

**О.С. СВЕРДЛІКОВСЬКА**, канд. хім. наук, доцент

**М.В. БУРМІСТР**, д-р хім. наук, професор

**О.О. ФЕДЕНКО**, операційний директор ТОВ “Ваговимірювальні системи — ПРОМ”

## АПРОТОННІ ПОЛІМЕРНІ ІОННІ РІДИНИ ІОНЕНОВОГО ТИПУ

**Резюме.** Розроблено наукові та практичні основи закономірностей синтезу реакційноздатних апротонних полімерних іонних рідин іоненового типу на основі полімерних четвертинних амонієвих солей (похідних морфоліну) рідкого агрегатного стану в широкому діапазоні температур із високою іонною провідністю та можливістю регулювання їх фізико-хімічних властивостей для розв’язання науково-технічних проблем хімії і хімічної технології (проблем розробки електрохімічних пристроїв, полімерних композиційних матеріалів, поверхнево-активних речовин тощо). Встановлено, що синтезовані полімерні іонні рідини іоненового типу — термостабільні сполуки, що мають високу іонну провідність ( $\sim 10^{-1} - 10^{-6}$  См·см<sup>-1</sup>) в широкому діапазоні температур.

**Ключові слова:** полімерні іонні рідини, полімерні четвертинні амонієві солі, морфолін, іонна провідність.

### ВСТУП

Першочерговими проблемами хімії та хімічної технології є синтез нових полімерів і створення на їх основі матеріалів із заданими властивостями. Розвиток методів синтезу і застосування полімерних четвертинних амонієвих солей є одним із перспективних напрямів розвитку хімії високомолекулярних сполук. Полімерні четвертинні амонієві солі завжди посідали особливе місце завдяки широким можливостям варіювання їх молекулярної структури за рахунок застосування нових мономерів. Різноманітність мономерів дозволяє одержувати полімери з різною густиною заряду в ланцюзі макромолекули полімеру, гнучкістю полімерного ланцюга, гідрофобністю, що обумовлює їх властивості. Унікальні властивості полімерних четвертинних амонієвих солей дозволяють розширити діапазон їх практичного застосування в різних сферах людської діяльності. Великий інтерес представляють полімерні четвертинні амонієві солі у рідкому стані. Це дозволяє їх застосовувати як ефективні поверхнево-активні речовини, розчинники і каталізатори хімічних реакцій, зокрема, як іонні рідини. Відомо, що високомолекулярні та мономерні четвертинні амонієві солі на основі морфоліну (рідкі сполуки) є ефективними модифікаторами полімерних композицій, активаторами проявлення, коагулянтами, інгібіторами корозії металів тощо.

Револьюційним напрямом розвитку науки і техніки стало створення та застосування нових іонних рідин із високою іонною провідністю, працездатних у широкому діапазоні температур, а також зменшення собівартості цих сполук за рахунок використання доступної сировини.

Перспективність таких іонних рідин у використанні як компонентів рідких і полімерних електrolітів для різних електрохімічних пристроїв (органічних сонячних елементів, літійових джерел струму, паливних елементів, суперконденсаторів тощо), як екстрагентів, розчинників і каталітичних середовищ в органічному синтезі та синтезі полімерів, як імерсійних середовищ у рефрактометрії, як чутливих елементів для рефрактометричного аналізу, а також для мембран паливних елементів на основі поліелектролітичних комплексів тощо [1–13].

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на інтенсивну науково-дослідницьку діяльність за напрямом створення нових іонних рідин, сфера полімерних іонних рідин все ще перебуває у зародковому стані. Необхідно зазначити, що так звані “полімерні іонні рідини” є переважно твердими речовинами. Тому розробка підходів функціоналізації полімерних іонних рідин та їх мономерних аналогів із метою збереження рідкого агрегатного стану у широкому діапазоні температур (це досить проблематично) є актуальною. Результати останніх років у вивченні механізму синтезу протонних, апротонних лінійних і розгалужених полімерних іонних рідин дозволяють прогнозувати можливі шляхи їх застосування. Але майже немає робіт із розробки полімерних іонних рідин з іонно-рідинними функціональними групами в основному ланцюзі полімеру.

Крім того, необхідно більш глибоке розуміння фізико-хімічних властивостей полі(іонних рідин). Так, наприклад, актуальним є вивчення властивостей полімерних іонних рідин, відмін-

них за природою заряду макромолекули (полікатиону або поліаніону), типом катіонів, ступенем делокалізації і розмірами аніонів, рухливістю іонних центрів, для подальшого прогнозування можливості їх застосування. Нині розробляються нові іонні рідини, працездатні в діапазоні температур  $-65...+65^{\circ}\text{C}$ . Особлива увага приділяється безпеці застосування цих речовин і можливості використання їх під час синтезу полімерних матеріалів із високою іонною провідністю.

Враховуючи все вищесказане, перспективним є дослідження особливостей створення реакційноздатних апротонних полімерних іонних рідин з іонно-рідинними функціональними групами в основному ланцюзі полімеру (в основі яких — розробка науково-технічних основ синтетичного підходу створення з прогнозуванням властивостей), наприклад, іонних рідин на основі полімерних четвертинних амонієвих солей із достатньо об'ємними іонними групами морфолінового типу. Застосування морфоліну для синтезу третинних діамінів із об'ємними групами дозволить отримати полімерні четвертинні амонієві солі з метою прогнозування змін властивостей цих полімерів залежно від їх молекулярної маси.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За останні роки стрімко зростає інтерес до полімерних аналогів іонних рідин (*poly(ionic liquid)s* — англ.), що являють новий тип заряджених полімерних матеріалів. Особливість таких полімерних іонних рідин полягає в тому, що вони, з одного боку, поєднують в собі всі унікальні властивості, притаманні низькомолекулярним іонним рідинам (високу електропровідність, термо- і хімістійкість, низьку займистість, малу токсичність, широке вікно електрохімічної стабільності тощо), а, з іншого боку, будучи високомолекулярними сполуками з високою поверхневою активністю, здатні до утворення покриттів, гелів, плівок, мембран з необхідними деформаційно-міцнісними характеристиками. Тобто перехід від мономерних іонних рідин до їх полімерних аналогів приводить до отримання еластичних плівок із задовільною міцністю, зниженою температурою склування та підвищеною іонною провідністю. У зв'язку з цим відкриваються широкі перспективи для використання полімерних іонних рідин як електропровідних матеріалів у сонячних елементах, літєвих акумуляторах, протонпровідних мембранах та інших електрохімічних пристроях.

Порівняльний аналіз останніх досягнень і сучасних знань мономерних іонних рідин та їх полімерних аналогів показав значні відмінності

тісно пов'язаних між собою, але водночас різних класів матеріалів. Так, полімерні іонні рідини, незважаючи на їх високу щільність заряду, мають досить високу температуру склування (як правило, спостерігається  $-60^{\circ}\text{C}$ ); хорошу розчинну здатність, що обумовлено їх хімічною будовою (переважно аніонів). Полімерні іонні рідини є сильними електролітами, тому мають набагато більш широкі діапазони характеристик, ніж мономерні іонні рідини.

Нині не існує чіткого і загальноприйнятого визначення полімерних іонних рідин на відмінну їх мономерних аналогів. Тому подальший творчий науковий напрям дослідження полімерних іонних рідин охоплює низку різних галузей знань.

Існує кілька методів синтезу полімерних іонних рідин: полімеризація низькомолекулярних іонних рідин; поліконденсація низькомолекулярних іонних рідин; модифікація готових полімерів [14].

Для визначення шляхів подальшого дослідження актуального напрямку розробки перспективних полімерних іонних рідин розглянемо глибину вивчення цього питання та його недоліки.

Одним із перспективних напрямів є розробка полі(іонних рідин) для полімерних електролітів, сорбентів, диспергуючих агентів і наноматеріалів [15]. Напрямок розробки і застосування полі(іонних рідин) є перспективним класом матеріалів, однак перебуває на початковій стадії дослідження. Розглянемо невеликий досвід у цьому напрямі. Так, автори [16] синтезували поліелектроліти (катіонні або аніонні "полімерні іонні рідини") радикальною полімеризацією ряду іонних мономерів метакрилата з різними структурами і рухливістю іонних центрів у розчині. В огляді [17] наведено здобутки останніх років у сфері полімеризованих іонних рідин або полі(іонних рідин).

Продовженням цієї роботи, що дозволяє сформувати базу ринку полімерних іонних рідин, є огляд David Mecerreyes [18], у якому зазначено, що полімерні іонні рідини є класом поліелектролітів, синтезованих із мономерних іонних рідин, що нерозчинні у воді, однак розчинні у органічних розчинниках.

Огляд [19] містить оновлену інформацію щодо синтезу, властивостей і застосування полі(іонних рідин) або полімеризованих іонних рідин, зокрема нових блоксополімерів полімеризованих іонних рідин на основі імідазолію, створених останніми роками.

Автори огляду [20] серед полімерних іонних рідин виділили певний клас на основі імідазолію та мономерних іонних рідин із високою іонною

провідністю ( $10^{-2}$  См·см<sup>-1</sup>), що обумовлено їх ефективністю в різних сферах.

Разом із низькомолекулярними, високомолекулярними іонними рідинами спостерігається великий інтерес й до олігомерних іонних рідин — це олігомери з іонними групами (характерними для низькомолекулярних іонних рідин) і рідким станом нижче за 100°C [21]. Інтерес до олігомерних іонних рідин як розчинників для хімічних реакцій і полімеризації описано авторами [22].

Отже, актуальною задачею є спрямований синтез нових апротонних полімерних іонних рідин іоненового типу, а саме полімерних четвертинних морфолінієвих солей з високою іонною провідністю і працездатних у діапазоні температур від -128°C до +200°C за рахунок оптимізації структури їх об'ємних органічних катіонів та органічних або неорганічних аніонів для розв'язання проблем хімії і хімічної технології.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Синтез полімерних іонних рідин іоненового типу на основі полімерних четвертинних амонієвих солей (ПЧАС) — похідних морфоліну (ПІР) широкого асортименту описано у [23; 24]. У цій роботі проведено дослідження закономірностей синтезу ПІР.

Згідно з літературними джерелами синтез ПІР за реакцією взаємодії третинного діаміну (ТДА) та дигалогеніду (ДГ) можна проводити у органічному розчиннику (диметилформаміді, метанолі, етанолі та ін.), у суміші розчинників органічний розчинник – вода, органічний розчинник – метанол, органічний розчинник – етанол. Це обумовлено розчинністю вихідних мономерів, полімерів і впливом розчинника на швидкість реакції утворення полімеру.

Синтезовані ТДА на основі морфоліну та дигалогенопохідних біепоксидних сполук добре розчинні в органічних розчинниках і погано розчинні у воді. ПІР (С-1-8, С-1-9), отримані за реакцією синтезованих ТДА на основі морфоліну з ДГ (ДГ-ТЕГ-1, ДГ-ДЕГ-1) та ДГ (ДГ-1, ДГ-2, ДГ-3, ДГ-4), добре розчинні у воді, бутанолі, етанолі та суміші розчинників ацетон – вода, етанол – вода. При цьому синтезовані ПІР (С-1-9) на основі ТДА на основі морфоліну та ДГ (ДГ-ТЕГ-1) також добре розчинні в ацетоні. Проте ПІР (С-1-7, С-7-8), отримані за реакцією синтезованих ТДА на основі морфоліну та ДГ (ДГ-ЕД-20, ДГ-ДЕГ-1, відповідно), не розчинні у воді, але розчинні в бутанолі, етанолі та суміші розчинників ацетон – вода. Але розчинність ПІР (С-1-7, С-1-8, С-7-8) в органічних розчинниках обмежена: так, ацетон не змішується з цими сполуками. Тобто розчинність ПІР у різних роз-

чинниках залежить від їх природи, полярності та діелектричної проникності.

Досліджено вплив суміші етанол – вода різного складу на константу швидкості реакції. Збільшення вмісту етанолу в суміші етанол – вода приводить до згортання макромолекули синтезованих ПІР за рахунок зменшення дисоціації четвертинних атомів азоту. Показано, що збільшення вмісту етанолу у суміші етанол – вода з 20% до 50% призводить до зменшення константи швидкості реакції нових ПІР, однак ця залежність не спостерігається для аліфатичного ПІР. Та подальше збільшення вмісту етанолу у суміші етанол – вода з 50% до 80% приводить до підвищення константи швидкості реакції нових ПІР.

Відомо [25], що при синтезі ПІР у суміші ацетон – метанол, ацетон – етанол вихідні мономері й утворений полімер добре розчинні, проте їх молекулярна маса невелика. Це пов'язано з тим, що швидкість реакції утворення ПЧАС значною мірою залежить від діелектричної проникності розчинника. У суміші ацетон – вода отримати ПЧАС з достатньо великою молекулярною масою неможливо, бо при додаванні води у реакційну суміш можливе її передозування, що призводить до погіршення розчинності мономерів і продуктів зростання ланцюга полімеру. Але діелектрична проникність у суміші ацетон – етанол більша, ніж у суміші ацетон – метанол, ацетон – етанол, тому й швидкість утворення полімеру в суміші ацетон – вода вища.

Також у роботах [26–28] авторами показано, що найбільш перспективним методом проведення синтезу ПІР є синтез у розчинниках змінного складу. Особливість цього методу полягає у використанні для синтезу мономерів і синтезованого полімерного продукту різної природи розчинників. Вихідні мономері розчинні в органічних розчинниках, на відміну від ПІР, що розчинні у воді й частково — в апротонних розчинниках.

Враховуючи все вищесказане, розроблено метод синтезу ПІР за реакцією взаємодії отриманих ТДА і ДГ, який полягає у наступному. При синтезі ПІР обрано розчинники змінного складу ацетон – вода, етанол – вода. Це дозволяє проводити реакцію у гомогенному середовищі. Вихідні мономері розчиняли в ацетоні, етанолі. Синтезовані ПІР є водорозчинними сполуками, тому додавання води в реакційну суміш призводить до зміщення рівноваги в бік утворення ПІР. Розрахункову кількість ТДА змішували з еквімолекулярною кількістю ДГ в ацетоні, етанолі.

Як свідчать літературні дані [25], відмінність у поведінці вихідних мономерів при взаємодії обумовлено їх реакційною здатністю, яка впли-

ває на швидкість реакції утворення полімеру, а отже, і в'язкості, тобто молекулярної маси отриманих полімерів. Відповідно загальноприйнятих положень реакційна здатність третинного аміну і діаміну в реакції Меншуткіна обумовлена їх основністю, яка залежить від будови цих сполук.

Враховуючи це, нами було вивчено реакційну здатність вихідних мономерів і вплив її на молекулярну масу ПІР.

З **табл. 1** видно, що досліджувані ТДА достатньо реакційноздатні у реакції утворення ПІР. Крім того, константи швидкості реакції корелюють із основністю цих ТДА. Зі зростанням основності ТДА збільшується їх реакційна здатність.

Аналогічна закономірність спостерігається і для молекулярної маси полімеру: зі збільшенням швидкості реакції утворення полімеру в'язкість (молекулярна маса) останнього зростає (**табл. 2**).

Реакційна здатність і основність вихідних мономерів, які досліджуються, визначається їх будовою. Так, наявність алкілароматичних груп між атомами азоту в ланцюзі мономера приводить до зниження активності, а отже, і в'язкості (молекулярної маси). Збільшення в'язкості (молекулярної маси) синтезованих ПІР обумовлено, ймовірно, впливом на реакційну здатність вихідних мономерів для синтезу полімерів: наявність між атомами галогену ДГ, крім метильних, електронодонорних атомів (груп); наявність у складі ТДА електронодонорних груп; природи галогену ДГ, що пояснюється зменшенням електронних параметрів на атомах вуглецю та галогену галогенметильних груп.

Також константа швидкості реакції аліфатичного ПІР нижча, ніж ПІР, макромолекула якого містить один ароматичний фрагмент. Виявлено, що синтезовані ПІР, макромолекули яких містять ароматичні фрагменти в пара- та ортоположенні, мають значно нижчу константу швидкості реакції, ніж ПІР, макромолекули яких міс-

тять один аліфатичний та один ароматичний фрагменти. Показано, що константа швидкості реакції ПІР, макромолекула якого містить ароматичний фрагмент в орто-положенні, вища порівняно з константою швидкості реакції ПІР, макромолекула якого містить ароматичний фрагмент у пара-положенні.

Реакційну здатність ТДА, що досліджуються, встановлено за ефективною константою швидкості реакції отримання ПІР у суміші ацетон–вода та етанол – вода при температурі 50°C. Значення констант швидкості реакцій, що досліджуються, наведено у **табл. 2**.

З метою визначення оптимальних умов синтезу ПІР вивчено вплив концентрації вихідних мономерів на в'язкість, тобто молекулярну масу отриманих полімерів. Синтез ПІР проводили у розчиннику змінного складу ацетон – вода при температурі 50°C протягом 14–16 годин та етанол – вода при температурі 50°C протягом 25 годин. При цьому використовувалися наступні дигалогенопохідні: 1,3-дихлопропанол-2 (ДГ-ДХП); бісхлоропохідного дієпоксидної смоли (ДГ-ЕД-20), 1,2-епокси-4,7-діоксонен-8.

У разі взаємодії вихідних мономерів ТДА-ДБЕ і ДГ-ЕД-20 у концентрації 0,4 моль/л відбувається кватернізація третинного аміну з утворенням ПІР С-13-7-5 з найбільшою в'язкістю 24,5 дл/г (**табл. 3**). При концентрації вихідного ТДА-ДБЕ та ДГ-ДХП у реакційній суміші в кількості 0,4 моль/л утворюється ПІР С-13-1-2 з максимальною в'язкістю 3,78 дл/г.

Згідно з даними **табл. 3**, найменше значення в'язкості ПІР (1,46 дл/г) досягається при концентрації: третинний діамін на основі морфоліну та дигалогенопохідного 0,2 моль/л при використанні 1,3-дихлорпропанол-2; 0,1 моль/л — бісхлоропохідного дієпоксидної смоли.

Необхідно зазначити несиметричність залежностей (**табл. 3**) в результаті побічних реакцій або за рахунок ефекту саморегулювання при різних концентраціях вихідних мономерів.

Відмінність у поведінці вихідних мономерів при взаємодії обумовлено їх реакційною здатністю. Вибір більш реакційноздатного вихідного мономера і використання його в більшій кількості призводить до утворення ПІР з більшою в'язкістю, тобто молекулярною масою. Тому серед вихідних реагентів найбільш активними виявилися ТДА-ДБЕ.

Отже, реакційна здатність вихідних ТДА у реакції утворення ПІР залежить від їх будови: вихідні мономер алкілароматичної будови мають більшу реакційну здатність порівняно з мономерами аліфатичної будови. Також спостерігається кореляція між реакційною здатністю вихідних мономерів і молекулярною масою полімеру.

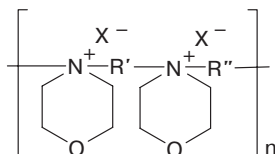
Таблиця 1

**Ефективна константа швидкості реакції отримання третинних діамінів і їх основність**

Шифр аміну	pKa	K·10 <sup>3</sup> , л/моль·с
Морфолін	10,1	2,31
ТДА-ДХП	6,8	1,92
ТДА-ЕД-20	7,2	1,97
ТДА-ТЕГ-1	3,6	1,28
ТДА-ДЕГ-1	5,7	1,74
ТДА-ДБЕ	6,6	1,89

Таблиця 2

Константи швидкості реакції утворення полімерних іонних рідин іоненового типу на основі полімерних четвертинних амонієвих солей — похідних морфоліну загальної формули



Радикал третинного діаміну	Радикал дигалогеніду	K·10 <sup>3</sup> , л/моль·с	η <sub>плит</sub> /С, дл/г
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---CH}_2\text{---CH}_2\text{)}_2\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	1,23	3,5
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---CH}_2\text{---CH}_2\text{)}_3\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	4,85	6,4
$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$		4,96	6,67
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---CH}_2\text{---CH}_2\text{)}_3\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	1,27	3,78
	$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	6,78	9,15
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---CH}_2\text{---CH}_2\text{)}_2\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	7,35	10,23
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---C(CH}_3\text{)}_2\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---})_m\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	0,96	2,15
$\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---C(CH}_3\text{)}_2\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---})_m\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	6,38	8,58
$\text{---O---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$ m=4			
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---CH}_2\text{---CH}_2\text{)}_2\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	1,96	3,95
$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---C(CH}_3\text{)}_2\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---})_m\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	2,79	4,2
$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$			
$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	4,12	4,64
$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---O---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$ m=4		
$\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{(O---CH}_2\text{---CH}_2\text{)}_2\text{---O---CH}_2\text{---}\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{---CH}_2\text{---}$	2,29	4,03
$\text{---}\left(\text{CH}_2\text{---CH}_2\text{---O}\right)_6\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	$\text{---}\left(\text{CH}_2\text{---CH}_2\text{---O}\right)_6\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	3,658	0,425*
	$\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---}\rangle\text{---}$	27,617	0,126*
	$\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_3\text{---}\rangle\text{---}$	13,06	0,279*
	$\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---C(CH}_3\text{)}_2\text{---}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{---}\rangle\text{---}$	5,577	0,421*

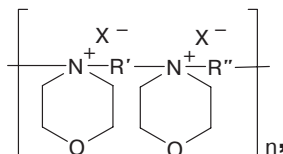


Радикал третинного діаміну	Радикал дигалогеніду	$K \cdot 10^3$ , л/моль·с	$\eta_{\text{плт}}/C$ , дл/г
		5,166	0,418*
		6,609	0,350*
			3,266*
		3,266	0,423*
		5,451	0,184*

**Примітка.** Синтез ПІР проводили у розчиннику змінного складу ацетон–вода при температурі 50–60°C протягом 14–16 годин та етанол–вода при температурі 50–60°C протягом 25 годин (\*).

Таблиця 3

**Фізико-хімічні властивості полімерних іонних рідин іоненового типу на основі полімерних четвертинних амонієвих солей — похідних морфоліну загальної формули**



де  $R'$  — залишок третинного діаміну,  $R''$  — залишок дигалогенопохідних сполук

Шифр сполуки	$R'$	$R''$	X	Концентрація ТДА та ДГ	$\eta_{\text{плт}}/C$ , дл/г	Вміст азоту % (теор./практ.)	Вміст галогену % (теор./практ.)	Показник заломлення $n_D^{20}$
C-13-1-1	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	$-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-$	Cl	0,3	6,40	$\frac{8,51}{8,68}$	$\frac{10,78}{10,44}$	1,001
C-13-1-2			Cl	0,4	3,78	$\frac{8,51}{8,56}$	$\frac{10,78}{10,38}$	1,140
C-13-1-3	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	$-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-$	Cl	0,2	1,46	$\frac{8,51}{8,40}$	$\frac{10,78}{10,28}$	1,190

Шифр сполуки	R'	R''	X	Концентрація ТДА та ДГ	$\eta_{\text{пит/С}}$ , дл/г	Вміст азоту % (теор./практ.)	Вміст галогену % (теор./практ.)	Показник заломлення $n_D^{20}$	
C-13-7-1	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —		Cl	0,3	6,31	$\frac{3,84}{3,60}$	$\frac{9,73}{9,41}$	1,121	
C-13-7-2	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —		Cl	0,2	3,85	$\frac{3,84}{3,20}$	$\frac{9,73}{9,72}$	1,391	
C-13-7-3	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —		Cl	0,1	1,46	$\frac{3,84}{3,92}$	$\frac{9,73}{9,76}$	1,750	
C-13-7-4	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —		m=4	Cl	0,5	13,82	$\frac{3,84}{3,92}$	$\frac{9,73}{9,18}$	0,851
C-13-7-5	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —			Cl	0,4	24,20	$\frac{3,84}{3,92}$	$\frac{9,73}{9,72}$	0,480

В'язкість, тобто молекулярна маса ПІР, залежить і від реакційної здатності вихідних мономерів, і від природи та складу розчинника. Досліджено вплив різних факторів на в'язкість, тобто молекулярну масу полімерів. Це дозволило розробити спосіб синтезу досліджуваних ПІР, а саме: розрахункову кількість ТДА на основі морфоліну змішували з еквімолекулярною кількістю ДГ в ацетоні.

Синтез проводили у розчиннику змінного складу ацетон–вода при температурі 50–60°C протягом 14–16 годин та етанол–вода при температурі 50–60°C протягом 25 годин. Визначено оптимальну концентрацію вихідних мономерів для отримання ПІР: для полімерів аліфатичної структури вона становить 0,3 моль/л, а для полімерів алкілароматичної структури — 0,4 моль/л.

Розчинність різних речовин у ПІР залежить від їх природи, полярності та діелектричної проникності розчинників. Такі розчинники, як бутанол ( $\epsilon=17$ ), ізопропанол ( $\epsilon=20$ ), ацетон ( $\epsilon=20,7$ ), етанол ( $\epsilon=27$ ), ацетонітрил ( $\epsilon=36$ ) та диметилформамід ( $\epsilon=37$ ) легко змішуються з більшістю ПІР. Майже всі вони змішуються з водою у різних пропорціях, утворюючи гомогенні суміші, що дає можливість їх застосування як розчинника у каталітичних реакціях з участю комплексів перехідних металів.

Виявлено, що синтезовані нові ПІР мають значення температури склування у діапазоні від –135°C до –75°C і є термічно стабільними до 75–150°C. Встановлено, що термостабільні ПІР мають високу іонну провідність  $\sim 10^{-3}$ – $10^{-6}$  См·см<sup>-1</sup>. Завдяки цьому досліджувані нові ПІР можуть бути рекомендованими до застосування як

компонент рідких і полімерних електролітів для електрохімічних пристроїв нового типу.

## ВИСНОВКИ

Проведено системне дослідження кінетики реакції третинних діамінів на основі морфоліну і дигалогенідів, установлення реакційної здатності вихідних мономерів. Встановлено вплив реакційної здатності синтезованих вихідних третинних діамінів на величину молекулярної маси утворених полімерних іонних рідин іоноенового типу. Розроблено способи синтезу апротонних полімерних іонних рідин іоноенового типу (похідних морфоліну) і методи регулювання їх молекулярної маси. Показано, що при синтезі полімерних іонних рідин іоноенового типу доцільно використовувати розчинник змінного складу ацетон–вода, етанол–вода. Визначено закономірності реакцій утворення апротонних полімерних іонних рідин іоноенового типу з радикалом однакової структури і різної молекулярної маси. Отримано вихідні мономерні для синтезу апротонних полімерних іонних рідин іоноенового типу шляхом взаємодії морфоліну з дигалогенідами. Так, у роботі розв’язано наукову проблему цільового синтезу реакційноздатних апротонних полімерних іонних рідин іоноенового типу на основі полімерних четвертинних амонієвих солей із достатньо об’ємними іонними групами морфолінового типу рідкого агрегатного стану у широкому діапазоні температур для прогнозування їх фізико-хімічних властивостей, відмінним типом катіонів, ступенем делокалізації і розмірами аніонів, рухливістю іонних центрів, з метою подальшого встановлення можливості застосування та підвищення ефективності цих сполук у різних галузях хімії і хімічної технології.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Современное состояние и основные тенденции развития перспективных ионных жидкостей* / М.В. Бурми́стр, О.С. Свердликовская, О.М. Бурми́стр, О.А. Феденко // Вестник Удмуртского Университета, 2012. — № 1. — С. 55–68.
2. *Ионные жидкости в ряду растворителей* / Л.А. Асланов, М.А. Захаров, Н.Л. Абрамычева. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — 272 с.
3. *Gamstedt H. Ionic Liquid Electrolytes for Photoelectrochemical Solar Cells* / Department of Chemistry Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2005.
4. *The Interfacial Stability of Li with Two New Solvent-Free Ionic Liquids: 1,2-Dimethyl-3-propylimidazolium Imide and Methide* / V.R. Koch, C. Nanjundiah, G.B. Appetecchi, B.J. Scrosati // J. Electrochem Soc. — 1995. — Vol. 142. — L116–L118.
5. *Bronsted Acid-Base Ionic Liquids as Proton-Conducting Nonaqueous Electrolytes* / A. Noda, M. A. V. H. Susan, K. Kudo, S. Mitsushima, K. Hayamizu, M. Watanabe // J. Phys. Chem. B. — 2003. — Vol. 107. — P. 4024–4033.
6. *Use of ionic liquids for pi-conjugated polymer electrochemical devices* / W. Lu, A. G. Fadeev, B. Qi, E. Smela, B. R. Mattes, J. Ding, G. M. Spinks, J. Mazurkiewicz, D. Zhou, G. G. Wallace, D. R. MacFarlane, S. A. Forsyth, M. Forsyth // Science. — 2002. — Vol. 297. — P. 983–987.
7. *Welton T. Room-Temperature Ionic Liquids. Solvents for Synthesis and Catalysis* // Chem. Rev. — 1999. — Vol. 99. — P. 2071–2083.
8. *Ionic Liquids* / J.D. Holbrey, K.R. Seddon // Clean Prod. Process. — 1999. — Vol. 1. — P. 223–236.
9. *Ionic Liquids-New "Solutions" for Transition Metal Catalysis* / P. Wasserscheid, W. Keim // Angew. Chem., Int. Ed. — 2000. — Vol. 39. — P. 3772–3789.
10. *Characterizing ionic liquids on the basis of multiple solvation interactions* / J.L. Anderson, J. Ding, T. Welton, D.W. Armstrong // J. Am. Chem. Soc. — 2002. — Vol. 124. — P. 14247–14254.
11. *Green Chemistry: Theory and Practice* / P.T. Anastas, J.C. Warner. — Oxford University Press: New York, 1998. — 30 p.
12. *Biodegradable ionic liquids Part II. Effect of the anion and toxicology* / M.T. Garcia, N. Gathergood, P.J. Scammells // Green Chem. — 2005. — Vol. 7. — P. 9–14.
13. *1-n-Butyl-3-methylimidazolium ([bmim]) octylsulfate-an even 'greener' ionic liquid* / P. Wasserscheid, R. van Hal, A. Busmann // Green Chem. — 2002. — Vol. 4. — P. 400–404.
14. *Понкратов Д.О. Полимерные ионные жидкости: дис. на соискание учен. степени д-р хим. наук: спец. 02.00.06 "Высокомолекулярные соединения"* / Понкратов Денис Олегович; ФГБУНИЭС. — Москва, 2014. — 196 с.
15. *Green Omar The Design of Polymeric Ionic Liquids for the Preparation of Functional Materials* / Omar Green, Simonida Grubjesic, Sungwon Lee, Millicent A. Firestone // Polymer Reviews. — 2009. — Vol. 46. — P. 339–360.
16. *Shaplov A.S. Synthesis and Properties of Polymeric Analogs of Ionic Liquids* / A.S. Shaplov, D.O. Ponkratov, P.S. Vlasov, E.I. Lozinskaya, L.I. Komarova, I.A. Malyskina, F. Vidal, G.T.M. Nguyen, M. Armand, C. Wandrey, Ya.S. Vygodskii // Polymer Science, Ser. B. — 2013. — Vol. 55, № 3-4. — P. 122–138.
17. *Jiayin Yuan Poly(ionic liquid)s: Polymers expanding classical property profiles* / Jiayin Yuan, Markus Antonietti // Polymer. — 2011. — Vol. 52. — P. 1469–1482.
18. *Mecerreyes David Polymeric ionic liquids: Broadening the properties and applications of polyelectrolytes* / David Mecerreyes // Polymer. — 2011. — Vol. 36. — P. 1629–1648.
19. *Jiayin Yuan Poly(ionic liquid)s: An update* / Jiayin Yuan, David Mecerreyes, Markus Antonietti // Progress in Polymer Science. — 2013. — Vol. 38. — P. 1009–1036.
20. *Green Matthew D. Designing Imidazole-Based Ionic Liquids and Ionic Liquid Monomers for Emerging Technologies* / Matthew D. Green, Timothy E. Long // Polymer Rev. — 2009. — Vol. 49, №4. — P. 291–314.
21. *Шевченко В.В. Протонные катионоактивные олигомерные ионные жидкости уретанового типа* / В.В. Шевченко, А.В. Стрюцкий, Н.С. Клименко, М.А. Гуменная, А.А. Фоменко, В.В. Трачевский, В.В. Давыденко, V.N. Bliznyuk, A.B. Дорохин // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. — 2014. — Т. 56, № 5. — P. 480–489.
22. *Xie Meiran Promotion of Atom Transfer Radical Polymerization and Ring-Opening Metathesis Polyme-*



- rization in Ionic Liquids / Meiran Xie, Huijing Han, Liang Ding, Jiaxin Shi // *Polymer Reviews*. — 2009. — Vol. 49. — P. 315–338.
23. *Ionic liquids based on polymeric quaternary salts of ammonium (morpholine derivatives)*. Synthesis, properties, application / O.S. Sverdlikovska, M.V. Burmistr // *News of Science and Education. Chemistry and Chemical Technology*. — 2015. — № 3 (27). — P.76–83.
  24. Свердликівська О.С. Полиіонени на основі производних оксиранових сполучень і морфоліна / О.С. Свердликівська, М.В. Бурмістр, О.А. Феденко / Міжнародна научно-практична конференція “TRANS-MECH-ART-CHEM”: тези доповіді. — Х., 2014. — С. 34–36.
  25. Бурмістр М.В. Алкілароматическіе полііонени: монографія / М.В. Бурмістр, Е.М. Бурмістр. — Дніпропетровськ: УГХТУ, 2005. — 131 с.
  26. *Noguchi H.* Cyclic, linear and polymeric ammonium salts / H. Noguchi, A. Rembaum // *Amer. Chem. Soc. Polymer reprints*. — 1969. — Vol. 10. — № 2. — P. 718–728.
  27. Разводовский Е.Ф. Синтез полимерных четвертичных аммониевых оснований / Е.Ф. Разводовский, А.В. Некрасов, Н.С. Ениколопан // *Высокомолекулярное соединение*. — Сер. Б. — 1972. — Т. 14, № 5. — С. 338–340.
  28. *Tsuchida E.* The mechanism of polymerization and the solvent effect in the formation of polycation polymers of integral type / E. Tsuchida, K. Sanada, K. Moribe // *Macromol. Chem.* — 1972. — Vol. 155. — P. 35–44.
- ### REFERENCES
1. *Burmistr M.V., Sverdlikovskaya O.S., Burmistr O.M., Fedenko O.A.* (2012) *Sovremennoe sostoyanie i osnovnye tendentsii razvitiya perspektivnykh ionnykh zhidkostey* [Current state and main trends in the development of promising ionic liquids]. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta* [Bulletin of the Udmurt University], Vol. 1, pp. 55–68.
  2. *Aslanov L.A., Zakharov M.A., Abramychева N.L.* (2005) *Ionnye zhidkosti v ryadu rastvoriteley* [Ionic liquids in a series of solvents]. Moscow (in Russ.): MGU publ., 272 p.
  3. *Gamstedt H.* *Ionic Liquid Electrolytes for Photoelectrochemical Solar Cells*. Department of Chemistry Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2005.
  4. *Koch V.R., Nanjundiah C., Appetecchi G.B., Scrosati B.J.* (1995) *The Interfacial Stability of Li with Two New Solvent-Free Ionic Liquids: 1,2-Dimethyl-3-propylimidazolium Imide and Methide*. *J. Electrochem Soc.* Vol. 142, L116–L118.
  5. *Noda M.A., Susan B. H., Kudo K., et al.* (2003) *Bronsted Acid–Base Ionic Liquids as Proton-Conducting Nonaqueous Electrolytes*. *J. Phys. Chem. B*. Vol., 107, pp. 4024–4033.
  6. *Lu W., Fadeev A.G., Qi B., et al.* (2002) *Use of ionic liquids for pi-conjugated polymer electrochemical devices*. *Science*, Vol. 297, pp. 983–987.
  7. *Welton T.* (1999) *Room-Temperature Ionic Liquids. Solvents for Synthesis and Catalysis*. *Chem. Rev.* Vol. 99, pp. 2071–2083.
  8. *Holbrey J.D., Seddon K.R.* (1999) *Ionic Liquids*. *Clean Prod. Process*. Vol. 1, pp. 223–236.
  9. *Wasserscheid P., Keim W.* (2000) *Ionic Liquids–New “Solutions” for Transition Metal Catalysis*. *Int. Ed. Angew. Chem.* Vol. 39, pp. 3772–3789.
  10. *Anderson J.L., Ding J., Welton T., Armstrong D.W.* (2002) *Characterizing ionic liquids on the basis of multiple solvation interactions*. *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 124, pp. 14247–14254.
  11. *Anastas P.T., Warner J.C.* (1998) *Green Chemistry: Theory and Practice*; Oxford University Press: New York, 30 p.
  12. *Garcia M.T., Gathergood N., Scammells P.J.* (2005) *Biodegradable ionic liquids Part II. Effect of the anion and toxicology*. *Green Chem.* Vol. 7, pp. 9–14.
  13. *Wasserscheid P., van Hal R., Busmann A.* (2002) *1-n-Butyl-3-methylimidazolium ([bmim]) octylsulfate — an even ‘greener’ ionic liquid*. *Green Chem.* Vol. 4, pp. 400–404.
  14. *Ponkratov D.O.* *Polimernye ionnye zhidkosti* [Polymeric ionic liquids] dis. of Dr. Sc. in Chem. 02.00.06 “High-molecular compounds” FGBUNIS. Moscow (in Russ.): FGBUNIES Publ., 2014, 196 p.
  15. *Green Omar, Grubjesic Simonida, Lee Sungwon, Millicent A. Firestone* (2009) *The Design of Polymeric Ionic Liquids for the Preparation of Functional Materials*. *Polymer Reviews*. Vol. 46, pp. 339–360.
  16. *Shaplov A.S., Ponkratov D.O., Vlasov P.S., et al.* (2013) *Synthesis and Properties of Polymeric Analogs of Ionic Liquids*. *Polymer Science, Ser. B*, Vol. 55, no. 3-4, pp. 122–138.
  17. *Jiayin Yuan, Antonietti Markus* (2011) *Poly(ionic liquid)s: Polymers expanding classical property profiles*. *Polymer*. Vol. 52, pp. 1469–1482.
  18. *Mecerreyes David* (2011) *Polymeric ionic liquids: Broadening the properties and applications of polyelectrolytes*. *Polymer*. Vol. 36, pp. 1629–1648.
  19. *Yuan Jiayin, Mecerreyes David, Antonietti Markus* (2013) *Poly(ionic liquid)s: an update*. *Progress in Polymer Science*. Vol. 38, pp. 1009–1036.
  20. *Green Matthew D., Timothy E. Long* (2009) *Designing Imidazole-Based Ionic Liquids and Ionic Liquid Monomers for Emerging Technologies*. *Polymer Rev.* Vol. 49, no. 4, pp. 291–314.
  21. *Shevchenko V.V., Stryutskiy A.V., Klimenko N.S., et al.* (2014) *Protonnye kationoaktivnye oligomernye ionnye zhidkosti uretanovogo tipa* [Proton cationic oligomeric ionic liquids of urethane type]. *High-molecular connections, Ser. B*, Vol. 56, no. 5, pp. 480–489.
  22. *Meiran Xie, Huijing Han, LiangDing, Jiaxin Shi* (2009) *Promotion of Atom Transfer Radical Polymerization and Ring-Opening Metathesis Polymerization in Ionic Liquids*. *Polymer Reviews*. Vol. 49, pp. 315–338.
  23. *Sverdlikovska O.S., Burmistr M.V.* (2015) *Ionic liquids based on polymeric quaternary salts of ammonium (morpholine derivatives)*. *Synthesis, properties, application*. *News of Science and Education. Chemistry and Chemical Technology*. Vol. 3 (27), pp. 76–83.
  24. *Sverdlikovskaya O.S., Burmistr M.V., Fedenko O.A.* (2014) *Poliioneny na osnove proizvodnykh oksiranykh soedineniy i morfolina*. *Tezisy doklada X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “TRANS-MECH-ART-CHEM”* [Polyionenes based on derivatives of oxirane compounds and morpholine / Abstracts of the report X International Scientific and Practical Conference “TRANS-MECH-ART-CHEM”], pp. 34–36.
  25. *Burmistr M.V., Burmistr Ye.M.* (2005) *Alkilaromaticheskie poliioneny* [Alkylaromatic polyionenes] monograph. Dnepropetrovsk (in Ukr.): UGKhTU Publ., 131 p.
  26. *Noguchi H., Rembaum A.* (1969) *Cyclic, linear and polymeric ammonium salts*. *Amer. Chem. Soc. Polymer reprints*. Vol. 10, no. 2, pp. 718–728.
  27. *Razvodovskiy Ye.F., Nekrasov A.V., Yenikolopyan N.S.* (1972) *Sintez polimernykh chetvertichnykh am-*

monievykh osnovaniy [Synthesis of polymeric quaternary ammonium bases]. High-molecular connections, Ser. B, Vol. 14, no. 5, pp. 338–340.

28. *Tsuchida E., Sanada K., Moribe K. (1972) The mechanism of polymerization and the solvent effect in the formation of polycation polymers of integral type. Macromol. Chem. Vol. 155, pp. 35–44.*

**O.S. Sverdlikovska**, PhD in Chemistry, Associate professor

**M.V. Burmistr**, Doctor of Science in Chemistry

**O.O. Fedenko**, Operating Director of LLC "Weighing Systems — PROM"

#### APROTIC POLYMERIC ION LIQUORS OF IONENE TYPE

**Abstract.** *Scientific and practical foundations of synthesis laws of reactive ion-type aprotic polymeric ionic liquids on the basis of polymeric quaternary ammonium salts (morpholine derivatives) of a liquid aggregate state in a wide range of temperatures with high ionic conductivity and the ability to regulate their physical and chemical properties to solve scientific and technical problems of chemistry and chemical technology (problems of the development of electrochemical devices, polymer composite materials, surfactants, etc.) were developed. It is determined that synthesized polymeric ionic liquids of the ion-type are thermo stable compounds with high ionic conductivity ( $\sim 10^{-1}$ – $10^{-6}$  Cm·cm<sup>-1</sup>) in a wide range of temperatures.*

**Keywords:** *polymeric ionic liquids, polymer quaternary ammonium salts, morpholine, ionic conductivity.*

**О.С. Свердликівська**, канд. хім. наук, доцент

**М.В. Бурмістр**, д-р хім. наук, професор

**О.О. Феденко**, операційний директор ООО "Весоизмерительные системы — ПРОМ"

#### АПРОТОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ ИОНЕНОвого ТИПА

**Резюме.** *Разработаны научные и практические основы закономерностей синтеза реакционноспособных апротонных полимерных ионных жидкостей ионенового типа на основе полимерных четвертичных аммониевых солей (производных морфолина) жидкого агрегатного состояния в широком диапазоне температур с высокой ионной проводимостью и возможностью регулировки их физико-химических свойств для решения научно-технических проблем химии и химической технологии (проблем разработки электрохимических устройств, полимерных композиционных материалов, поверхностно-активных веществ и т.д.). Установлено, что синтезированные полимерные ионные жидкости ионенового типа — термостабильные соединения, обладающие высокой ионной проводимостью ( $\sim 10^{-1}$ – $10^{-6}$  См·см<sup>-1</sup>) в широком диапазоне температур.*

**Ключевые слова:** *полимерные ионные жидкости, полимерные четвертичные аммониевые соли, морфолин, ионная проводимость.*

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Свердліковська Ольга Сергіївна** — канд. хім. наук, доцент кафедри "Переробки пластмас та фото-, нано- і поліграфічних матеріалів", Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, Україна, 49005; +38097-779-59-18; o.sverdlikovska@gmail.com

**Бурмістр Михайло Васильович** — д-р хім. наук, професор, завкафедри "Переробки пластмас та фото-, нано- і поліграфічних матеріалів", Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, Україна, 49005

**Феденко Оксана** — операційний директор ТОВ "Ваговимірювальні системи — ПРОМ", пр. Слобожанський, 29, м. Дніпро, Україна, 49005; oksanka.fedenko@ukr.net

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sverdlikovska O.S.** — PhD in Chemistry, Associate professor of Department of processing of plastics, photo-, nano- and polygraphic materials, State higher educational institution "Ukrainian state university of chemical engineering", 8, Gagarin Av., Dnipro, Ukraine, 49005; +38097-779-59-18; o.sverdlikovska@gmail.com

**Burmistr M.V.** — Doctor of Science in Chemistry, Professor, Head of Department of processing of plastics, photo-, nano- and polygraphic materials. State higher educational institution "Ukrainian state university of chemical engineering", 8, Gagarin Av., Dnipro, Ukraine, 49005

**Fedenko O.O.** — Operating Director of LLC "Weighing Systems — PROM", 29, Slobozhansky Str., Dnipro, Ukraine, 49005; oksanka.fedenko@ukr.net

#### ІНФОРМАЦІЯ ОБ АВТОРАХ

**Свердликівська О.С.** — канд. хім. наук, доцент кафедри "Переробки пластмас та фото-, нано- і поліграфічних матеріалів", Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, Україна, 49005; +38097-779-59-18; o.sverdlikovska@gmail.com

**Бурмістр М.В.** — д-р хім. наук, професор, завкафедри "Переробки пластмас та фото-, нано- і поліграфічних матеріалів", Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, Україна, 49005

**Феденко О.А.** — операційний директор ООО "Весоизмерительные системы — ПРОМ", пр. Слобожанський, 29, м. Дніпро, Україна, 49005; oksanka.fedenko@ukr.net

