

УДК 541(14-64):542.976

І.М. Смоленський

Кінетичний метод оцінки фотоокиснювальної деградації поліамідів і техноекологічний моніторинг цих процесів

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, Україна, 76019;*

E-mail: ismolensky@ifdtung.if.ua.

Розроблений кінетичний метод оцінки фотоокиснювальної деградації поліамідів (ПА) та ефективності світлозахисної дії введених в ПА додатків під впливом квантованої довгохвильової УФ-радіації в умовах максимально наближених до природного старіння, які дозволяють проводити техноекологічний моніторинг цих процесів практично в 10-200 разів швидше, ніж в апаратах штучної погоди.

Ключові слова: поліамід, фотоокиснювальна деградація, кінетичний метод, техноекологічний моніторинг.

Стаття поступила до редакції 25.05.2001; прийнята до друку 4.10.2001

І. Вступ

Проблеми техноекологічного моніторингу (ТЕМ) атмосферостійкості (АС) полімерних композицій, зокрема аліфатичних поліамідів (ПА), в умовах пріоритетного впливу УФ-радіації досить важливі та актуальні при вивченні кінетики і механізмів природного старіння в процесі фотодеградації, при розробці нових екохімічних технологій, наукових основ захисту ПА від фотоокиснювальної деградації (ФОД), при моделюванні та прогнозуванні можливих аварійних ситуацій, при управлінні експлуатаційною довговічністю поліамідних композицій в контексті техногенно-екологічної безпеки (ТЕБ) [1,2].

ІІ. Об'єкти та результати дослідження

В механізмах фотоокиснення полімерів молекулярні реакції, як правило, не мають великого значення. На практиці необхідно

враховувати реакції з участю трьох типів активних центрів: вільних радикалів, збуджених частинок і в меншій степені – іонів. Згідно теорії ФОД Бучаченка-Емануеля за механізмами вільнорадикальних ланцюгових реакцій [3], кінетичних моделей Денісова-Ершова [4] та фотофізичної діаграми Яблонського [5] швидкість поглинання кисню (\overline{W}_{O_2}) полімерним (р) зразком описується виразом [6]:

$$(\overline{W}_{O_2}) \approx \frac{k_1 \cdot k_6 \cdot k_9 \cdot [(S_1)_p]}{k_2 \cdot k'_8} \cdot K_f \cdot [O_2] \cdot I_0; \quad (1)$$

де k_1 , k_2 , k_6 , k'_8 , k_9 – константи швидкості відповідних реакцій фотоініціювання, флуоресцентного випромінювання, утворення вільних радикалів при первинній фотодисоціації за механізмами розривів чи ефекту клітки (р), за механізмами обриву ланцюгу; фотопоглинання кисню, власне ФОД; $[(S_1)_p]$ – стаціонарна концентрація синглетно-збуджених макромолекул (р); $[O_2]$ – концентрація поглиненого кисню; I_0 – інтенсивність УФ-опромінення; K_f –

коефіцієнт пропорційності.

Представлені нами раніше кінетичні закономірності ФОД для різних марок поліамідів (полікапролактама, ПА-6, ПА-548) під дією штучного довгохвильового опромінення невисокої інтенсивності (I_0) з довжиною хвилі 365÷436 нм, яке не поглинається хромоформними (амідними) групами полімеру [7,8], показали, що швидкість поглинання кисню W_{O_2} і розрив макромолекул (S) в цьому режимі та під дією природного сонячного опромінення виявилися співрозмірними, а домінуючий механізм в обох випадках ФОД є загальним [9]. Однак в цьому “м'якому” режимі фотоокиснення досить скоро встановлюється стаціонарна швидкість поглинання кисню ($dW_{O_2}/dt = \text{const}$) з пропорційною

залежністю кореневі квадратному з інтенсивності світла $\sqrt{I_0}$, чим і зумовлена низька світлозахисна ефективність “чистих” УФ-абсорберів, на відміну від режиму короткохвильового УФ-опромінення ($\lambda=254$ нм), при якому спостерігається лінійна залежність $W_{O_2} \approx K_i \cdot I_0$ подібна до (1) та підвищений вплив ефекту

фотоекранування додатків (d) на поверхні досліджуваного полімеру [6,7]. При механізмі кетоїмідного (К) ініціювання ФОД ПА [9] в режимі максимально наближеному до природного старіння (при малих значеннях I_0 та $\lambda \geq 365$ нм) концентрації низькомолекулярних радикалів $[r]$, проміжного кетоїмідного продукту $[K]$ та пероксидного макрорадикалу $[PO_2^*]$ визначаються залежностями

$$[r] = -\left(\frac{k_7 \cdot I_0}{2k_5}\right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4k_2 \cdot k_5}{k_6 \cdot k_7 \cdot I_0}}\right];$$

$$[K] = \frac{k_3 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot I_0}{4k_2' \cdot k_5^2} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4k_2 \cdot k_5}{k_6 \cdot k_7 \cdot I_0}} - 1\right]^2;$$

$$[PO_2^*] = -\left(\frac{k_3 \cdot k_7 \cdot I_0}{2k_2' \cdot k_5}\right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4k_2 \cdot k_5}{k_6 \cdot k_7 \cdot I_0}}\right],$$

при цьому швидкість ініціювання та фотоокиснення поліамідів описуватимуться виразами (2,3).

$$W_i = 2k_7 I_0 [K], \quad (2)$$

$$W_{O_2} = (k_1 + 2k_2)[PO_2^*] + k_3[r] + k_7 I_0 [K]. \quad (3)$$

Якщо використати для оцінки концентрації радикалів $[r]$ дифузійну константу швидкості $k_6 = 2,6 \cdot 10^6$ кг/моль·с, тоді $k_3 \leq 6,5$ с⁻¹. На відміну від коротко-

Таблиця 1

Залежність стаціонарної швидкості (W_{O_2}) фотоокиснювальної деградації поліамідної плівки (ПА-548) в кінетичній області ФОД від спектра квантованого довгохвильового ультрафіолету в ізотермічному 303±0,05 К кисневому середовищі*.

№ п/п	УФ-спектр опромінення	Час опромінення, τ , год.	Інтенсивність світла, $I_0 \cdot 10^{-8}$ Ейнштейн/см ² ·с	Товщина плівки, 2R(l), мкм	Адсорбент, sg	$[O_2] \cdot 10^3$, моль/кг	$W_{O_2} \cdot 10^7$, моль/кг·с
1	$365 \leq \lambda \leq 436$	31,5	1,97	8,2	—	16,4	2,5
2	$365 \leq \lambda \leq 436$	13,2	1,97	10,4	—	11,2	2,5
3	$365 \leq \lambda \leq 436$	10,0	1,97	14,1	sg	9,6	2,6
4	$\lambda = 313$	12,5	1,33	17,4	—	5,8	1,6
5*	$\lambda = 313$	5,7	1,33	17,4	—	5,3*	1,5
6	$\lambda = 313$	11,0	1,33	16,1	—	5,5	1,5
7	$\lambda \geq 300$	10,0	—	15,3	—	7,3	2,0
8	$\lambda \geq 300$	14,0	—	17,9	—	10,4	2,0
9*	$\lambda \geq 300$	12,5	—	17,9	sg	7,7	2,1

*Примітка: $[O_2]$ – кількість поглинання кисню в моль/кг за 10 год. опромінення; sg – адсорбційний поглинач: силікагель яскраво-синій, активований нагріванням; досліді 5 і 9 проведені з попередньо опроміненими плівками відповідно в досліді 4 і 8; окрім того $[O_2]$ за 10 год. опромінення в досліді 5 розрахована з кінетичної залежності $W_{O_2} = f[O_2]$ при $\tau=5,7$ год.

хвильового опромінення, одержана експериментальна залежність $W_{O_2} \div \sqrt{I_0}$ відповідає виразу для W_{O_2} при достатньо малих I_0 , коли членом $k_7 I_0 [K]$ можна знехтувати, тоді остаточно матимемо залежність [10]:

$$W_{O_2} \div (k_1 + 2k_2) \sqrt{I_0}. \quad (4)$$

На основі проведених кінетичних досліджень [6,7] зроблений висновок, що залежність (4) можлива лише у випадку ланцюгової реакції з квадратичним обривом кінетичних ланцюгів при ланцюговому утворенні та витраті проміжного фотоініціатора (K). Реальний вклад у ініціювання процесу фотоокиснення пероксидних макрорадикалів $[PO_2^{\bullet}]$, проміжного продукту (K) та елімінованих з нього низькомолекулярних радикалів $[r]$ чи введеного в (p) додатку – сенсibilізатора (d) при ФОД ПА різний і залежить від спектрального складу світла [8,11]. Такий механізм виявлений вперше, поки що тільки для поліамідів, тобто є унікальним [9], порівняно недавно одержав незалежне пряме експериментальне підтвердження [12]. Він може бути частково пояснений за допомогою фрактальної кінетики фотоокиснення ПА [13] та виражений відповідною формально-кінетичною схемою, що вказує на пріоритетність прямих кінетично-дифузійних досліджень для вирішення практичних проблем світлозахисту поліамідів [14,15]. Для підтвердження попередніх висновків [6,7] про постійність швидкості фотоокиснення ПА в кінетичній області в процесі довгохвильового опромінення квантованим світлом невисокої інтенсивності різно-спектрального характеру ($\lambda=300\div440$ нм) та розробки кінетичних експрес-методів оцінки ФОД ПА нами вперше на спеціально сконструйованій мікроманометричній установці в динамічному квазі-стаціонарному режимі визначені швидкості поглинання кисню тонкими $2R(l)<30$ мкм поліамідними плівками ПА-548 у відсутності (табл. 1) та присутності введених в полімер (p) промислових, модельних чи спеціально синтезованих

додатків (d) з класу акцепторів вільних радикалів типу екранованих піперидиноксидів, анти-оксидантів типу просторово-затруднених фенолів, УФ-абсорберів та гасіїв синглет (S)-триплетних (T) електронно-збуджених станів типу арилбензотриазольних, бензофенонових, арилоксамідних структур або їх “гібридних” модельних сполук [8-15]. Як видно з рисунка під дією довгохвильового ультрафіолету монохроматичного при $365\leq\lambda\leq436$ нм та $\lambda=313$ нм чи поліхроматичного при $\lambda\geq300$ нм характеру з невисокою інтенсивністю ($I_0<2,0 \cdot 10^{-8}$ Ейнштейн/см²·с) в ізотермічному $T=303\pm0,05$ К кисневому середовищі при несенсibilізованому фотоокисненні практично завжди спостерігається стаціонарний режим поглинання кисню поліамідними плівками з однаковим тангенсом кута нахилу кінетичних кривих та відповідною швидкістю ФОД ПА в кінетичній області $(1,5\div2,5)\cdot10^{-7}$ моль/кг·с, який ідентичний для різних марок аліфатичних поліамідів, встановлюється незалежно від технології та способу приготування, тобто попередньої “історії” полімерного зразку.

Наявність залишків мономерно-олігомерних, каталітичних чи фото-сенсibilізуючих систем, утворених в процесі одержання, переробки та підготовки полімеру до використання, визначає виключно початкову стадію фотоокиснення, де спостерігаються різні значення абсолютного окиснення полімеру ($[O_2]$) та відповідні неідентичні кути нахилу кінетичних кривих. Тому застосування в якості критеріїв ефективності додатків (d) абсолютної окисненості полімеру, аналогічно до критеріїв за періодом індукції, як видно з даних табл. 1, є некоректним та цілком недоцільним. Аналіз кінетичних кривих поглинання кисню ПА-зразками під дією УФ-радіації, яка не поглинається хромоформними групами полімеру з $\lambda\geq360$ нм і в той же час згідно α -кетоїмідної моделі ФОД, проміжні продукти якої відповідають за специфічне поглинання власне в цій області спектру, дозволила нам

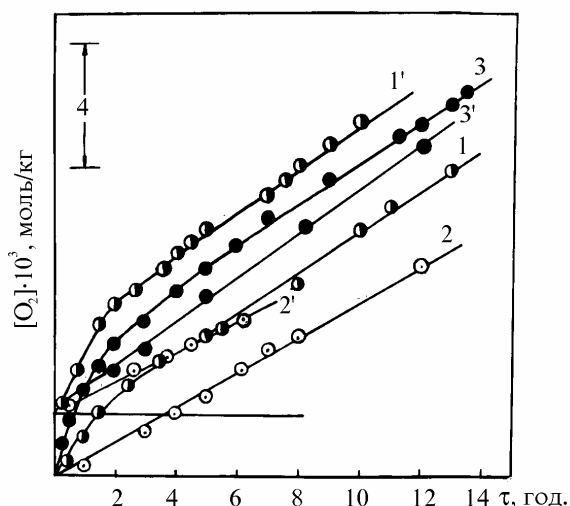


Рис. Кінетичні криві поглинання кисню зразками ПА-548 при ФОД в кінетичній області під дією довгохвильового ультрафіолету монохроматичного при $365 \leq \lambda \leq 436$ нм (1, 1') та $\lambda = 313$ нм (2, 2') чи поліхроматичного при $\lambda \geq 300$ нм (3, 3') характеру з невисокою інтенсивністю $I_0 = (1,3-2,0)10^{-8}$ Ейнштейн/см²·с без поглиначів (1-3, 2') та у присутності активованого силікагеля (1', 3'), де криві 2', 3' одержані після попереднього окиснення в досліді (відповідно криві 2, 3) протягом 12 і 13,5 год, в ізотермічному $T = 303 \pm 0,05$ К кисневому середовищі.

прийняти за міру фотоокиснювальної деградації в кінетичній області граничну "стаціонарну" швидкість поглинання кисню (W_{O_2}) [6-9]. Лінійна кореляція розрахункових та експериментальних значень швидкості фотоокиснення ПА у різних режимах ФОД свідчить про єдину природу сенсibilізованого та не-сенсibilізованого фотоокиснення поліамідів [10,11]. З одержаних кінетичних параметрів можна кількісно визначати практичні

можливості стабілізації ПА та проводити модельне прогнозування ефективності світлозахисної дії (ЕСД) багатофункціональних додатків (d) введених в полімер реально за 5-20 годин квантованого довгохвильового УФ-опромінення [15,16] замість значно дорожчого і тривалого (400-1200 год.) опромінення під час лабораторних випробувань в апаратах штучної погоди типу "Ксенотест", "Везерометр" чи багатомісячних (6-24 місяців) натурних дослідженнях полімерних зразків на відповідно обладнаних високогірних полігонах. На основі цього нами запропоновані актуальні в наш час кінетичні експрес-методи оцінки ФОД та ЕСД певних структур d під дією довгохвильового ультрафіолету невисокої інтенсивності (I_0) на поліамідні об'єкти. При відсутності дифузійних обмежень $(W_{O_2})_r \ll (W_{O_2})_k$ кінетична ефективність світлозахисної дії (ЕСД_k) досліджуваних додатків (d) визначається співвідношенням стаціонарних швидкостей поглинання кисню при ФОД полімеру у відсутності та присутності введеного d:

$$ЕСД_k = (W_{O_2})_0 / (W_{O_2})_d; \quad (5)$$

а його загальна ефективність світлозахисної дії (γ_i) із врахуванням коефіцієнтів фотоекранування (k_e) розраховується за виразом:

$$\gamma_i = k_e (W_{O_2})_0 / (W_{O_2})_d; \quad (6)$$

де для простої бінарної (p-d)-системи в тонких полімерних плівках при $2R(l) < 30$ мкм та умовах дії монохроматичного світла ($d\lambda/d\tau = \text{const}$) коефіцієнт екранування складатиме:

$$k_e = (D_p + D_d) \cdot (1 - 10^{-D_p}) / D_p \cdot [1 - 10^{-(D_p + D_d)}]; \quad (7)$$

в якому D_p та D_d – оптичні густини полімеру та додатку, відповідно.

Тоді на основі формул (4,6,7) матимемо кінцевий вираз γ_i для ПА-зразків, який поєднує світлозахисні ефекти фотоекранування та інгібованого кінетичного надекранування:

$$\gamma_i = \frac{(D_p + D_d) \cdot (1 - 10^{-D_p}) \cdot (k_1 + 2k_2)_0}{D_p \cdot [1 - 10^{-(D_p + D_d)}] \cdot (k_1 + 2k_2)_d}; \quad (8)$$

а в умовах довгохвильового опромінення невисокої інтенсивності

$I_0 \leq 6,5 \cdot 10^{-8}$ Ейнштейн/см²·с та практичного нівелювання ефекту фотоекранування $d(k_e \leq 1,01)$ загальна ефективність

світлозахисної дії визначається виключно константами швидкості фотоініціювання (k_1) та накопичення пріоритетних проміжних продуктів (k_2) у відсутності та присутності введеного додатку (d), тобто першими двома стадіями фотоокиснення полімеру (p):

$$\gamma_i \approx \text{ЕСД}_k \approx \frac{(k_1 + 2k_2)_0}{(k_1 + 2k_2)_d}. \quad (9)$$

При фотоокисненні поліамідного (ПА-6) чи триацетилцелюлозного (ТАЦ) волокна в дифузійно-кінетичній області ($2R=30-150$ мкм) вираз (5) має лише порівняльний характер відносної оцінки ФОД та ЕСД_в відповідних структур d , в якому використовується при стандартних умовах УФ-опромінення (I_0 , λ , τ , $2R$, T_K до $\pm 0,05$ К) виключно квазістаціонарна відносна швидкість поглинання кисню [16-21].

З допомогою розроблених експрес-методів показано, що в кінетичній області під впливом довгохвильової УФ-радіації максимальний ефект світлозахисту поліамідів ($\gamma_i \approx 5,7-6,9$ разів) досягається додатками поліфункціональної дії (УФ-абсорбер, TS-гасій, акцептор вільних радикалів), зокрема дією ди(тетраметилпіперідил) та ди(тетраметилпіперидиноксил)оксамідних структур чи їх промислових аналогів типу Tinuvin 770 [14,15]. Також значні стабілізаційні ефекти ($\gamma_i \approx 3,1-4,7$ разів) одержані при введенні в полімер дво-трикомпонентних сумішей (УФ-абсорбер, TS-гасій, акцептор вільних радикалів та антиоксидант), зокрема похідних диариллоксаміду, просторово-затруднених аміну та фенолу з сумарним синергічним ефектом в кінетичній області $\text{СЕ}_k \approx 8,8$ та $16,9$ разів, в тому числі і для сумішей їх промислових аналогів типу Sanduvor VSU, Tinuvin 770, Irganox 1010 [16]. Цікавими виявилися результати про переважно сенсibiliзуючу дію антиоксидантів, зокрема відомих термостабілізаторів типу Irganox 1010, Фенозан-23 ($\gamma_i \approx \text{ЕСД}_k \approx 0,4$) в умовах довгохвильового опромінення з $\lambda \geq 365$ нм і відсутності інших додатків (УФ-абсорбера, TS-гасія, акцептора вільних радикалів) [8], що практично підтверджує пріоритетність

непероксидного механізму довгохвильового окиснення поліамідів. Отже, згідно фотокінетичної моделі ФОД ПА в умовах максимально наближених до природного старіння, ефективний світлозахист поліамідів практично можна здійснювати двома шляхами: придушенням ініціюючої ролі α -кетомідного (К) продукту за фізичним механізмом синглет-триплетного гасіння електронно-збуджених станів (p-d)-системи [20,21] та зв'язуванням утворених з нього радикалів за хімічним механізмом акцептування вільних радикалів [8,14]. В той же час, одержана експериментальна залежність (4) вказує на безперспективність застосування "чистих" УФ-абсорберів чи їх модельних сполук в такому режимі фотоокиснення полімеру. Однак, в реальних умовах експлуатації сумарний ефект захисту від ФОД визначається поліхроматичною кінетикою гетерогенних процесів [4] та багатьма факторами, в тому числі матрично-дифузійними [3], що лімітують сферу їх дії переважно у поверхневих аморфних шарах полімеру, де часто зовсім інші показники стають основними критеріями ТЕМ АС та ЕСД функціональних додатків [1]. Слід відмітити, що застосування відомих критеріїв ефективності, таких як абсолютна окисненість ($[O_2]$) та період індукції (τ_{ind}) при модельному тестуванні додатків чи прогнозуванні експлуатаційних фізико-механічних характеристик при ФОД ПА з $\lambda > 360$ нм є малоперспективними з низькою вірогідністю одержуваних прогнозів. Одночасно, в багатьох випадках кінетична характеристика W_{O_2} є надзвичайно вигідною, бо дозволяє до виникнення аварійної ситуації контролювати фотоокиснювальну деградацію поліамідного волокна в умовах, максимально наближених до природних, причому в 10-200 разів швидше, ніж в апаратах штучної погоди на самих ранніх стадіях деструкції полімеру, коли зміни більшості його корисних (моніторингових) експлуатаційних властивостей ще є непоміченими та техногенно-безпечними [2]. Встановлена нами симбатна кореляційна залежність між W_{O_2} , I_0 , ЕСД, γ_i , СЕ_k введених додатків, їх структурою та

змінами основних фізико-механічних (залишкової міцності та молекулярної маси, подовження при розриві, характеристичної в'язкості) та інгредієнтно-колеристичних (світлостійкості забарвлення, залишкової концентрації барвника) характеристик ФОД хімічного волокна (ПА-6 і ТАЦ тканини) у дифузійно-кінетичній області фотоокиснення відповідно в мікроманометричному та апаратному (імітатор штучної погоди типу "Ксенотест-150" та "Федометр-25F") режимах [15-21] виступає позитивним доповненням до одержаних кінетичних досліджень.

III. Висновок

Розроблені науково-методичні підходи захисту поліамідів від УФ-радіації в умовах максимально наближених до природного

старіння, запропонований перспективний кінетичний експрес-метод оцінки фотоокиснювальної деградації та ефективності світлозахисної дії введених у поліаміди додатків в контексті техно-екологічного моніторингу цих процесів можуть бути використані для збільшення терміну служби полімерних виробів, світлостійкості та надійності їх в експлуатації. Відомо, що підвищення експлуатаційної довговічності полімерного волокна, як правило, еквівалентне відповідному зростанню його виробництва. Це особливо актуально для теперішньої ринкової економіки України в умовах постійного росту потреби в полімерних матеріалах, дефіциту енергоресурсів та сировини для їх промислового виробництва.

- [1] І.М. Смоленський. Наукові основи захисту від УФ-радіації полімерних композицій і технологічний моніторинг цих процесів // *Тези доп. ХУІІІ Укр. конф. з орг. хімії.* ДДУ, Дніпропетровськ, ч. 2. с. 478 (1998).
- [2] І. Смоленський, Н. Котюшко. Проблеми УФ-радіаційної атмосферостійкості полімерів в контексті техногенно-екологічної безпеки // *Тези доп. н.-т. конф. проф.- викл. складу ІФДТУНГ.* Факел, Івано-Франківськ, сс. 159-160 (2001).
- [3] Н.М. Эмануэль, А.Л. Бучаченко. *Химическая физика молекулярного разрушения и стабилизации полимеров.* Наука, М., 367 с. (1988).
- [4] Е.Т. Денисов. *Окисление и деструкция карбоцепных полимеров.* Химия, Л. 288 с. (1990).
- [5] Гиллет Дж. Фотофизика и фотохимия полимеров // *Введение в изучение фотопроцессов в макромолекулах.* Мир, М., 435 с. (1988).
- [6] І.М. Смоленський. Фотофізичні та кінетичні особливості деградації хімволокон в умовах пріоритетного впливу УФ-радіації // *Зб. Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технологій.* сс. 198-201 (1998).
- [7] Л.М. Постников, И.Н. Смоленский, Е.В. Вичутинская. Фотоокисление и светостабилизация алифатических полиамидов в условиях длинноволнового облучения // *Тез. докл. УІ конф. Старение и стабилизация полимеров.* УНИ, Уфа, с. 52 (1983).
- [8] И.Н. Смоленский, Л.М. Постников, Е.В. Вичутинская. Световая стабилизация алифатических полиамидов // *Пластические массы. Химия,* 7. сс. 59-60 (1985).
- [9] Л.М. Постников. Новый механизм фотоокисления алифатических полиамидов // *ДАН СССР.* 281(5), сс. 1152-1156 (1985).
- [10] L.M. Postnikov, E.V. Vichutinskaja, I.M. Smolensky, I.S. Lukomskaja. Photooxidation and Stabilization of Polyamides of Long-Wavelegth Exposure // *Sbornic Odbornych Sdelen "Polyamidy - 84". Chlum u Třeboňe: CSVTS,* pp. 208-212 (1984).
- [11] Л.М. Постников, Е.В. Вичутинская, И.С. Лукомская. О природе фотоинициирования в длинноволновом фотоокислении полиамидов // *Высокомол. Соединения, (А)XXVII*(10), сс. 2175-2183, (1985).
- [12] L.M. Postnikov, A.B. Dubovitsky and Ya. Sebenda. Direct Verification of the Ketoimide Mechanism of Photooxidation in Aliphatic Polyamides // *Polymer Science B,* 39(5-6), pp. 194-196 (1997).
- [13] Postnikov L.M., Vinogradov A.V. Fractal kinetic of the oxidation of aliphatic polyamides // *Oxidation Communications,* 21(1), pp. 37-50 (1998).

- [14] И.Н. Смоленский, Л.М. Постников, А.Л. Казилюнас, Е.Н. Мокрый. Некоторые проблемы фотостабилизации алифатических полиамидов // *Тез. докл. XXII Всес. конф. по высокомолекулярным соединениям*, ОИХФ АН СССР, Черноголовка, с. 142 (1985).
- [15] І.М. Смоленський. Кінетичний метод оцінки фотодеградації хімволокон та технологічний моніторинг цих процесів // *Сб. тр. по техн. Хімії*, ІХБП НАН України, Київ, с. 455 (1997).
- [16] И.Н. Смоленский, Л.М. Постников. Новый класс О,С-блокированных бифункциональных светостабилизаторов химволокон // *Сб. Деструкция и стабилизация полимеров. Тез. докл. IX конференции*, ИХФ РАН, М., сс. 184-185 (2001).
- [17] А.Л. Казилюнас, И.Н. Смоленский, В.Л. Беляев. Повышение светостойкости текстильных материалов полифункциональными светостабилизаторами // *Сб. Теория и практика отделки текстильных материалов. Тезисы докл. Всес. н.-т. конф.*, МТИ, М., с. 124 (1988).
- [18] А.Л. Казилюнас, И.Н. Смоленский, В.И. Марков и др. Влияние производных диариллоксамида на выцветание красителей и фотоокислительную деструкцию полиамидных и ацетилцеллюлозных волокон // *Научн. тр. выс. учеб. зав. ЛССР. Химия и хим. технология*, Мокслас, Вильнюс, **XXV**, сс. 102-105 (1984).
- [19] А.Л. Казилюнас, И.Н. Смоленский, С.С. Гонтарь и др. Исследование светостабилизирующих свойств производных 2-оксиарилбензотриазолов при фотоокислении триацетилцеллюлозных волокон. // *Научн. тр. выс. учеб. зав. ЛССР. Химия и хим. технология*. Мокслас, Вильнюс, **XXVI**, сс. 95-103 (1985).
- [20] І.М. Смоленський. Механізм захисної дії ариллоксамідних структур при УФ-деградації поліамідів // *Вісн. НУ "Львів. політех."*, 414, сс. 92-98 (2000).
- [21] І.М. Смоленський. Синтез і дослідження поліфункціональних бензотриазол-бензофенонових структур для направленої фотодеградації хімволокон // *Тези доп. XIX Укр. конф. з орг. хімії*. НУЛП, Львів, с. 56 (2001).

I.M. Smolensky

The Kinetic Evaluation Method of the Photooxidation Polyamid Degradation and Technoecological Monitoring of These Processes

*Ivano-Frankivsk National Technical Oil and Gas University,
15, Karpatska St., Ivano-Frankivsk-19, Ukraine, 76019;
E-mail: ismolensky@ifdtung.if.ua.*

Kinetic method of polyamid (PA) photooxidation degradation evaluation were designed as well as the method of evaluation of the light protection efficiency of the additions to the PA under the impact of quantized longwave UV-radiation which is the closest to the natural aging environment. This permits to perform technoecological and environmental monitoring of the processes 10 to 200 times faster than in the artificial weather equipment.