



<https://doi.org/10.15407/polymerj.46.02.119>
UDC 541.64:678.02

LIUDMYLA ROBOTA* (ORCID: 0000-0001-5463-4816), **OLENA AKHRANOVYCH**** (ORCID: 0000-0002-5112-2329), **OLEKSANDRA BRYKOVA** (ORCID: 0000-0003-1652-9323), **OLEKSII HONCHAR** (ORCID: 0000-0001-8356-9283), **YURIИ SAVELIEV** (ORCID: 0000-0003-3356-9087)

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine, 48 Kharkivske Highway, Kyiv 02155, Ukraine,

*e-mail: L49robota@gmail.com,

**e-mail: elena_akh@ukr.net

POLYURETHANES BASED ON MODIFIED HEMP OIL

Polyurethane materials of different composition and structure were prepared using diisocyanates of different nature, native and functionalized vegetable oils. Hydroxylated derivatives of hemp oil, namely lineoyl diethanolamide (LDEA), whose structure was confirmed by IR spectroscopic studies, were obtained by amidation of hemp oil with diethanolamine. LDEA is used as an isocyanate extender of functionalized castor oil with the formation of film-forming materials (content of components of naturally renewable origin up to 70%). A decrease in the strength characteristics of synthesized polyurethanes from 31 to 18.8 MPa and an increase in their elasticity is due to the presence of the fatty acid fragment in LDEA. The content of LDEA (internal plasticizer) can be a factor in regulating the level of strength-elastic properties, and its presence in the composition of polyurethane contributes to increased resistance in an acidic environment. Analogues of the specified material were prepared using diethanolamine as an extender. Aggregatively stable (more than 12 months) film-forming aqueous polyurethane dispersions containing LDEA (10 and 20 wt.% in the composition of oligomeric diols) were prepared. The size of their dispersed phase is 460–328 nm, which decreases with increasing LDEA content. The breaking strength indicators of film materials obtained based on IPU increase with the increase of LDEA content from 4.76 MPa to 5.86 MPa, respectively, and the relative elongation decreases from 469 to 430% with the content of LDEA 6.8 and 13.5 wt.%, respectively. Since the weight loss in alkaline and acidic environments decreases with increasing content of lineoyl diethanolamide in the dispersion, its presence in the composition of anionic polyurethanes is a factor in increasing their stability in aggressive environments.

Keywords: hemp oil, castor oil, amidation, lineoyl diethanolamide, polyurethanes, anionic aqueous dispersion.

УДК 541.64:678.02

Людмила Робота*, Олена Ахранович**, Олександра Брыкова, Олексій Гончар, Юрій Савельєв
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 48, Харківське шосе, Київ, 02155, Україна,

*e-mail: L49robota@gmail.com,

**e-mail: elena_akh@ukr.net

ПОЛІУРЕТАНИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОЇ КОНОПЛЯНОЇ ОЛІЇ

Створено поліуретанові матеріали різного складу й будови з використанням діізоціанатів різної природи, нативних і функціоналізованих рослинних олій. Шляхом амідування конопляної олії діетаноламіном отримано гідроксилвмісні похідні конопляної олії, а саме N,N-діетаноламід лінолеат (ДЕАЖКО), будову якого підтверджено ІЧ-спектроскопічним дослідженням. ДЕАЖКО використано як подовжувач ізоціанат функціоналізованої

Цитування: Robota Liudmyla, Akhranovych Olena, Brykova Oleksandra, Honchar Oleksii, Saveliev Yurii. Polyurethanes based on modified hemp oil. Polimernyi Zhurnal. 2024. 46, no. 2: 119–126. <https://doi.org/10.15407/polymerj.46.02.119>

© Publisher PH “Akadempriodyka” of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons CC BY-NC-ND licence

рицинової олії з утворенням плівкотвірних матеріалів (вміст складників природно відновлюваного походження до 70 %). Зниження міцнісних характеристик синтезованих поліуретанів з 31 до 18,8 МПа та підвищення їх еластичності зумовлено наявністю жирнокислотного фрагмента ДЕАЖКО. Наявність у складі поліуретану ДЕАЖКО сприяє підвищенню стійкості в кислому середовищі, а чинником регулювання рівня міцнісних та еластичних властивостей є його вміст як внутрішнього пластифікатора. Синтезовано аналоги вказаного матеріалу при використанні діетаноламіну як подовжувача.

Отримано агрегативно стійкі (понад 12 місяців) плівкотвірні водні поліуретанові дисперсії, що містять ДЕАЖКО (10 і 20 мас. % у складі олігомерних діолів). Розмір дисперсної фази становить 460–328 нм і зменшується зі збільшенням вмісту ДЕАЖКО. Показники міцності при розриві плівкових матеріалів, отриманих на основі ППУ, зростають зі збільшенням вмісту ДЕАЖКО з 4,76 до 5,86 МПа, а відносно подовження знижується з 469 до 430 % за вмісту ДЕАЖКО 6,8 і 13,5 мас. % відповідно.

Оскільки зі збільшенням вмісту *N,N*-діетаноламід лінолеату в складі дисперсії рівень втрати ваги в лужному та кислому середовищах знижується, введення його до складу аніоноактивних поліуретанів є способом підвищення їх стійкості в агресивних середовищах.

Ключові слова: конопляна олія, рицинова олія, амідкування, *N,N*-діетаноламід-лінолеат, поліуретани, аніоноактивна водна дисперсія.

Вступ

Природно відновлювана сировина є альтернативною високовартісним складникам нафтохімічного походження, виробництво яких потребує використання енерговитратних технологій і супроводжується викидом в атмосферу значної кількості парникових газів. Тому дослідження, спрямовані на зниження залежності від викопної невідновлюваної вуглеводневої сировини та імпортованої сировини при створенні полімерних матеріалів, зумовлюють зацікавленість дослідників до розробок у цьому напрямі [1–3]. Протягом останніх десятиліть для створення нових полімерів дедалі частіше залучають біоресурси [4]. При синтезі поліуретанів використовують рослинні олії [5], жирні кислоти [6, 7], вуглеводи [8], крохмаль [9], целюлозу [10], полісахариди [11] і багато інших продуктів рослинного походження.

Високі ціни на нафтовому ринку, низька вартість рослинних олій і переваги матеріалів, створених на їх основі – біодеградабельність, нетоксичність, біосумісність, гідрофобність – зумовлюють можливість їх використання у хімічних технологіях різних галузей [12].

Рослинні олії використовують для створення водостійких покриттів, адгезивів, [13], фарб і лаків [14, 15], для отримання біосумісних матеріалів [16–18]. Актуальним напрямом сучасних досліджень у полімерній хімії є створення на основі рослинних олій нових олігомерів і мономерів як складників полімерних композитів [19, 20].

Універсальними матеріалами, які широко використовуються в різноманітних галузях, є поліуретани й поліуретанові дисперсії на водній основі. Блокова будова поліуретанів і легкість варіювання складом особливостей будови зумовлюють створення матеріалів з широким діапазоном властивостей. Оскільки частка поліолів нафтохімічного походження в поліуретанових матеріалах становить близько 45–55 %, актуальне використання доступної рицинової олії як поліольної сировини, яка має у своєму складі гідроксильні групи і може використовуватись у нативному вигляді [21]. Тому розробки щодо модифікування рослинних олій і створення реакційноздатних складників на їх основі для синтезу поліуретанових матеріалів і водних дисперсій є на часі.

Метою нашого дослідження є амідкування конопляної олії та використання її похідного *N,N*-діетаноламід лінолеату і рицинової олії як гідроксильних складників для синтезу поліуретанових матеріалів і дослідження їхніх властивостей.

Експериментальна частина

Матеріали. Конопляна олія (КО) пресована нерафінована: кислотне число, мг КОН, не більше 2,3; йодне число, г/100, не більше 145; рицинова олія (РО) (Індія): кислотне число 1,59; число омилення 180,48; йодне число 84,9 (дані виробника); діетаноламін, хч (ДЕА) (Sigma-Aldrich); триетиламін, хч (ТЕА) (Merck); 2,4(2,6)-толуїлендіізоціанат 80:20

(Sigma-Aldrich). Для синтезу водних поліуретанових дисперсій використано поліокситетраметиленгліколь (ПФ) молекулярної маси 1000 (Merck), диметилпропіонову кислоту (Sigma-Aldrich), дистильовану воду. Як розчинники використовували тетрагідрофуран (Китай), хлористий метилен (Китай) та ацетон (чда) (ПП»ТЕХПРОМЗБУТ», Україна) очищені та свіжоперегнані.

Допоміжні речовини: калі їдке (хч), сульфат магнію (хч), натрій хлористий (ч).

Синтез діетаноламідів жирних кислот конопляної олії (ДЕАЖКО)

Синтез ДЕАЖКО проводили при взаємодії конопляної олії з надлишком діетаноламіну (ДЕА) в середовищі тетрагідрофурану (ТГФ) за наявності гідроксиду калію (КОН) як каталізатора за температури 40–45 °С протягом 13–14 год. У результаті реакції утворювалася суміш ДЕАЖКО, де побічним продуктом є гліцерин.

Виділення ДЕАЖКО й видалення гідроксиду калію та гліцерину проводили шляхом розведення реакційної суміші в хлористому метилені з подальшим чотири- чи п'ятиразовим промиванням 5 %-вим водним розчином NaCl. Після промивання продукт сушили безводним сульфатом магнію і відганяли розчинник у вакуумі з утворенням чистого маслянистого продукту.

Синтез поліуретанів (ПУ) на основі функціоналізованої конопляної олії

Синтез ПУ з використанням функціоналізованої конопляної олії здійснювали в дві стадії. На першій стадії синтезували форполімер взаємодією рицинової олії (РО) з толуїлендіізоціанатом (ТДІ). На другій стадії отриманий форполімер в ацетоновому розчині подовжували ДЕАЖКО за мольного співвідношення 1,0:1,5 (ПУ/ДЕАЖКО). З метою дослідження впливу жирнокислотних фрагментів ДЕАЖКО на властивості ПУ діізоціанатрициноленолеат було подовжено діетаноламіном за мольного співвідношення 1:1; 1,0:1,5 (ПУ/ДЕА) та еквімолярною сумішшю ДЕАЖКО з ДЕА за мольного співвідношення 1,0:0,7:0,7 (ПУ/ДЕАЖКО/ДЕА). Полімерні плівки формували за кімнатної температури на тефлонових підкладках з подальшим сушінням у термошафі за 60–65 °С, затим у вакуумній сушильній шафі за тієї ж температури до сталої ваги.

Синтез іономерних поліуретанів (ШУ) на основі функціоналізованої конопляної олії

Для отримання водних поліуретанових дисперсій як поліольну складову ми використали суміш ДЕАЖКО з поліокситетраметиленгліколем (ПФ-1000) за масового співвідношення компонентів 10:90 і 20:80, діізоціанатною складовою слугував гексаметилендіізоціанат. На другій стадії синтезу отриманий макродіізоціанат послідовно подовжували диметилпропіоновою кислотою (ДМПК) і водою. Карбоксильні групи фрагментів ДМПК переводили в сольову форму дією триетиламіну (ТЕА). Отриманий розчин диспергували у воді з подальшим видаленням ацетону. Методом обернення фаз були отримані опалесцентні дисперсії, на основі яких формували полімерні плівки за кімнатної температури на тефлонових підкладках з подальшим висушуванням у термошафі за T= 60–65 °С, затим у вакуумній сушильній шафі за тієї ж температури до сталої ваги.

Методи дослідження

ІЧ-спектри були зняті на ІЧ-Фур'є-спектрометрі Tensor-37 (Bruker, Німеччина) в діапазоні 500–4000 см⁻¹ методом БППВВ.

Водопоглинання вимірювали шляхом занурення попередньо зважених сухих плівок у воду на 24 год, після чого видаляли надлишок води фільтрувальним папером і зважували зразки.

Водопоглинання (W , ваг. %) обчислювали за формулою:

$$W (\%) = [(W_w - W_d) / W_d] 100 \%,$$

де: W_w і W_d – вага плівок у вологому й сухому стані відповідно.

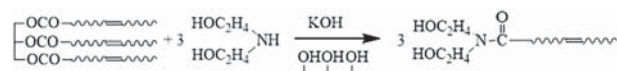
Руйнівну напругу при розтягуванні (σ) та відносне подовження в момент розриву (ϵ) вимірювали за стандартною методикою на розривній машині FU-1000 (Німеччина).

Для дослідження процесів гідролітичної деструкції в кислому та лужному середовищах синтезовані ПУ відомої ваги занурювали в 0,1 н розчин хлоридної кислоти та калій гідроксиду, які витримували в термостаті за температури 36–37 °С протягом 30 днів. Затим зразки висушували до сталої ваги і виконували контрольне зважування.

Середній розмір частинок ($r_{\text{ср}}$) дисперсної фази визначали дослідженням спектра каламутності на фотоелектроколориметрі ФЕК-56М.

Результати дослідження та їх обговорення

Шляхом амідуювання конопляної олії отримано гідроксилвмісні похідні (ДЕАЖКО), а саме *N,N*-діетаноламід лінолеат (назва за найбільшим вмістом лінолевої кислоти в складі тригліцериду конопляної олії), схема синтезу якої може бути подана таким чином:



Підтвердженням належності отриманого продукту до класу амідів є результати порівняльного ІЧ-спектроскопічного дослідження особливостей його будови з будовою вихідних речовин (рис.1). В ІЧ-спектрі ДЕАЖКО в результаті амідуювання з'явилися нові характеристичні смуги.

В ІЧ-спектрі отриманого продукту (рис. 1, спектр 1) фіксується інтенсивна смуга за 1620 см^{-1} , яка може свідчити про утворення амиду (третинного амиду). Характеристичною для третинних амідів є смуга валентних коливань Амід І в інтервалі частот $1630\text{--}1670 \text{ см}^{-1}$ [22]. Розміщення цієї смуги в отриманому ДЕАЖКО за нижчих частот може свідчити про внутрішньо- та міжмолекулярну асоціацію карбонільних груп.

Про повну амідізацію тригліцеридів конопляної олії свідчить відсутність у продукті реакції характеристичних смуг естерних фрагментів $\nu(\text{C}=\text{O})$ в діапазоні $1735\text{--}1750 \text{ см}^{-1}$. В ІЧ-спектрі конопляної олії ці смуги спостері-

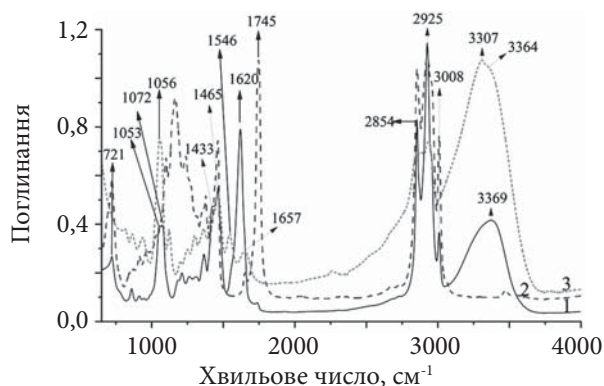


Рис. 1. ІЧ-спектри третинного амиду та вихідних речовин: *N,N*-ДЕАЛ (1); КО (2) та ДЕА (3)

гаються за 1745 см^{-1} (рис.1, спектр 2).

Амідуювання конопляної олії підтверджено також відсутністю в ДЕАЖКО характеристичних смуг вторинних амінів, наявних у діетаноламіні, які трансформувалися в амідні групи. Характеристичною смугою вторинних амінів є смуга валентних коливань N-H у діапазоні $3300\text{--}3500 \text{ см}^{-1}$, які проявляються в ІЧ-спектрі ДЕА широкою смугою з максимумом за 3307 см^{-1} та слабкими смугами деформаційних коливань δ_{NH} -груп за 1657 і 1546 см^{-1} асоційованих та неасоційованих водневими зв'язками відповідно (рис. 1, спектр 3).

Широка смуга середньої інтенсивності в ІЧ-спектрі ДЕАЖКО (рис. 1, спектр 1) в інтервалі частот $3200\text{--}3500 \text{ см}^{-1}$ з максимумом за 3369 см^{-1} може відповідати валентним коливанням внутрішньо- та міжмолекулярно асоційованих OH -груп отриманих жирнокислотних діолів, максимум яких у діетаноламіні спостерігається за 3364 см^{-1} на високочастотному плечі його характеристичної аміно-спиртової широкої смуги. Смуги за 1053 і 1072 см^{-1} , ймовірно, відповідають валентним коливанням C-O первинних OH -груп отриманого амиду.

Отже шляхом трансамідуювання конопляної олії діетаноламіном отримано суміш діолів – *N,N*-діетаноламідів жирних кислот з переважним вмістом *N,N*-діетаноламід лінолеату, оскільки лінолева кислота ($36\text{--}50 \text{ мас. \%}$), порівняно з пальмітиною ($5,8\text{--}9,9 \text{ мас. \%}$), стеариною ($1,7\text{--}5,6 \text{ мас. \%}$), олеїною ($6\text{--}16 \text{ мас. \%}$) і ліноленою ($15\text{--}28 \text{ мас. \%}$) кислотами, має найвищий вміст у складі конопляної олії.

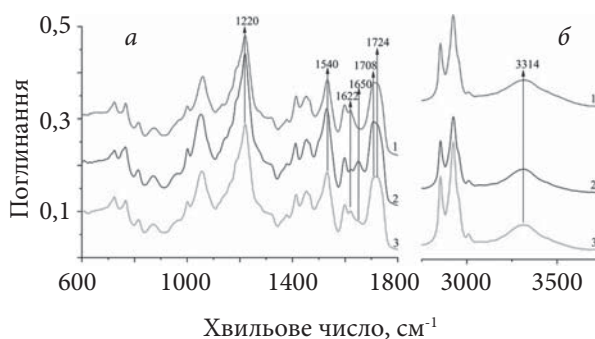
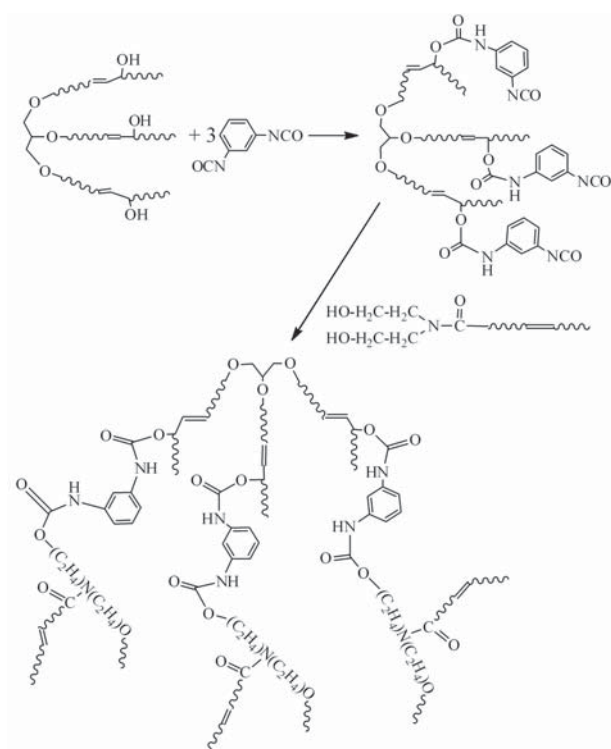


Рис. 2. ІЧ-спектри досліджуваних поліуретанів у діапазоні хвильових чисел $600\text{--}1800 \text{ см}^{-1}$ (а) та $2800\text{--}3750 \text{ см}^{-1}$ (б): 1 – РО/ТДІ/ДЕАЖКО; 2 – РО/ТДІ/ДЕА та 3 – РО/ТДІ/ДЕА/ДЕАЖКО

ДЕАЖКО, ДЕА та їх суміші використано як подовжувачі форполімерного діізоціанатного прекурсора, отриманого на основі рицинової олії як тріольного складника, що супроводжувалось утворенням плівкотвірного матеріалу.

Схему синтезу поліуретану наведено нижче:



Будову отриманих зразків плівкових поліуретанових матеріалів досліджено методом ІЧ-спектроскопії.

На рис. 2 подані ІЧ-спектри ПУ на основі функціоналізованої конопляної олії та ДЕА.

В ІЧ-спектрах отриманих ПУ наявні всі характеристичні смуги структурних груп: це валентні коливання $\nu(\text{C}=\text{O})$ уретанових груп за 1724 та 1708 cm^{-1} , валентні коливання $\text{C}-\text{O}$ уретанової групи за 1220 cm^{-1} , валентні коливання $\nu(\text{NH})_{\text{асоц}}$ -груп із максимумом за 3314 cm^{-1} ,

деформаційні коливання NH -груп за 1540 cm^{-1} , вільних від водневих зв'язків. Поглинання в ділянці 1650 cm^{-1} може характеризувати вільні та асоційовані водневими зв'язками валентні коливання Амід І третинних амідів (у складі як ДЕАЖКО, так і сечовинних карбонілів унаслідок участі вторинного аміну ДЕА в уретаноутворенні), а також δ_{NH} асоційованих вторинних аміногруп діетаноламіну.

Властивості отриманих ПУ плівок наведено в табл. 1.

Як видно з таблиці, міцність при розриві ПУ на основі ДЕАЖКО (ПУ/ДЕАЖКО), порівняно з ПУ/ДЕА, за однакового мольного вмісту подовжувачів у півтора раза менша при збільшенні подовження при розриві на 60 %, що вказує на пластифікуючий вплив жирнокислотного фрагмента ДЕАЖКО. Вміст у складі ПУ суміші подовжувачів ДЕА:ДЕАЖКО (1:1 моль) також супроводжується зниженням міцності при розриві при підвищенні еластичності.

Порівняння властивостей ПУ/ДЕА за мольного співвідношення діізоціанатний прекурсор:подовжувач 1,0:1,5 і 1:1 свідчить про підвищення міцнісних властивостей при зниженні еластичності й водопоглинання у зразку РО/ТДІ/ДЕА, де в поліуретаноутворенні беруть участь спиртові гідроксильні групи та вторинні аміногрупи ДЕА, що може зумовлювати утворення просторової будови порівняно з імовірно лінійною будовою його аналога, отриманого за співвідношення компонентів 1,0:1,5.

Рівень водопоглинання ПУ, що містить ДЕАЖКО як подовжувач, зростає як порівняно з ПУ/ДЕА, так і порівняно з ПУ, де використано суміш ДЕА-ДЕАЖКО, що може бути причиною порушення будови та зниження рівня

Таблиця 1. Склад і фізико-механічні властивості ПУ плівок

Склад зразків	Мольне співвідношення компонентів	Вміст природно відновлюваних складників, %	σ , МПа	ϵ , %	W, 24 год, %	Гідроліз КОН/НСІ, % втрати ваги за 30 діб
РО/ТДІ/ДЕАЖКО	1:3:1,5	67,8	18,8	160	5,6	0,9/0,0
РО/ТДІ/ДЕА	1:3:1,5	58,1	29,6	101	1,1	0,5/0,5
РО/ТДІ/ДЕА	1:3:1	59,4	31,0	89	0,6	0,6/0,4
РО/ТДІ/ДЕА/ДЕАЖКО	1:3:0,7:0,7	70,3	4,5	272	2,6	0/0

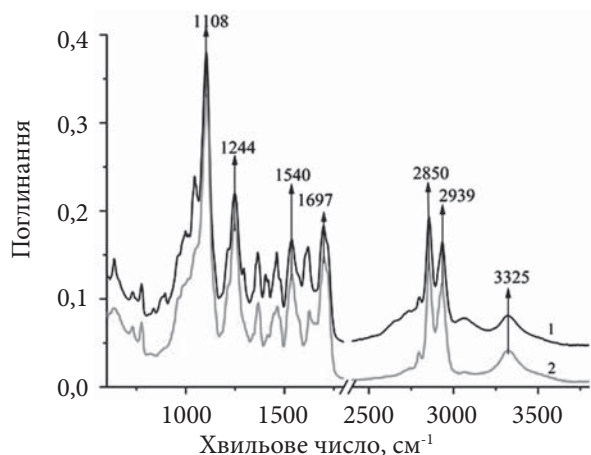


Рис. 3. ІЧ-спектри ВДПУ за різного вмісту ДЕАЖКО: 1 – ПУ з 10 мас. % ДЕАЖКО та 2 – ПУ з 20 мас. % ДЕАЖКО

внутрішньо- й міжмолекулярної взаємодії полярних фрагментів макромолекули шляхом їх екранування жирнокислотними фрагментами ДЕАЖКО.

Аналогічну залежність від вмісту ДЕАЖКО в складі ПУ має лужний гідроліз, показники якого зростають в 1,5–1,8 раза порівняно з ПУ/ДЕА, тоді як у кислому середовищі вміст ДЕАЖКО зумовлює стійкість отриманих ПУ. При використанні суміші подовжувачів ПУ має високу стійкість щодо кисло-лужного гідролізу та протягом місяця не втрачає вагу.

Ми використали ДЕАЖКО в синтезі іономерних поліуретанів у складі сумішевого поліолу 10 і 20 мас. % від вмісту поліокситетраметиленгліколю-1000. Досліджено колоїдно-хімічні властивості синтезованих водних ППУ дисперсій і фізико-хімічні характеристики плівкових матеріалів на їх основі, водопоглинання та стійкість до лужно-кислотного гідролізу. Будову отриманих зразків плівкових ППУ вивчали методом ІЧ-спектроскопії.

На рис. 3 подані ІЧ-спектри ППУ на основі гідроксифункціоналізованої конопляної олії.

Для синтезованих ППУ спостерігаються всі характеристичні смуги поліуретанів: валентні коливання $\nu(\text{C}=\text{O})$ уретанових груп в оточенні діольних складників (оліготетраетиленгліколю, ДЕАЖКО та ДМПК) за частоти 1698–1701 cm^{-1} , що може вказувати на їх водневе асоціювання, асиметричні валентні коливання $\nu(\text{C}-\text{O})$ уретанової групи 1244 cm^{-1} і симетричні $\nu(\text{C}-\text{O}-\text{C})$ за 1108 cm^{-1} , валентні коливання $\nu(\text{NH})_{\text{асоц}}$ груп із максимумом за 3325 cm^{-1} , деформаційні $\delta(\text{NH})_{\text{вільн}}$ за 1540 cm^{-1} . Поглинання за 2939 і 2850 cm^{-1} належить до асиметричних і симетричних валентних коливань $\text{C}-\text{H}$ CH_2 і CH_3 -груп.

Колоїдно-хімічні властивості дисперсій та фізико-механічні властивості N,N-діетаноламід лінолеатвмісних плівкових матеріалів наведено в табл. 2.

Створені дисперсії, що містять у своєму складі гідроксилвмісні похідні конопляної олії, характеризуються агрегативною стійкістю понад 12 місяців, розмір їх дисперсної фази залежить від вмісту похідного олії. Так розмір дисперсної фази ППУ зменшується з 460 до 328 нм при збільшенні вмісту ДЕАЖКО. Показники міцності при розриві зростають при цьому з 4,76 до 5,86 МПа відповідно, а відносне подовження знижується з 469 до 430 %; водопоглинання зростає, тоді як рівень втрати ваги в лужному й кислому середовищах знижується.

Висновки

Створено поліуретанові матеріали різного складу й будови з використанням функціоналізованих і нативних рослинних олій та дізоціанатів різної природи. N,N-діетаноламід лінолеат (ДЕАЖКО) отримано шляхом амідування конопляної олії, його будову підтверджено ІЧ-спектроскопічним дослідженням.

Таблиця 2. Вміст і фізико-механічні властивості ППУ дисперсій та плівок

Співвідношення ПОТМГ/ДЕАЖКО, мас. %	Вміст природних сполук, мас. %	Агрегативна стійкість міс.	Властивості				
			$r_{\text{сер}}$, нм	σ , МПа	ϵ , %	W 24 год, %	Гідроліз КОН/НСІ, втрата маси, %
90/10	6,80	> 12	460	4,76	469	5,2	10,0 / 4,3
80/20	13,50	> 12	328	5,86	430	14,1	7,0 / 2,2

Поліуретанові матеріали синтезовано в органічному розчиннику подовженням ізоціанат-функціоналізованої рицинової олії ДЕАЖКО. Міцність при розриві досліджуваних поліуретанів становить 18,8 МПа. ДЕАЖКО, завдяки жирнокислотному фрагменту, є внутрішнім пластифікатором, його наявність у складі поліуретану може бути чинником регулювання рівня міцнісних й еластичних властивостей та сприяє підвищенню стійкості в кислому середовищі.

Вміст складників природно відновлюваного походження створених поліуретанів сягає 70 %.

Створено плівкотвірні водні поліуретанові дисперсії, що містять у своєму складі ДЕАЖКО. Водні поліуретанові дисперсії на основі ДЕАЖКО агрегативно стійкі (понад 12 місяців). Розмір дисперсної фази зменшується з 460 до 328 нм при збільшенні вмісту ДЕАЖКО. Міцність при розриві плівкових матеріалів при збільшенні вмісту ДЕАЖКО від 6,8 до 13,5 мас. % підвищується від 4,76 до 5,86 МПа при відносному подовженні 469 і 430 %, відповідно; зростає й їхня стійкість у кислих і лужних середовищах.

REFERENCES

1. Desroches M., Escouvois M., Auvergne R. et al. From vegetable oils to polyurethanes: synthetic routes to polyols and main industrial products. *Polym.Rev.*, 2012, 52: 38–79. doi.org/10.1080/15583724.2011.640443.
2. Sharmin E., Zafar F., Akram D. et al. Recent advances in vegetable oils based environment friendly coatings: a review *Ind. Crops Prod.*, 2015, 76: 215–229. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.022.
3. Paraskar P. M., Prabhudesai M. S., Hatkar V. M., Kulkarni R. D. Vegetable oil based polyurethane coatings – A sustainable approach: A review. *Progress in Organic Coatings*, 2021, 156: 106267–106285. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106267.
4. Papageorgiou George Z. Thinking Green: Sustainable Polymers from Renewable Resources. *Polymers*, 2018, 10: 952–957. https://doi.org/10.3390/polym10090952.
5. Liang H., Feng Y., Lu J., Liu L., Yang Z., Luo Y., et al. Bio-based cationic waterborne polyurethanes dispersions prepared from different vegetable oils. *Industrial Crops and Products*, 2018, 122: 448–455. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.006.
6. Gultekin G., Atalay-Oral C., Erkal S., Sahin F., Karastova D., Tantekin-Ersolmaz S. B., Guner F. S. Fatty acid-based polyurethane films for wound dressing applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2009, 20: 421–431. https://doi.org/10.1007/s10856-008-3572-5.
7. Paraskar P. M., Kulkarni R. D. Synthesis of isostearic acid/dimer fatty acid-based polyesteramide polyol for the development of green polyurethane coatings. *Journal of Polymers and the Environment*, 2021, 29, 54–70. https://doi.org/10.1007/s10924-020-01849-x.
8. Kovács, E., Turczel, G., Szabó, L., Varga, R., Tóth, I., Anastas, P. T., Tuba, R. Synthesis of 1, 6-Hexandiol, polyurethane monomer derivatives via isomerization metathesis of methyl linolenate. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2017, 5(12), 11215–11220. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03309.
9. Gómez-Jiménez-Aberasturi O., Ochoa-Gómez J. R. New approaches to producing polyols from biomass. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2017, 92(4): 705–711. https://doi.org/10.1002/jctb.5149.
10. Zuber M., Shah S.A.A., Jamil T. et al. Performance behavior of modified cellulosic fabrics using polyurethane acrylate copolymer *Int. J. Biol. Macromol.*, 2014, 67: 254–259. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.03.021.
11. Wang Y., Deng L., Fan Y. Preparation of soy-based adhesive enhanced by waterborne polyurethane: optimization by response surface methodology *Hindawi Adv. Mater. Sci. Eng.*, 2018(1):9253670. https://doi.org/10.1155/2018/9253670.
12. Xia Y., Larock R. C. Vegetable oil-based polymeric materials: Synthesis, properties, and applications *Green Chemistry*, 2010, 12: 1893–1909. https://doi.org/10.1039/C0GC00264J.
13. Tsujimoto T., Uyama H., Kobayashi S. et al. Green Nanocomposites from Renewable Plant Oils and Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes. *Metals*, 2015, 5: 1136–1147.
14. Samadzadeh M., Boura S. H., Peikari M. et al. Tung oil: an autonomous repairing agent for self-healing epoxy coatings *Progress in Organic Coatings.*, 2011, 7(4): 383–387. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.08.017.
15. Moreno M., Lampard C., Williams N., Lago E., Emmett S., Goikoetxea, M., Barandiaran M. J. Eco-paints from bio-based fatty acid derivative latexes. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 81: 101–106. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.01.001.
16. Adekunle K.F. Review of Vegetable Oil-Based Polymers: Synthesis and Applications *Journal of Polymer Chemistry*,

- 2015, 5: 34–40. <http://doi.org/10.4236/ojpchem.2015.53004>.
17. Williams C. K., Hillmyer M. A. Polymers from renewable resources: a perspective for a special issue of polymer reviews. *Polymer reviews*, 2008, 48(1): 1–10. <https://doi.org/10.1080/15583720701834133>.
 18. Djordjevic I., Choudhury N. R., Dutta N. K., Kumar, S. Synthesis and characterization of novel citric acid-based polyester elastomers. *Polymer*, 2009, 50(7): 1682–1691. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2009.01.045>.
 19. Guner F. S., Yagci Y., Erciyas A. T. Polymers from triglyceride oils *Progress in Polymer Science*, 2006, 31: 633–670. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.07.001>.
 20. Sharma V., Kundu P. P. Addition polymers from natural oils—A review. *Progress in polymer science*, 2006 31(11): 983–1008. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.09.003>.
 21. Pat. US 9,216,940 B2 USA C08G 18/36 (2013.01) Polyol synthesis from fatty acids and oils Curtis J.M., Liu G.G., Omonov T., Kharraz E. Publ. 22.12.2015.
 22. Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. *Spectrometric identification of organic compounds*. New York: John Wiley & Sons, 2005: 512. ISBN 0-471-39362-2.

Received 10.06.2024