

УДК 678.027.3;678.742.2;678.046.5

Д.С. Криволапов <sup>а, б</sup>, К.М. Сухий <sup>а</sup>, П.І. Баштаник <sup>а</sup>, А.О. Третьяков <sup>а</sup>, В.О. Безрукавий <sup>б</sup>

## ВПЛИВ СТЕАРИНОВОЇ КИСЛОТИ НА ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

<sup>а</sup> ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна<sup>б</sup> ТОВ «НВП Сервіс комплект», м. Дніпро, Україна

Досліджено вплив стеаринової кислоти на технологічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості композитів на основі вторинного поліетилену низького тиску, наповненого деревинним борошном. Показано, що введення до деревинно-полімерного композиту більше 1,1 мас.% стеаринової кислоти покращує технологічні параметри екструзії: зменшується крутний момент головного приводу екструзійного обладнання і збільшується продуктивність. При вмісті стеаринової кислоти у композиті 0,8–1,25 мас.% спостерігається зростання фізико-механічних показників композиту: збільшується міцність при вигині на 20% (до 51,3 МПа) та ударна в'язкість за Шарпі на зразках з надрізом на 37% (до 11,9 кДж/м<sup>2</sup>), а також зменшуються коефіцієнт лінійного термічного розширення та водопоглинання.

**Ключові слова:** деревинно-полімерний композит, параметри екструзії, поліетилен низького тиску, стеаринова кислота, фізико-механічні властивості.

DOI: 10.32434/0321-4095-2023-150-5-50-54

### Вступ

Все більшу популярність набуває використання деревинно-полімерних композитів (ДПК) для виробництва терасної дошки [1,2]. ДПК використовуються переважно для зовнішніх будівельних робіт. Зокрема, з такої дошки виготовляють підлоги терас, декоративні огорожі, парканні системи, сходи, універсальні профілі, різні аксесуари та комплектуючі. Найбільш поширеними матеріалами для виробництва терасної дошки є полівінілхлорид (ПВХ) [3], поліпропілен (ПП) [4] та поліетилен (ПЕ) [2]. Звичайно, що для виробництва такої дошки використовують і вторинні полімери [5,6], які одержують при рециклінгу. Як наповнювачі застосовується деревинне борошно або волокна різних порід дерев [3].

У порівнянні із деревостружковими плитами, вироби з ДПК характеризуються більш високими фізико-механічними властивостями, малою усадкою і відсутністю жолоблення, низькою вартістю вихідної сировини та відносно простотою технологічного процесу одержання. Разом із вирішенням проблеми раціонального використання

полімерних відходів виробництво виробів з ДПК забезпечує зниження собівартості продукції при збереженні, а за деякими параметрами і покращенні експлуатаційних властивостей виробів [7].

Одним із основних напрямів у дослідженнях таких матеріалів є досягнення максимального ступеня наповнення полімерної матриці [8]. У той же час, введення великої кількості наповнювачів може погіршувати фізико-механічні та експлуатаційні властивості одержуваних матеріалів [9,10].

Основною проблемою одержання якісних деревинно-полімерних композитів на основі поліолефінів є суміщення гідрофільного наповнювача (деревинного борошна) з гідрофобним полімером. Низький базовий рівень адгезії призводить до нерівномірного розподілення наповнювача в полімерній матриці і, як результат, наступного розшарування композитів у часі. Одним із шляхів підвищення суміщення компонентів ДПК є використання різноманітних апретів та компатибілізаторів. Апретуючі речовини або компатибілізатори покращують сумісність між целюлозними волокнами та полімерною матрицею, сприяють

© Д.С. Криволапов, К.М. Сухий, П.І. Баштаник, А.О. Третьяков, В.О. Безрукавий, 2023



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

D.S. Kryvolapov, K.M. Sukhyu, P.I. Bashtanyk, A.O. Tretyakov, V.A. Bezrukavy

диспергуванню волокна у композитах, що приводить до збільшення текучості розплаву і, як наслідок, підвищення продуктивності екструзії та покращення фізико-механічних властивостей ДПК [11]. Найчастіше як компатибілізатори використовують продукти реакції поліолефінів та малеїнового ангідриду [12].

Важливим фактором при одержанні високонаповнених композитів є зменшення коефіцієнта тертя при суміщенні та формуванні композиту на екструзійному обладнанні, що можна досягти при застосуванні мастильних речовин: стеаратів металів [13], кислих жирних естерів [14] тощо. Однак при введенні цих компонентів, одночасно з поліпшенням технологічних параметрів екструзії, можуть істотно знижуватися фізико-механічні та експлуатаційні властивості композитів. Тому пошук та оптимізація вмісту таких мастильних речовин є надзвичайно актуальною задачею.

У даній роботі досліджувався вплив стеаринової кислоти як мастильної речовини у деревинно-полімерному композиті на основі поліетилену низького тиску та дубового борошна на технологічні, фізико-механічні й експлуатаційні властивості ДПК.

#### **Методика експерименту**

Попередньо був оптимізований склад деревинно-полімерного композиту на основі поліетилену низького тиску, мас. % [15]:

- вторинний поліетилен низького тиску 25–35;
- деревинне борошно 45–60;
- кальцит 7–15;
- поліетилен із вмістом 1–6% прищепленого малеїнового ангідриду 1–2;
- поліетиленовий віск 0,5–1,5;
- УФ стабілізатор 0,3–0,6;
- пігменти 2,5–5,0.

Як об'єкт дослідження у даній роботі використовувалась композиція такого складу: вторинний поліетилен низького тиску (ПТР=0,6 г/10 хв) – 30 мас.%; деревинне борошно марки М200 – 54 мас.%; кальцит – 11 мас.%; поліетилен із вмістом 1–6% прищепленого малеїнового ангідриду – 0,85 мас.%; поліетиленовий віск (із температурою краплепадіння 105°C) – 1,1 мас.%; УФ стабілізатор і барвники – інше. Вміст стеаринової кислоти у композиції змінювали від 0 до 2 мас. %.

Технологічний процес виготовлення ДПК складався з наступних стадій: підготовка, сушіння та контроль якості сировини; приготування механічної суміші (масою 150 кг) у лопатевому змішувачі (sky win swhl 600/1200) при 800 об./хв протягом 40–60 хв (при цьому температура підвищувалась до 100°C для гарантованого видалення залишкової вологи); гранулювання одержаної маси

у двошнековому екструдері (sky win swmsz-3) при температурі від 160 до 200°C та обертах шнеків 250–350 об./хв; екструзія терасної дошки, з якої вирізалися зразки для досліджень.

#### **Результати та обговорення**

Основними чинниками підвищення продуктивності процесу екструзії є зниження в'язкості перероблюваного композиту, що можна досягти підвищенням температури екструзії, введенням модифікаторів, тощо. На високопродуктивному обладнанні вплив стеаринової кислоти на зниження в'язкості розплаву та зниження опору просування композиту по матеріальному циліндру можна оцінити за зміною крутного моменту головного приводу екструдера. Залежність крутного моменту двигуна екструдера від вмісту в композиті стеаринової кислоти надана на рис. 1.

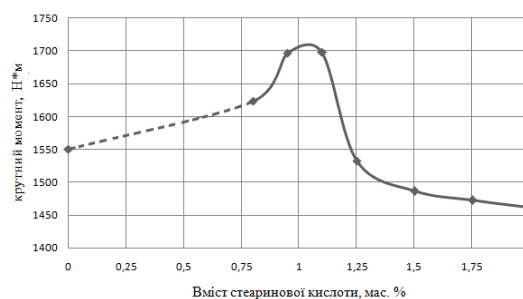


Рис. 1. Залежність крутного моменту двигуна екструдера від вмісту стеаринової кислоти

Аналіз даних рис. 1 показує, що при малому вмісті стеаринової кислоти (до 0,9 мас. %) крутний момент двигуна зростає, що свідчить про зростання в'язкості розплаву. Втім при збільшенні вмісту стеаринової кислоти у композиції більше 1,1 мас. % спостерігається зниження крутного моменту що вказує на зменшення в'язкості розплаву та опору руху композиту в матеріальному циліндрі при такій концентрації стеаринової кислоти. Таким чином, можна зробити висновок, що стеаринова кислота у деревинно-полімерному композиті може використовуватись як мастильна речовина при вмісті більше 1,25 мас. %. Отже, при використанні стеаринової кислоти у кількості 1,1–2,0 мас. % продуктивність екструзії збільшується на 7–11%. Також слід зазначити, що при вмісті стеаринової кислоти у композиті більше 1,5 мас. % крутний момент головного приводу екструдера зменшується але несуттєво.

Оскільки при збільшенні вмісту стеаринової кислоти до 1,1 мас. % збільшувалась в'язкість розплаву, на що вказує збільшення крутного моменту, то збільшувався також і тиск в циліндрі екструдера, що, в свою чергу, супроводжувалося роз-

буханням екструдату на виході з формуючої головки. Саме тому зразки для подальших випробувань властивостей композиту виготовлялись при крутному моменті 1625 Н·м, який досягався регулюванням швидкості екструзії.

Матеріали з ДПК широко використовуються у будівництві та сприймають механічні навантаження різних типів. Для оцінювання якості композитів важливими характеристиками фізико-механічних властивостей є міцність при вигині та ударна в'язкість. Вплив вмісту стеаринової кислоти у композиті на міцність при вигині та ударну в'язкість за Шарпі показано на рис. 2 та 3.

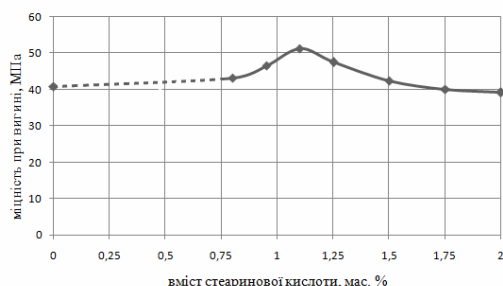


Рис. 2. Залежність міцності при вигині композиту від вмісту стеаринової кислоти

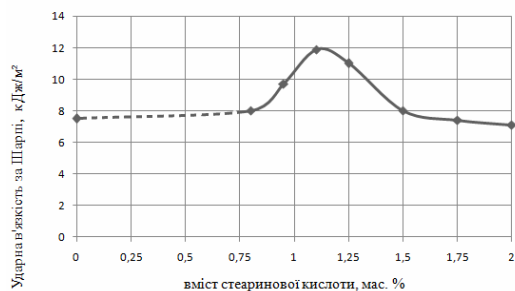


Рис. 3. Залежність ударної в'язкості за Шарпі (на зразках з надрізом) композиту від вмісту стеаринової кислоти

Аналізуючи дані рис. 2, можна стверджувати, що при зростанні вмісту стеаринової кислоти у композиті до 1,1 мас. % збільшується міцність при вигині матеріалу від 40,9 МПа до 51,3 МПа (тобто на 20%). При подальшому збільшенні вмісту стеаринової кислоти (більше 1,25 мас. %) міцність при вигині зменшується до значень вихідного композиту. Така ж тенденція спостерігається і стосовно ударної в'язкості за Шарпі (на зразках з надрізом): при збільшенні вмісту стеаринової кислоти до 1,1 мас. % ударна в'язкість зростає до 11,9 кДж/м<sup>2</sup> (тобто збільшується на 37%), а при подальшому збільшенні вмісту стеаринової кислоти вище 1,25 мас. % – зменшується (рис. 3). Таку зміну фізико-механічних властивостей можна пояснити тим, що стеаринова кислота при вмісті від 0,8 до

1,25 мас. % працює як апрет або компатибілізатор, який покращує адгезію між целюлозою деревинного борошна та полімерною матрицею, що приводить до зменшення напруження між двома фазами при навантаженні. При подальшому збільшенні вмісту стеаринової кислоти, її надлишок виступає як мастильна речовина, яка приводить до зменшення в'язкості розплаву та повертає фізико-механічні властивості на рівень вихідного композиту (без стеаринової кислоти) за рахунок зменшення тиску у матеріальному циліндрі екструдера та погіршення монолітності композиту.

Розширення–стиснення є універсальним явищем і спостерігається для усіх твердих тіл, рідин і газів. Чим вища температура, тим вища амплітуда коливань атомів і молекул речовини, що збільшує ефективний об'єм предметів, а отже, їх розміри у всіх напрямках. Вироби з ДПК стають ширше, товще і довше при високих температурах повітря, та вужче, тонше і коротше при низьких температурах. Коефіцієнт лінійного розширення–стиснення ( $k$ ) може розраховуватись за наступною формулою:  $k = \Delta L / (L \cdot \Delta T)$ , де  $\Delta L$  – це розширення або стиснення матеріалу в температурному інтервалі  $\Delta T$ ,  $L$  – вихідний розмір матеріалу на початку температурного інтервалу. На рис. 4 зображено залежність лінійного коефіцієнта термічного розширення від вмісту у композиті стеаринової кислоти.

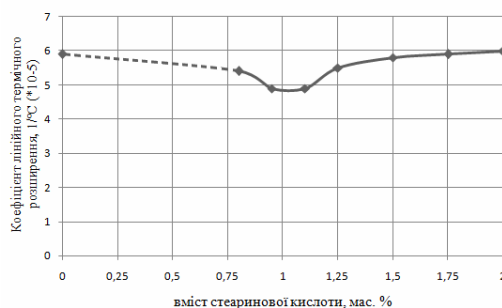


Рис. 4. Залежність коефіцієнту лінійного термічного розширення композиту від вмісту стеаринової кислоти

Дані рис. 4 показують, що при збільшенні вмісту стеаринової кислоти у композиті до 1 мас. % коефіцієнт лінійного термічного розширення зменшується від  $5,9 \cdot 10^{-5}$  до  $4,9 \cdot 10^{-5}$  1/°C (тобто на 20%), а при подальшому збільшенні вмісту стеаринової кислоти – знов збільшується до рівня вихідного композиту. Таким чином, невеликий вміст стеаринової кислоти у деревинно-полімерному композиті позитивно впливає на експлуатаційні властивості виробів з нього.

Одною із позитивних властивостей матеріалів із ДПК є відносно низьке (у порівнянні з деревиною) водопоглинання. Завдяки цій вла-

стивості деревинно-полімерні композити мають більшу довговічність та більшу стійкість до мікробіологічного руйнування. Поглинання води композиційними матеріалами залежить від їх пористості, яка, у свою чергу, залежить від вологості сировини та умовами переробки, насамперед, локальним перегрівом, який повинен зменшитись при використанні у складі композиту стеаринової кислоти як мастильної речовини. Вплив вмісту стеаринової кислоти на водопоглинання деревинно-полімерного композиту показано на рис. 5.

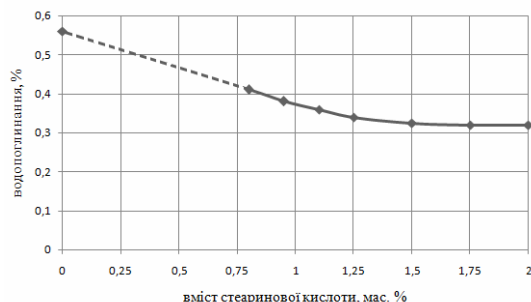


Рис. 5. Залежність водопоглинання композиту від вмісту стеаринової кислоти

Дані рис. 5 свідчать про те, що при додаванні стеаринової кислоти у деревинно-полімерний композит більше 1,1 мас. % водопоглинання зменшується від 0,56% до 0,32%. При подальшому збільшенні вмісту у композиті стеаринової кислоти водопоглинання матеріалу практично не змінюється. Це можна пояснити природою стеаринової кислоти, яка є нерозчинною у воді.

#### Висновки

Дослідження з модифікації деревинно-полімерних композитів на основі вторинного поліетилену низького тиску стеариною кислотою показали наступне:

– введення у композит стеаринової кислоти у кількості більше 1,1 мас. % покращує його технологічні властивості: зменшується крутний момент головного приводу екструзійного обладнання, що зменшує затрати енергії та збільшує продуктивність екструзії;

– раціональний вміст стеаринової кислоти, який забезпечує найбільш високі механічні показники у деревинно-полімерному композиті, становить 0,8–1,25 мас. %, при подальшому збільшенні вмісту стеаринової кислоти відбувається погіршення його фізико-механічних та експлуатаційних властивостей;

– розроблені деревинно-полімерні композити будуть конкурентоспроможними, оскільки відрізняються більш високими механічними показниками, низьким коефіцієнтом лінійного роз-

ширення, низьким водопоглинанням та меншою собівартістю.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Экологически чистые древеснонаполненные пластмассы* / Коршун О.А., Романов Н.М., Наназашвили И.Х., Бикбау М.Я. // Строит. матер. – 1997. – № 5. – С.8-11.
2. *Абушенко А.В., Воскобойников И.В., Кондратюк В.А.* Производство изделий из древесно-полимерных композитов // Деловой журн. по деревообработке. – 2008. – № 4. – С.88-94.
3. *Мацевич Т.А., Аскадский А.А.* Механические свойства террасной доски на основе полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида // Строительство: наука и образование. – 2017. – Т.7. – Вып. 3(24). – С.48-59.
4. *Файзуллин И.З., Мусин И.Н., Вольфсон С.И.* Влияние размера частиц наполнителя на свойства древесно-полимерных композитов // Вестн. Казанского технол. ун-та. – 2013. – Т.16. – № 5. – С.106-109.
5. *Физико-механические свойства вторичного полипропилена, наполненного древесной мукой* / Захаров В.П., Фахретдинов Р.К., Галиев Л.Р., Садритдинов А.Р., Лаздин Р.Ю., Кулиш Е.И. // Пласт. массы. – 2018. – № 7-8. – С.62-64.
6. *Применение вторичных полимеров для производства древесно-полимерных композитов* / Мороз П.А., Аскадский Ал.А., Мацевич Т.А., Соловьева Е.В., Аскадский А.А. // Пласт. массы. – 2017. – № 9-10. – С.56-62.
7. *Влияние влаги на физико-механические свойства древесно-полимерных композитов на основе вторичного полипропилена* / Захаров В.П., Фахретдинов Р.К., Галиев Л.Р., Мингазова А.Р. // Пласт. массы. – 2018. – № 5-6. – С.56-58.
8. *Снигласов А.В.* Влияние размеров древесных частиц и степени наполнения на текучесть композиций с полипропиленом // Пласт. массы. – 2004. – № 12. – С.50-52.
9. *Synthesis and testing of additives of plant origin* / Tertyshna O.V., Zamikula K.O., Polishchuk V.V., Sukhyy K.M. // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2022. – No. 3. – P.83-91.
10. *Получение и исследование свойств древеснонаполненных полипропиленов различных марок* / Амиров Р.Р., Амирова Л.М., Беззаметнов О.Н., Горбачук В.В. // Ученые записки Казанского ун-та. – 2012. – Т.154. – Кн. 3. – С.90-103.
11. *Клесов А.А.* Древесно-полимерные композиты / пер. с англ. А. Чмеля. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.
12. *Мусин И.Н., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И.* Влияние добавок на свойства древесно-полимерных композитов // Вестн. Казанского технол. ун-та. – 2012. – Т.15. – № 24. – С.97-99.
13. *Botros M.G.* Development of new generation coupling agents for wood-plastic composites // The global outlook for natural



fiber and wood composites 2003. – New Orleans. – 2003.

14. *Влияние* наполнителей и технологических добавок на реологические свойства древесно – полимерных композитов / Файзуллин И.З., Имамудинов И.В., Хамидов В.Я., Мусин И.Н., Вольфсон С.И. // *Вестн. Казанского технол. ун-та.* – 2013. – Т.16. – № 10. – С.148-150.

15. *Заявка* на патент на винахід України № а202205147. Деревинно-полімерна композиція / Криволапов Д.С., Сухий К.М., Баштаник П.І., Третяков А.О., Беляновська О.А., – ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»; дата подання 30.12.2022.

Надійшла до редакції 27.05.2023

## INFLUENCE OF STEARIC ACID ON THE PROPERTIES OF WOOD-POLYMER COMPOSITES

*D.S. Kryvolapov*<sup>a, b, \*</sup>, *K.M. Sukhyy*<sup>a</sup>, *P.I. Bashtanyk*<sup>a</sup>, *A.O. Tretyakov*<sup>a</sup>, *V.A. Bezrukavy*<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>b</sup> NVP Service Komplekt LLC, Dnipro, Ukraine

\* e-mail: dmipro706@gmail.com

We studied the influence of stearic acid on the technological, physical-mechanical and operational properties of composites based on secondary low-pressure polyethylene filled with wood flour. It was shown that the introduction of more than 1.1 wt.% of stearic acid into the wood-polymer composite improves the technological parameters of extrusion: the torque of the main drive of the extrusion equipment decreases and productivity increases. When the concentration of stearic acid in the composite is 0.8–1.25 wt.%, there is an improvement in the physical and mechanical parameters of the composite: the bending strength increases by 20% (up to 51.3 MPa) and the Charpy impact toughness of the samples with a cut increases by 37% (up to 11.9 kJ/m<sup>2</sup>), while the coefficient of linear thermal expansion and water absorption decrease.

**Keywords:** wood-polymer composite; extrusion parameters; low-pressure polyethylene; stearic acid; physical and mechanical properties.

## REFERENCES

1. Korshun OA, Romanov NM, Nanazashvily IKh, Bykbaу MYa. Ekologicheski chistyе drevesnonapolnennyye plastmassy [Ecologically clean wood-filled plastics]. *Stroitelnyye Materialy*. 1997; (5): 8-11. (in Russian).
2. Abushenko AV, Voskoboynykov IV, Kondratyuk VA. Proizvodstvo izdelii iz drevesno-polimernykh kompozitov [Production of products from wood-polymer composites]. *Delovoi Zhurnal po Derevoobrabotke*. 2008; (4): 88-94. (in Russian).
3. Matseevych TA, Askadsky AA. Mekhanicheskie svoystva terrasnoi doski na osnove polietilena, polipropilena i polivinilkhlorida [Mechanical properties of decking boards based on polyethylene, polypropylene and polyvinyl chloride]. *Stroitelstvo: Nauka i Obrazovanie*. 2017; 7(3(24)): 48-59. (in Russian).
4. Faizullin IZ, Musyn IN, Wolfson SI. Vliyanie razmera

chastits napolnitelya na svoystva drevesno-polimernykh kompozitov [Influence of filler particle size on the properties of wood-polymer composites]. *Bull Kazan Technol Univ*. 2013; 16(5): 106-109. (in Russian).

5. Zakharov VP, Fakhretdynov RK, Galyev LR, Sadrytdynov AR, Lazdyn RYu, Kulysh EI. Fiziko-mekhanicheskie svoystva vtorichnogo polipropilena, napolnennogo drevesnoi mukoi [Physical and mechanical properties of secondary polypropylene filled with wood flour]. *Plastic Masses*. 2018; (7-8): 62-64. (in Russian).

6. Moroz PA, Askadsky AIA, Matseevych TA, Solovyeva EV, Askadsky AA. Primenenie vtroichnykh polimerov dlya proizvodstva drevesno-polimernykh kompozitov [The use of secondary polymers for the production of wood-polymer composites]. *Plastic Masses*. 2017; (9-10): 56-62. (in Russian).

7. Zakharov VP, Fakhretdynov RK, Galyev LR, Myngazova AR. Vliyanie vlagi na fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesno-polimernykh kompozitov na onsove vtorichnogo polipropilena [Influence of moisture on the physical and mechanical properties of wood-polymer composites based on recycled polypropylene]. *Plastic Masses*. 2018; (5-6): 56-58. (in Russian).

8. Spylazov AV. Vliyanie razmerov drevesnykh chastits i stepeni napolneniya na tekuchest' kompozitsii s polipropilenom [Influence of the sizes of wood particles and the degree of filling on the fluidity of compositions with polypropylene]. *Plastic Masses*. 2004; (12): 50-52. (in Russian).

9. Tertyshna OV, Zamikula KO, Polishchuk VV, Sukhyy KM. Synthesis and testing of additives of plant origin. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2022; (3): 83-91. doi: 10.32434/0321-4095-2022-142-3-83-91.

10. Amyrov RR, Amyrova LM, Bezzametnov ON, Gorbachuk VV. Poluchenie i issledovanie svoists drevesnonapolnennykh polipropilenov razlichnykh marok [Preparation and study of the properties of wood-filled polypropylenes of various grades]. *Proc Kazan Univ*. 2012; 154(3): 90-103. (in Russian).

11. Klesov AA. *Drevesno-polimernyye kompozity* [Wood-plastic composites]. St. Petersburg: Nauchnye Osnovy i Tekhnologii; 2010. 736 p. (in Russian).

12. Musyn IN, Fayzullin IZ, Wolfson SI. Vliyanie dobavok na svoystva drevesno-polimernykh kompozitov [Influence of additives on the properties of wood-polymer composites]. *Bull Kazan Technol Univ*. 2012; 15(24): 97-99. (in Russian).

13. Botros MG. *Development of new generation coupling agents for wood-plastic composites. The global outlook for natural fiber and wood composites 2003*. New Orleans; 2003.

14. Faizullin IZ, Imamutdinov IV, Khamidov VYa, Musin IN, Wolfson SI. Vliyanie napolnitelei i tekhnologicheskikh dobavok na reologicheskie svoystva drevesno-polimernykh kompozitov [Influence of fillers and technological additives on the rheological properties of wood-polymer composites]. *Bull Kazan Technol Univ*. 2013; 16(10): 148-150. (in Russian).

15. Kryvolapov DS, Sukhyy KM, Bashtanyk PI, Tretyakov AO, Belyanovska OA, inventors; Ukrainian State University of Chemical Technology, assignee. *Derevynno-polimernaya kompozitsiya* [Wood-polymer composition]. Ukraine patent application a202205147. 2022 Dec 30. (in Ukrainian).