид экструзионной марки Tegamac TP-4000. Использовали отходы кофейной гущи, собранные в 8 разных кафеях в Харькове и высушенные до влажности 0,5 %. В качестве гибридных модификаторов использовали гуминовые вещества. Установлено, что гибридная модификация высоконаполненных систем полилактид-кофейная гуща гуминовыми производными бурых углей в виде гуминовых веществ позволяет значительно увеличить основные прочностные характеристики. Установлено, что наблюдается рост ударной вязкости и разрушающего напряжения при изгибе при гибридной модификации экологически безопасных биоразлагаемых наполненных композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ в 2,5 раза, при этом оптимальным с точки зрения прочностных характеристик является содержание 50 % масс. и 0,5 мас.% гуминовые вещества. Для таких гибридных экологически безопасных наполненных биоразлагаемых композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ характерен показатель текучести расплава на уровне 3,1 г/10 мин. и температурный интервал по переработке 182–188 °С. Также установлено, что гибридная модификация в рамках получения гибридных экологически безопасных наполненных биодеградабельных композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ при содержании 0,5 % масс. различных типов гуминовых веществ в них и разном содержании кофейной гущи позволяет сохранить в них свойства биодеградации в течение 6 месяцев.

Ключевые слова: экологически безопасные, биоразлагаемые, композиты, гибридная модификация, полилактид, кофейная гуща, гуминовые вещества.

Lebedev V.V., Miroschnichenko D.V., Tykhomyrova T.S., Savchenko D.O., Mazchenko M.V., Mysiak V.R., Kochetov M.S., Solovey L.V.

RESEARCH OF HYBRID ENVIRONMENTALLY SAFE BIODEGRADABLE COMPOSITES BASED ON POLYLACTIDE, COFFEE GROUNDS AND HUMIC SUBSTANCES

In the article, a study was conducted with the aim of establishing the characteristics of hybrid ecologically safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds and humic substances. Hybrid ecologically safe biodegradable filled composites were obtained by extruding pre-prepared polylactide, coffee grounds and humic substances in a single-screw laboratory extruder at a temperature of 170–200 °C and a roll rotation speed of 30–100 rpm. When obtaining hybrid ecologically safe biodegradable filled composites, lactic acid polylactide polymer of the extrusion brand Terramac TP-4000 was used. Waste coffee grounds collected in 8 different coffee shops in the city of Kharkiv and dried to a moisture content of 0,5 % were used. Humic substances were used as hybrid modifiers. It was established that the hybrid modification of highly filled polylactide-coffee grounds systems with humic derivatives of lignite in the form of humic substances allows to significantly increase the main strength characteristics. It was established that there is a 2.5-fold increase in impact toughness and destructive bending stress during hybrid modification of environmentally safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds, and humic substances, while the optimum from the point of view of strength characteristics is the content of coffee grounds at the level of 50 % by weight and 0.5 % wt. humic substances. For such hybrid ecologically safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds and humic substances, the melting flow rate is characteristic at the level of 3.1 g/10 min. and the processing temperature range is 182–188 °C. It was also established that hybrid modification in the framework of obtaining hybrid ecologically safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds and humic substances with a content of 0.5 % by mass. different types of humic substances in them and different contents of coffee grounds allow them to preserve biodegradation properties for 6 months.

Keywords: environmentally safe, biodegradable, composites, hybrid modification, polylactide, coffee grounds, humic substances.