УДОСКОНАЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОВАРІВ

DOI: 10.31617/2.2024(51)07
УДК 667.612.6

КАРАВАЄВ Тарас,
д. т. н., професор, професор кафедри товарознавства та митної справи Державного торговельно-економічного університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
t.karavayev@knute.edu.ua

ДОМАШЕВСЬКИЙ Мирослав,
магістр, аспірант кафедри товарознавства та митної справи Державного торговельно-економічного університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
m.domashevskyy@knute.edu.ua

KARAVAYEV Taras,
Doctor of Sciences (Technical), Professor, Professor of Department of Commodity Science and Customs Affairs
State University of Trade and Economics
19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
ORCID: 0000-0003-4429-2474

DOMASHEVSKYI Myroslav,
Master, PhD student of Department of Commodity Science and Customs Affairs
State University of Trade and Economics
19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
ORCID: 0000-0003-0506-1913

БІОПОЛІМЕРИ ДЛЯ ПЛІВКОУТВОРЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ

Зростання ринків біополімерів (біоосновних пластиків) є обмеженим через проблеми розширення галузей застосування, зокрема лакофарбових покриттів, і незадовільну здатність до плівкоутворення при кімнатній температурі. Визначено умови і фактори використання біополімерів (пластиків) як плівкоутворювачів лакофарбових систем, параметри їх сумісності (розчинності) за Хансеном та поверхневої енергії. Гіпотезою є припущення про застосованість підходу Хансена до вибору сумісних розчинників і пластифікаторів для біополімерів та можливості застосування останніх для плівкоутворення лакофарбових покриттів. Використано біополімери (ацетат целюлози, полілактид, ацетатбутиратцелюлози) та пластифікатор (поліетиленгліколь), для яких визначали хімічний склад за допомогою ІЧ-спектроскопії та сумісність за параметрами розчинності Хансена. Покриття створювали шляхом нанесення розчинів полімерів на KRS-5 скло та сушінням при кімнатній

BIOPOLYMERS FOR FILM FORMATION OF VARNISH-AND-PAINT COATINGS

The growth of markets for biopolymers (bio-based plastics) is limited due to the problems of expanding the fields of application, in particular varnish-and-paint coatings, and unsatisfactory ability to form films at room temperature. The aim of the article is to establish the conditions and factors of using biopolymers (plastics) as film formers of paint and varnish systems and to determine their Hansen compatibility (solubility) and surface energy parameters. The hypothesis is the assumption that the Hansen approach is applicable to the selection of compatible solvents and plasticizers for biopolymers and the possibility of using the latter for film formation of paint coatings. Biopolymers (cellulose acetate, polylactide, cellulose acetate butyrate) and a plasticizer (polyethylene glycol) were used, for which the chemical composition was determined using infrared spectroscopy and compatibility was determined by Hansen solubility parameters. The coating was created by applying polymer solutions to KRS-5 glass and drying at room temperature. The water

Copyright © 2024. Автор(и). Це стаття відкритого доступу, яка розповсюджується на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License 4.0 (CC-BY) Міжнародна ліцензія

температурі. Кути змочування водою визначали методом краплі з використанням оптичного мікроскопа і цифрової камери. Досліджено молекулярну структуру біополімерів методом ІЧ-спектроскопії, встановлено їх параметри розчинності за теорією Хансена та обґрунтованим вибором пластифікаторів і розчинників на основі моделювання відповідних сфер розчинності з наступним підтвердженням зниження мінімальної температури плівкоутворення полімеру та оцінкою зміни полярності поверхні. У результаті проведених досліджень показано, що як плівкоутворювачі для лакофарбових систем на основі розчинників можуть бути використані біополімери. Розглянуті полілактид та ацетобутират здатні формувати плівки без дефектів при кімнатній температурі, але тільки при вмісті пластифікатора вище 10 мас. %. Встановлено координати розчинності Хансена для вказаних полімерів і за отриманими значеннями підібрано придатний для обох матеріалів біоосновний пластифікатор. Результати дослідження куту змочування показали, що додавання пластифікатора підвищує поверхневу енергію плівок, що у свою чергу обумовлює зменшення їх кута змочування водою при введенні в кількості вище 10 мас. %.

Ключові слова: біополімери, полілактид, ацетатбутират целюлози, параметр розчинності Хансена, пластифікатор, фарби, покриття.

wetting angles were determined by the droplet method using an optical microscope and a digital camera. The molecular structure of biopolymers was studied by IR spectroscopy, their solubility parameters were established according to Hansen's theory and the reasonable choice of plasticizers and solvents was made based on the modelling of the respective solubility spheres, followed by confirmation of a decrease in the minimum film formation temperature of the polymer and the assessment of the change in surface polarity. As a result of the conducted research, it has been shown that bio-based polymers can be used as film formers for solvent-based paint and varnish systems. The polylactide and acetobutyrate considered in this work are capable of forming films without defects at room temperature, but only when the plasticizer content is above 10 wt. %. The Hansen solubility coordinates for these polymers were determined, and the bio-based plasticizer suitable for both materials was selected based on the obtained values. The results of the study of the wetting angle showed that the addition of a plasticizer increases the surface energy of the films, which in turn causes a decrease in their wetting angle with water when added in an amount above 10 wt. %.

Keywords: biopolymers, polylactide, cellulose acetate butyrate, Hansen solubility parameter, plasticizer, paints, coatings.

JEL Classification: L60, L70, L80.

Вступ

Використання біополімерів (біоосновних пластиків) є сучасним трендом забезпечення принципів циркулярної економіки (*Cramer*, 2017), зокрема, відмови від вуглеводневої сировини на користь сировини з відновлювальних джерел. Широко відомими є приклади використання таких пластиків, насамперед полілактиду (ПЛА) (*Balla et al.*, 2021), в адитивних технологіях 3*D* друку, останнім часом також підвищуються масштаби впровадження відносно таких нових полімерів, як полібутиленадипат-терефталат та його сумішей з ПЛА (*Farsetti et al.*, 2011) для створення біорозкладних пакувальних матеріалів (*Moustafa et al.*, 2017), одноразових пакетів, які призначені для заміни плівок поліетилену низької та високої щільності. Звертають на себе увагу і традиційні за хімічним складом поліаміди та поліуретани, які наразі промислово синтезуються з рослинних олій (*Lin et al.*, 2023). Традиційними пластиками в цій царині є похідні целюлози: один з історично перших типів пластиків – нітроцелюлоза, ацетат целюлози (АЦ) (*Yadav & Hakkarainen*, 2021) та її ацетобутират (АБЦ). Нітрати целюлози наразі не застосовуються як пластики внаслідок своєї високої горючості (*Elnashaie*, 2020).

Хоча ринкова частка біополімерів у загальному обсягу пластиків неухильно зростає, деякі галузі залишаються недостатньо охопленими та потенційно привабливими нішами для їх впровадження. Передусім це стосується лакофарбових покриттів, де з промислових частково біоосновних матеріалів історично використовуються лише алкідні смоли. Це пояснюється, насамперед, недостатньо розвиненими технологічними рішеннями для використання масових біополімерів – полілактиду та похідних целюлози в складі покриттів. Наприклад, в (*Belletti et al.*, 2021) показано, що ПЛА характеризується незадовільною здатністю до плівкоутворення при кімнатній температурі, що є перепоною до його застосування як матриці таких композитів. Те ж саме стосується й ацетобутирату целюлози (*Nejström et al.*, 2023).

Вибір саме цих полімерів – ПЛА та АЦ – для одержання плівкоутворюючої основи для лакофарбових матеріалів обумовлений тим, що ці матеріали є одними з небагатьох типів біополімерів, які наразі виробляються на промисловому рівні, що обумовлює, по-перше, їх доступність на ринку та стабільність технічних показників (молекулярної маси, ступеня заміщення, наявності домішок тощо), а по-друге, зниженою вартістю порівняно, наприклад, з такими експериментальними матеріалами, як полігідроксоалканоати.

У праці (*Khouri et al.*, 2024) показано, що перспективним способом одержання суцільних плівок покриттів з розчинів біоосновних полімерів завдяки зниженню їх температур склування і, відповідно, мінімальної температури плівкоутворення може бути пластифікація, наприклад, поліетиленгліколем, або реакційна модифікація самої високомолекулярної сполуки полігідроксибутиратом. *Wang et al.* (2023) довели можливість створення покриттів пластифікованого карнаубським воском ПЛА з розчину органічного розчинника (дихлоретану). Праця (*Briassoulis et al.*, 2022) демонструє одержання розчину співполімеру полілактилу-полігідроксобутирату пластифікованого карваколом та оливковою олією. У *Scaffaro et al.* (2020) описано подібний підхід до одержання покриттів. В одній з попередніх праць автора (Караваєв, 2014) визначено вплив різних факторів, у тому числі кількості модифікаторів та інших добавок фарб на гідрофобність покриттів. Загальним недоліком цих праць є відсутність системного підходу до вибору сумісних компонентів пластифікованих покриттів з біополімерів.

Метою цієї статті є встановлення умов і факторів використання біополімерів (пластиків) як плівкоутворювачів лакофарбових систем та визначення їх параметрів сумісності (розчинності за Хансеном та поверхневої енергії). Останнє слугуватиме основою для проєктування систем на основі таких матриць, зокрема виборі сумісних пластифікаторів та коалесцентів, поверхневої енергії наповнювачів, загусників тощо. Основною гіпотезою є припущення про застосовність підходу Хансена до вибору сумісних розчинників та пластифікаторів для біополімерів та можливість застосування останніх для плівкоутворення лакофарбових покриттів.

Відповідно, завдання роботи передбачали визначення хімічного складу полімерів у вигляді промислових продуктів; встановлення їх координат розчинності та вибір придатних пластифікаторів для зниження мінімальної температури плівкоутворення до кімнатної; визначення поверхневої енергії плівок біополімерів та їх пластикатів.

Практичне значення роботи полягає у підборі комерційно доступних на ринку біополімерів та пластифікаторів для них з метою доведення можливості використання біополімерів як плівкоутворювачів лакофарбових покриттів при кімнатній температурі, що суттєво розширить сфери застосування цих матеріалів.

У роботі використано біополімери ацетат целюлози (далі АЦ) від *Thermo Fisher Scientific*, полілактид (далі ПЛА) від Xiamen *Keyuan Plastic Co.* та ацетатбутират целюлози (далі АБЦ) марки *CAB*-381–0.5 від *Eastman Chemical Company*. Як пластифікатор використано поліетиленгліколь із середньою молекулярною масою 400 г/моль.

Для визначення хімічного складу полімерів отримано ІЧ-спектри тонких плівок. Для цього створено 5 мас. % розчини полімерів та нанесено на *KRS*-5 скло. Плівки з носієм просушено при температурі 60 °С протягом 30 хв. Зняття ІЧ-спектру відбувалося в області хвильових чисел 4000 – 400 $см^{-1}$ на приладі *Specord IR*-75.

Для визначення сумісності полімеру з пластифікатором використано параметри розчинності Хансена (*Undavalli et al*., 2021). Координати точки центру сфери полімеру *δD*, *δP*, *δH* та радіус сфери R0 визначено за допомогою титрування різними рідинами (розбавниками) розчину полімеру до утворення помутніння розчину. Для цього створено 1 мас. % розчини полімерів. Кількість пробної рідини (розбавника), яка пішла на титрування до помутніння, та кількість розчину полімеру фіксувалися. Далі розраховано координати Хансена для суміші розчинник-розбавник за формулою:

$$\delta_{mix} = \frac{x_1 V_1 \delta_1 + x_2 V_2 \delta_2}{x_1 V_1 + x_2 V_2},$$

де x_1, x_2 – мольна частка розчинника та розбавника відповідно;

V_1, V_2 – молярний об’єм розчинника та розбавника відповідно;

δ_1, δ_2 – параметри розчинності розчинника та розбавника відповідно.

Далі будувалися залежності *δH* від *δP* для отриманих точок і проводилася апроксимація у формі кола, координатами центру якого є *δP* по осі *X*, *δH* по осі *Y* та його радіус дорівнює *R0*. Значення параметра *δD* полімеру визначено шляхом екстраполяції прямої до точки перетину із значенням *δP* полімеру залежності *δD* від *δP*.

Для створення покриттів виготовлено 5 мас. % розчини полімерів. Ацетат целюлози розчинено у диметилформаміді, полілактид – у тетрагідрофурані, а ацетатбутират целюлози – у етилацетаті. Розчини

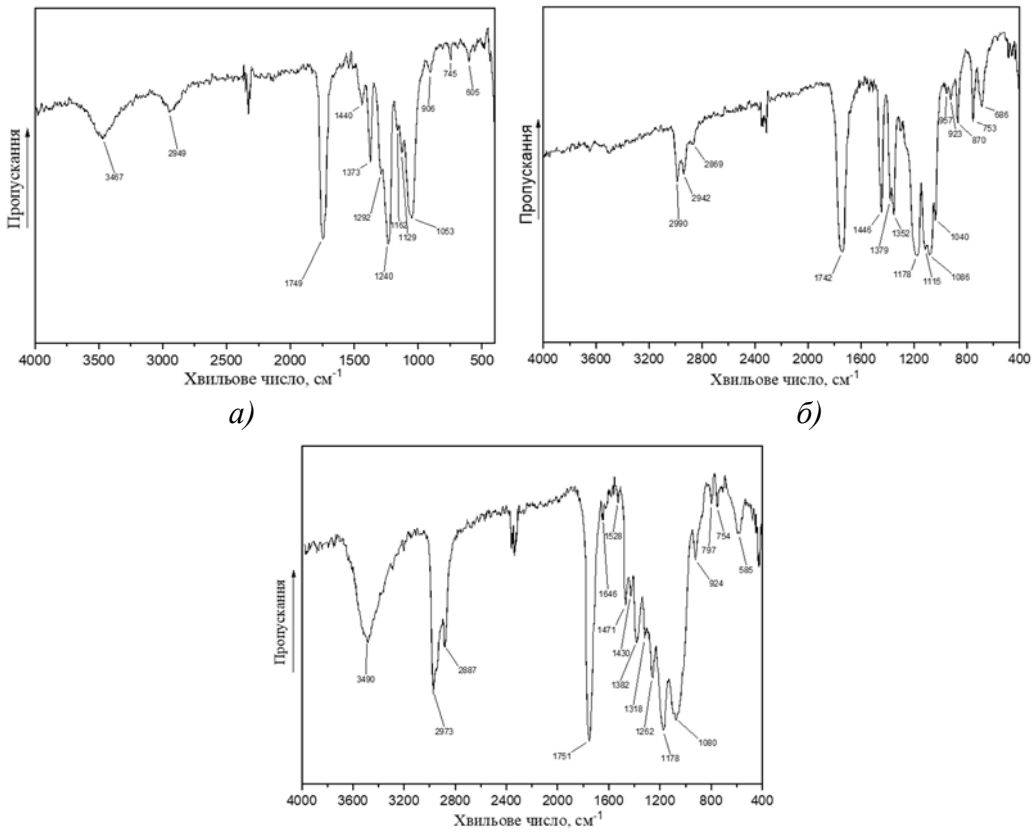
виливалися на предметне скло у кількості 1 мл та розподілялися по поверхні 2.5 · 5 см. Сушіння зразків проходило за звичайних умов – 20 °С, відносна вологість – 50%.

Кути змочування водою визначено методом краплі за допомогою оптичного мікроскопа, цифрової камери. Краплі наносилися на поверхню мікропіпеткою у п'яти різних точках на поверхні зразка.

Основна частина роботи містить дослідження молекулярної структури біополімерів методом ІЧ-спектроскопії, встановлення їх параметрів розчинності за теорією Хансена та обґрунтованим вибором пластифікаторів і розчинників на основі моделювання відповідних сфер розчинності з наступним підтвердженням зниження мінімальної температури плівкоутворення полімеру та оцінкою зміни полярності поверхні.

1. Визначення хімічної структури біополімерів АЦ, ПЛА та АБЦ

Для встановлення хімічної структури хімічних продуктів, що розглянуто в роботі як потенційні біополімери для плівкоутворювачів, одержано їх інфрачервоні спектри (*рис. 1*).



а) *б)*

в)

Рис. 1. ІЧ-спектр на пропускання: *а)* – ацетату целюлози; *б)* – полілактиду; *в)* – ацетатбутирату целюлози

Джерело: власні дослідження авторів.

ІЧ-спектр ацетату целюлози (*рис. 1а*) відображає такі характерні піки. Широкий пік при 3467 $см^{-1}$ свідчить про коливання та розтягування функціональної групи -*OH*, що є результатом присутності вологи у зразку, яка не була повністю видалена. Пік при 2949 $см^{-1}$ вказує на розтягування -*CH*- метильних груп (-CH_3). Високоінтенсивний пік при 1749 $см^{-1}$ пов'язаний із розтягуючими коливаннями карбонільної групи (*C=O*) (*Sudiarti et al.*, 2017). Деформаційні коливання -CH_2- спостерігаються при 1440 $см^{-1}$. Характерні піки антисиметричних розтягуючих коливань *C-O-C* складноефірної групи ацетату целюлози виявляються при 1240 $см^{-1}$. Розтягуючі коливання -*C-OH* чистого ацетату целюлози спостерігаються при 1053 $см^{-1}$. Присутність піка поглинання при 906 $см^{-1}$ пояснюється поєднанням розтягувальних коливань груп -*C-O*- та -CH_2- (*Ibrahim et al.*, 2015).

ІЧ-спектр полілактиду (*рис. 1б*) виявляє такі характерні піки. При хвильовому числі 1740 $см^{-1}$ спостерігається пік розтягування груп *C=O* та пік симетричних коливань зв'язків *C-O* при 1086 $см^{-1}$. Крім того, відзначається наявність піка розтягування *C-O* при 1178 $см^{-1}$, що є характерним для складних ефірів (*Chieng et al*., 2013). Деформаційні асиметричні та симетричні коливання спостерігаються при 1379 та 1446 $см^{-1}$ відповідно. Смуги при 2990 $см^{-1}$ та 2942 $см^{-1}$ відображають розтягування зв'язків *C-H* та -CH_3 (*Singla et al.*, 2012). Виявлено пік високої інтенсивності зв'язку *C=O* при 1745 $см^{-1}$ та характерний для зв'язків C-COO пік на 870 $см^{-1}$ (*Cuiffo et al.*, 2017).

З ІЧ-спектру (*рис. 1в*) виявлено характерні піки для ацетатбутирату целюлози. Наявність гідроксильної групи (-*OH*) підтверджується широким піком при 3490 $см^{-1}$, тоді як піки при 2973 $см^{-1}$ відображають валентні коливання *CH* у метиленовій групі (*Tan et al*., 2020). Інтенсивний карбонільний пік спостерігається при 1751 $см^{-1}$ (*Li et al.*, 2015). Піки близько 1080 $см^{-1}$ і 1262 $см^{-1}$ відповідають аліфатичним групам *C-O-C* у АБЦ. Також пік поглинання, наявний приблизно при 1362 $см^{-1}$, належить до типової ароматичної групи *C-O* у АБЦ (*Elsayed et al.*, 2023).

З ІЧ-спектрів видно, що матеріали є чистими полімерами та не мають у своєму складі домішок у вигляді наповнювачів та інших добавок.

2. Визначення параметрів розчинності Хансена для біополімерів АЦ, ПЛА та АБЦ

З метою одержання вихідної характеристики, яка дасть змогу в подальшому встановити сумісні з полімером пластифікатори і розчинники, визначено координати Хансена і радіус сфери розчинності кожного з полімерів.

Для кожного полімеру встановлено значення параметрів δD, δP, δH та $R0$ за допомогою методу визначення точки осадження. Рідини, які використано для осадження, та їх параметри наведено у *табл. 1*. Ацетат целюлози первинно розчинено у диметилформаміді, полілактид – у тетрагідрофурані, ацетатбутират целюлози – в етилацетаті.

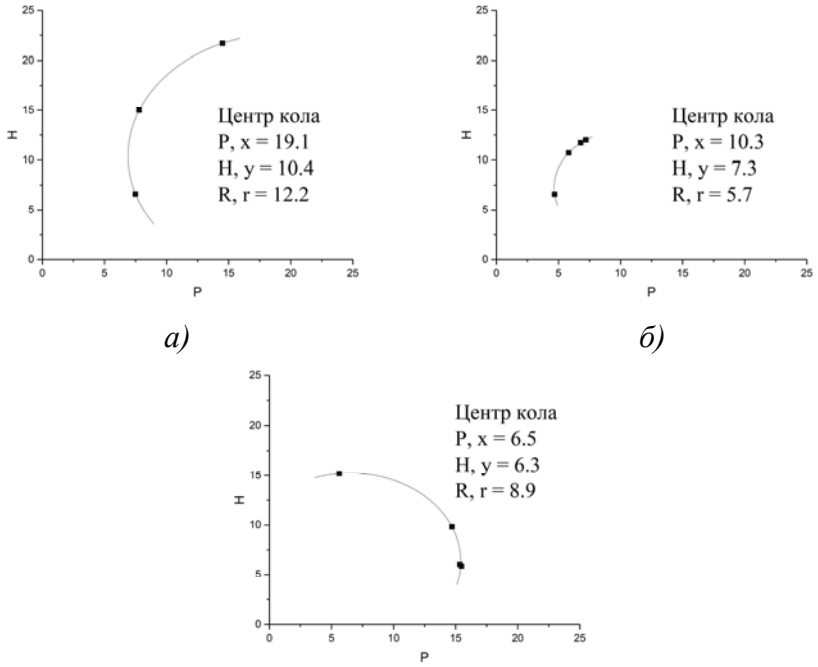
Таблиця 1

Рідини для титрування та їх координати Хансена

Рідина	δ*D*	δ*P*	δ*H*
Вода	16.62	7.26	13.18
Ізопропіловий спирт	16.47	5.83	10.77
Етиленгліколь	16.85	6.98	12.34
Гліцерин	16.90	6.75	11.51
Пропіленгліколь	16.80	6.71	12.16
Гексан	16.46	4.69	6.58
Циклогексан	16.80	3.88	5.51

Джерело: (*Hansen*, 2007).

Отримані координати точки осадження наведені на *рис. 2* та у *табл. 2*. Отримані значення координат Хансена для АЦ є подібними до значень, наведених в інших дослідженнях (*Haas et al.*, 2009; *Nilsson et al.*, 2022), але параметр *δP* є вищим, що може свідчити про наявність добавок, що збільшили полярність. Значення для АБЦ відрізняються за *δH* параметром, хоча змодельовані значення у праці (*Ramanaiah et al*., 2011) збігаються. Значення для ПЛА аналогічно до АЦ мають вишу полярну компоненту (*Esmaeili et al*., 2018).



а) *б)*

в)

Рис. 2. Знаходження координат точки центра кола:
а) – ацетат целюлози, *б)* – полілактид, *в)* – ацетатбутират целюлози

Джерело: розраховано і складено авторами.

Таблиця 2

Рідини для титрування та їх координати Хансена

Полімер	*δD*	*δP*	*δH*
АЦ	17.1	19.1	10.4
ПЛА	17.2	10.3	7.3
АБЦ	17.0	6.5	6.3

Джерело: розраховано авторами.

Параметр *RED* є відношенням *Ra* суміші до *R*0 полімеру, що показує сумісність системи полімер-пластифікатор. Якщо значення *RED*>1, то система є несумісною, якщо *RED*<1 – система полімер-пластифікатор сумісна. У *табл. 3* наведені розраховані значення параметра *RED* для різних пластифікаторів. Як результат, визначено, що сумісними є дибутилфталат та поліетиленгліколь. Однак пластифікатор ДБФ не є біоосновиним, тому не підходить для створення композицій з ним. Для подальших досліджень обрано ПЕГ-400.

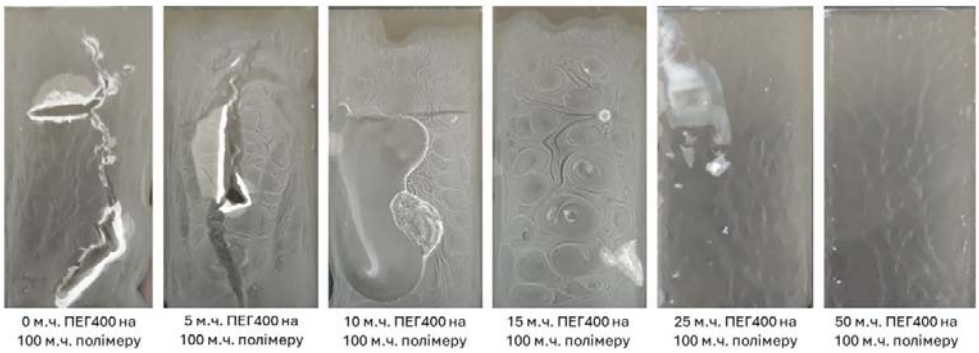
Таблиця 3

Розраховані значення сумісності за параметрами Хансена для полімерів

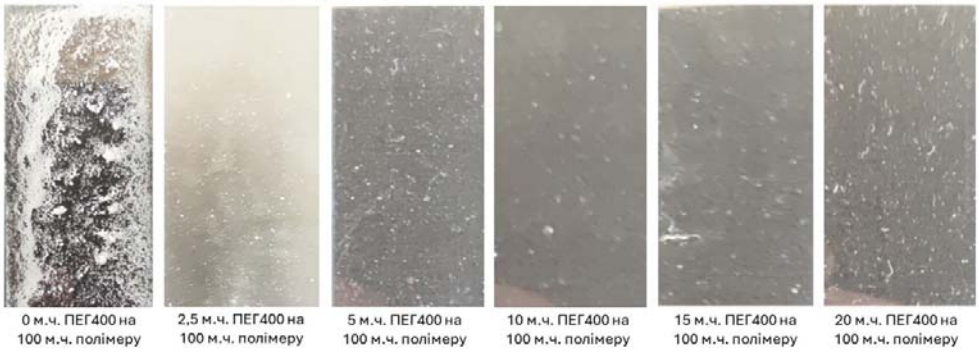
Полімер	ПЛА		АБЦ	
Пластифікатор	*Ra*	*RED*	*Ra*	*RED*
Етилен гліколь	18.8	3.30	20.2	2.27
Гліцерин	22.1	3.88	23.7	2.66
Пропілен гліколь	16.2	2.84	17.3	1.94
Дибутилфталат	3.6	0.64	3.4	0.39
ПЕГ-400	5.6	**0.99**	7.6	**0.85**

Джерело: розраховано авторами.

Отримані покриття ПЛА з різним вмістом пластифікатора (*рис. 3*) мають тріщини при концентраціях до 5 м.ч. ПЕГ. При концентрації 10 м.ч. тріщин немає, але спостерігається незначне розшарування покриття. При концентраціях вище 15 м.ч. ПЕГ-400 покриття не має дефектів.



ПЛА + пластифікатор

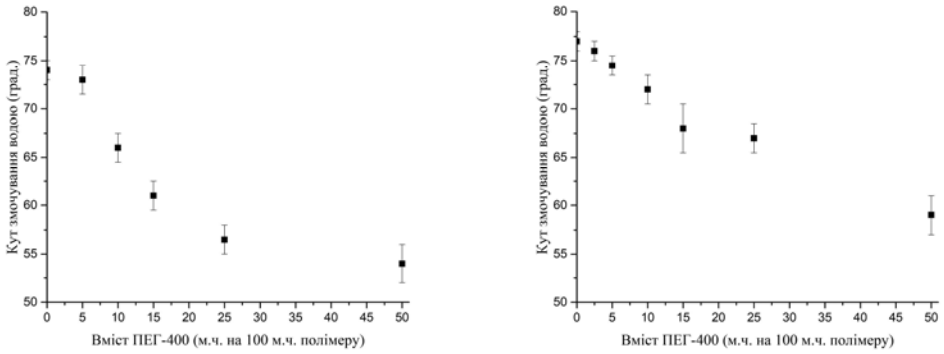


АБЦ + пластифікатор

Рис. 3. Фото поверхонь зразків покриттів з різним вмістом пластифікатора ПЕГ -400

Джерело: власні дослідження авторів.

Кути змочування водою покриттів при додаванні пластифікатора знижуються, але незначно. Введення 15 м.ч. пластифікатора знижує кут змочування до 61° для ПЛА та до 68° для АБЦ, при 74° та 77° для чистих покриттів ПЛА та АБЦ відповідно (*рис. 4*).



а) *б)*

Рис. 4. Кути змочування водою для покриттів:
а) – ПЛА+ПЕГ-400; *б)* – АБЦ+ПЕГ-400

Джерело: розраховано і складено авторами.

Використання пластифікаторів дає змогу утворювати рівномірні покриття з полімерів, які у чистому вигляді здатні до цього. Однак для ПЛА необхідне введення пластифікатора до 15 мас. %, що підвищує полярність поверхні покриття, збільшуючи його гідрофільність.

Висновки

Сформульовану гіпотезу підтверджено, зокрема встановлено координати розчинності вказаних полімерів (17/2; 10/3; 7/3 для *PLA* та 17/0; 6/5; 6/3 для *CAB*), що дало змогу підібрати придатний для обох матеріалів біоосновний пластифікатор – поліетиленгліколь 400. Додавання пластифікатора підвищує поверхневу енергію плівок, обумовлює зменшення їх кута змочування водою при введенні в кількості вище 10 мас. %. Біополімери, а саме полілактид та ацетобутират целюлози, можуть бути використані як плівкоутворювачі лакофарбових систем на основі розчинників, здатних формувати плівку при кімнатній температурі при вмісті пластифікатора вище 10 мас. %.

Перспективами подальших досліджень є встановлення можливості отримання водних дисперсій із розчинів біополімерів, а також підбір наповнювачів (мінеральних та/або біоосновних) та відповідних модифікаторів для забезпечення ефективного поєднання наповнювачів з біополімером плівкоутворювача з метою розроблення складу екологічних водно-дисперсійних фарб. Це надасть можливість отримати лакофарбові покриття з необхідними експлуатаційними властивостями на основі біополімерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCE

Balla, E., Daniilidis, V., Karlioti, G., Kalamas, T., Stefanidou, M., Bikiaris, N. D., Vlachopoulos, A., Koumentakou, I., & Bikiaris, D. N. (2021). Poly(lactic Acid): A Versatile Biobased Polymer for the Future with Multifunctional Properties–From Monomer Synthesis, Polymerization Techniques and Molecular Weight Increase to PLA Applications. *Polymers*, *13*(11), 1822. https://doi.org/10.3390/ polym13111822

Belletti, G., Buoso, S., Ricci, L. B., Guillem-Ortiz, A., Aragón-Gutiérrez, A., Bortolini, O., & Bertoldo, M. (2021). Preparations of Poly(lactic acid) Dispersions in Water for Coating Applications. *Polymers*, *13*(16), 2767. https://doi.org/10.3390/polym13162767

Briassoulis, D., Athanasoulia, I.-G., & Tserotas, P. (2022). PHB/PLA plasticized by olive oil and carvacrol solvent-cast films with optimised ductility and physical ageing stability. *Polymer Degradation and Stability,* (200), 109958. https://doi.org/10.1016/ j.polymdegradstab.2022.109958

Chieng, B. W., Ibrahim, N. A., Yunus, W. M. Z. W., & Hussein, M. Z. (2013). Poly(lactic acid)/Poly(ethylene glycol). Polymer Nanocomposites: Effects of Graphene Nanoplatelets. *Polymers*, *6*(1), 93–104. https://doi.org/ 10.3390/polym6010093

Cramer, J. (2017). The raw materials transition in the Amsterdam Metropolitan Area: Added value for the Economy, Well-Being, and the environment. *Environment*, *59*(3), 14–21. https://doi.org/10.1080/ 00139157.2017.1301167

Cuiffo, M., Snyder, J. E., Elliott, A., Romero, N., Kannan, S., & Halada, G. P. (2017). Impact of the fused deposition (FDM) printing process on polylactic acid (PLA) chemistry and structure. *Applied Sciences*, *7*(6), 579. https://doi.org/10.3390/app7060579

Elnashaie, S. (2020) Water, energy, food and environment. *Water, Energy, Food and Environment*. https://doi.org/10.18576/wefej

Elsayed, K. A., Mahmoud, K. H., Haladu, S. A., Magami, S. M., Manda, A. A., Kayed, T., Baroot, A., Khan, M. Y., Çevik, E., Drmosh, Q., & Elhassan, A. (2023). Thermal, dielectric and optical studies on cellulose acetate butyrate-gold nanocomposite films prepared by laser ablation. *Journal of Materials Research and Technology*, (23), 419–437. https://doi.org/ 10.1016/j.jmrt.2023.01.012

Esmaeili, M., Pircheraghi, G., Bagheri, R., & Altstädt, V. (2018). Poly(lactic acid)/coplasticized thermoplastic starch blend: Effect of plasticizer migration on rheological and mechanical properties. *Polymers for Advanced Technologies*, *30*(4), 839–851. https://doi.org/10.1002/pat.4517

Farsetti, S., Cioni, B., & Lazzeri, A. (2011). Physico-Mechanical properties of biodegradable rubber toughened polymers. *Macromolecular Symposia*, *301*(1), 82–89. https://doi.org/10.1002/masy.201150311

Haas, D., Heinrich, S., & Greil, P. (2009). Solvent control of cellulose acetate nanofibre felt structure produced by electrospinning. *Journal of Materials Science*, *45*(5), 1299–1306. https://doi.org/10.1007/s10853-009-4082-7

Hansen, C. T. (2007). Hansen Solubility Parameters. In *CRC Press* eBooks. https://doi.org/10.1201/ 9781420006834

Ibrahim, M. M., Fahmy, T. Y., Salaheldin, E. I., Mobarak, F., Youssef, M. M., & Mabrook, M. R. (2015). Role of tosyl cellulose acetate as potential carrier for controlled drug release. *Zenodo* (CERN European Organization for Nuclear Research). https://doi.org/10.7537/marslsj121015.16

Khouri, N. G., Bahú, J. O., Blanco-Llamero, C., Severino, P., Concha, V. O. C., & Souto, E. B. (2024). Polylactic acid (PLA): Properties, synthesis, and biomedical applications – A review of the literature. *Journal of Molecular Structure*, (1309), 138243. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138243

Li, L., Luo, X., Leung, P. H., & Law, H. K. W. (2015). Controlled release of borneol from nano-fibrous poly(L-lactic acid)/ cellulose acetate butyrate membrane. *Textile Research Journal*, *86*(11), 1202–1209. https://doi.org/10.1177/0040517515603812

Lin, L., Ledesma-Amaro, R., Ji, X., & Huang, H. (2023). Multienzymatic synthesis of nylon monomers from vegetable oils. *Trends in Biotechnology*, *41*(2), 150–153. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.08.006

Moustafa, H., Kissi, N. E., Abou-Kandil, A. I., Abdel-Aziz, M. S., & Dufresne, A. (2017). PLA/PBAT Bionanocomposites with Antimicrobial Natural Rosin for Green Packaging. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *9*(23), 20132–20141. https://doi.org/10.1021/acsami.7b05557

Nejström, M., Andreasson, B., Sjölund, J., Eivazi, A., Svanedal, I., Edlund, H., & Norgren, M. (2023). On structural and molecular order in cellulose acetate butyrate films. *Polymers*, *15*(9), 2205. https://doi.org/ 10.3390/polym15092205

Nilsson, R., Olsson, M., Westman, G., Matic, A., & Larsson, A. (2022). Screening of hydrogen bonds in modified cellulose acetates with alkyl chain substitutions. *Carbohydrate Polymers*, (285), 119188. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119188

Ramanaiah, S., Rani, P. R., Sreekanth, T., & Reddy, K. S. (2011). Determination of Hansen solubility parameters for the solid surface of cellulose acetate butyrate by inverse gas chromatography. *Journal of Macromolecular Science. Physics*, *50*(3), 551–562. https://doi.org/ 10.1080/00222341003784527

Scaffaro, R., Maio, A., Gulino, E. F., & Micale, G. D. M. (2020). PLA-based functionally graded laminates for tunable controlled release of carvacrol obtained by combining electrospinning with solvent casting. *Reactive and Functional Polymers/Reactive & Functional Polymers*, (148), 104490. https://doi.org/10.1016/ j.reactfunctpolym.2020.104490

Singla, P., Mehta, R., Berek, D., & Upadhyay, S. (2012). Microwave Assisted Synthesis of Poly(lactic acid) and its Characterization using Size Exclusion Chromatography. Journal of Macromolecular Science. *Pure and Applied Chemistry/Journal of Macromolecular Science. Part a. Pure & Applied Chemistry*, *49*(11), 963–970. https://doi.org/10.1080/10601325.2012.722858

Sudiarti, T., Wahyuningrum, D., Bundjali, B., & Arcana, I. M. (2017). Mechanical strength and ionic conductivity of polymer electrolyte membranes prepared from cellulose acetate-lithium perchlorate. IOP Conference Series. *Materials Science and Engineering,* (223), 012052. https://doi.org/10.1088/1757-899x/223/1/012052

Tan, H., Kai, D., Pasbakhsh, P., Teow, S., Lim, Y. Y., & Pushpamalar, J. (2020). Electrospun cellulose acetate butyrate/polyethylene glycol (CAB/PEG) composite nanofibers: A potential scaffold for tissue engineering. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*, (188), 110713. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110713

Undavalli, V. K., Ling, C., & Khandelwal, B. (2021). Impact of alternative fuels and properties on elastomer compatibility. *Elsevier eBooks* (pp. 113–132). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818314-4.00001-7

Wang, X., Chen, K., Liu, Y., He, R., & Wang, Q. (2023). Preparation and application of biodegradable and superhydrophobic polylactic acid/carnauba wax coating. *Progress in Organic Coatings*, (177), 107434. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107434

Yadav, N., & Hakkarainen, M. (2021). Degradable or not? Cellulose acetate as a model for complicated interplay between structure, environment and degradation. *Chemosphere*, (265), 128731. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128731

Караваєв Т. А. (2014). Гідрофобність покриттів з водно-дисперсійних фарб та способи її підвищення. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, (2), 106–112.

Karavayev T. A. (2014). Hydrophobicity of coatings made of water-dispersion paints and ways to increase it. *Bulletin of the Cherkasy State Technological University*, (2), 106–112.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що вони не мають фінансових чи нефінансових конфліктів інтересів щодо цієї публікації; не мають відносин із державними органами, комерційними або некомерційними організаціями, які могли б бути зацікавлені у поданні цієї точки зору. З огляду на те, що автори працюють в установі, яка є видавцем журналу, що може зумовити потенційний конфлікт або підозру в упередженості, остаточне рішення про публікацію цієї статті (включно з вибором рецензентів та редакторів) приймалося тими членами редколегії, які не пов'язані з цією установою.

Автори не отримували прямого фінансування для цього дослідження

Внесок авторів є рівнозначним.

Караваєв Т., Домашевський М. Біополімери для плівкоутворення лакофарбових покриттів. *Міжнародний науково-практичний журнал "Товари і ринки"*. 2024. № 3 (51). С. 104–115. https://doi.org/10.31617/2.2024(51)07

Надійшла до редакції 24.05.2024.
Отримано після доопрацювання 05.06.2024.
Прийнято до друку 13.06.2024.
Публікація онлайн 16.09.2024.