

Коновалова В. В., Самченко Ю. М., Чикета О. О., Андронюк Ю. О.,  
Побігай Г. А., Комарський С. А., Бурбан А. Ф.

## КОМПОЗИЦІЙНІ МЕМБРАНИ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ ГІДРОГЕЛІВ ТА УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНИХ МЕМБРАН ІЗ ФУНКЦІЄЮ pH- І ТЕРМОЧУТЛИВОСТІ

*Удосконалення та розширення функціональних можливостей промислових полімерних мембран є пріоритетним напрямом розвитку сучасної мембранології. Особливий інтерес викликає поєднання їхніх властивостей з унікальними можливостями pH- і термочутливих полімерних гідрогелів. У статті описано одержання композиційних «розумних» систем на основі промислових ультрафільтраційних мембран і полімерних гідрогелів. Гідрогелі отримано методом радикальної кополімеризації та досліджено їх криві набрякання при зміні зовнішніх факторів. Вивчено властивості одержаних композиційних мембран залежно від складу гідрогелю, типу полімерної матриці, температури й pH зовнішнього середовища.*

**Ключові слова:** мембрана, гідрогель, набрякання, pH-, термочутливість, фазовий перехід, поліізопропілакриламід.

### Вступ

Сучасні дослідження та розробки в галузі полімерних і мембранних технологій фокусуються на інноваціях, які дають можливість вдосконалити властивості відомих синтетичних мембран. Провідне місце у цих дослідженнях посідає одержання новітніх композиційних або гібридних мембран із функціональними полімерними гідрогелями. Полімерні гідрогелі належать до одного із найцікавіших станів полімеру з багатьма відомими і ще більшою кількістю мало досліджених перспективних властивостей. Поєднання за допомогою відповідного способу модифікування властивостей жорстких пористих мембран і м'яких полімерних гідрогелів дає можливість на практиці застосувати функціональність цих об'єктів в абсолютно унікальний спосіб.

Різноманіття відомих полімерних мембран та гідрогелів зумовлює величезну кількість варіацій майбутніх композиційних систем. Особливості останніх визначатимуться природою і пористою структурою жорсткої основи (мембрани), структурою та складом гідрогелю, а також характером їх взаємодії (розподілом гелю на поверхні та у порах мембрани, фізико-хімічними процесами заповнення пор і прищеплення полімерних ланцюгів на поверхні). Взаємодія всіх цих факторів дає можливість отримати велику кількість повністю відмінних одна від одної композиційних мембранних систем з абсолютно різними можливостями практичного використання, серед яких: сенсорність та біокаталітичні властивості, специфічне масове розділення, контро-

льоване очищення від забруднень, біомедична інженерія і технології мікросистем [1–4].

Особливу увагу науковці приділяють так званим розумним системам, які в той чи інший спосіб копіюють роботу живих організмів та природних утворень, відповідаючи на зовнішні подразники зміною таких фізико-хімічних і поверхневих характеристик, як сорбційна ємність, здатність до набрякання, проникність, поверхнева активність та селективність, а також оптичні властивості. Серед зовнішніх факторів, впливу яких експериментально піддаються вищезгадані системи, найпоширенішими є йонна сила, освітленість, зміна електричних і магнітних полів [5–8]. Проте провідна роль в інженерії та дослідженні «розумних» полімерних систем належить найпоширенішим факторам живої природи, а саме – зміні температури та pH середовища. Полімерні гідрогелі з функцією pH- і термочутливості використовують у біомедичних дослідженнях, пов'язаних з розробкою лікарських препаратів пролонгованої дії та контрольованої доставки, для молекулярного розділення, контролю активності ферментів і створення матеріалів для покращення біосумісності [5–13]. Проте використання таких гідрогелів у фізико-хімічних процесах, пов'язаних із перепадами тисків та зміною інших термодинамічних параметрів, обмежене нестабільністю гелевої структури. Транспорт конвективним потоком крізь набряклі гідрогелі можливий тільки тоді, коли гель стабілізований у пористій підкладці і зберігає свою цілісність [3–4]. Саме тому поєднання властивостей pH- і термочутливих гідрогелів із структурними та механічними перевагами полі-

мерних мембран відкриває нові унікальні можливості для створення стійких розумних полімерних систем із безліччю перспективних сфер застосування.

Метою статті є дослідження можливості поєднання функцій промислових ультрафільтраційних мембран різної природи й морфології поверхні та рН- і термочутливих гідрогелів різного складу, а також вивчення експлуатаційних параметрів одержаних композиційних систем.

### Матеріали і методи

Для модифікування використовували промислові ультрафільтраційні поліетерсульфонові (P050) (ПЕС) та полівініліденфторидні (UV 150-T) (ПВДФ) мембрани виробництва Microdyn Nadir (Німеччина), cut-off яких становить відповідно 50 та 150 кДа.

Для надання системам функції термочутливості використовували мономер N-ізопропілакриламід (NiПААм) (Sigma-Aldrich), який додатково очищували шляхом перекристалізації в n-гексані й висушували у вакуумі.

Для надання гідрогелям функції рН-чутливості використовували акрилову кислоту (АК) та аліламінігдрохлорид (ААМГХ). Акрилову кислоту переганяли у вакуумі та додатково очищували шляхом кристалізації. Алліламінігдрохлорид синтезували так: 30 г алліліміну розчиняли у 300 мл абсолютного діетилового ефіру. Розчин охолоджували до температури – 15 °С та барботували крізь нього газоподібний хлороводень до значення рН 3,0. Білі кристали аліламінігдрохлориду відфільтровували і висушували у вакуумі.

Зшивальний агент N,N-метиленабісакриламід (МБА) та компоненти окисно-відновної ініціувальної системи персульфат амонію (ПСА) і тетраметилетилендіамін (ТМЕД) використовували без попередньої очистки.

Ступінь набрякання гідрогелів (Q) визначали масометрично при значеннях рН 1,68; 6,86 та 9,18 і температурах від 5 до 54 °С.

Для визначення коефіцієнта затримання одержаних мембран (R, %) використовували 0,3 % водні розчини поліетиленгліколю (ПЕГ) з молекулярною масою (ММ) 0,4, 1,5, 4, 10, та 20 кДа (Fluca) та 0,01 % водний розчин бичачого інсуліну з молекулярною масою 6 кДа.

Розділювальні характеристики мембран вивчали із використанням ультрафільтраційної комірки непроточного типу Amicon 8050 (Millipore, США).

### Модифікування мембран

Оскільки поліетерсульфонові та полівініліденфторидні мембрани є хімічно стійкими, мо-

дифікування проводили шляхом створення гідрогелів у порах мембрани шляхом радикальної полімеризації. У випадку ПЕС мембран для кополімеризації використовували NiПААм та АК, а для ПВДФ мембран – NiПААм й ААМГХ. Як зшивальний агент використовували МБА різної концентрації; для ініціювання застосовували окисно-відновну систему ПСА–ТМЕД. Компоненти гелеутворювальної композиції у складі NiПААм+АК\ААМГХ+МБА+ПСА+ТМЕД змішували, потім гомогенізували шляхом витримання на ультразвуковій бані протягом 2 хв, охолоджували до 0 °С та протягом 2 хв через отриману композицію барботували аргон. Після цього її тричі пропускали у вакуумі крізь зразки промислових ультрафільтраційних мембран і поміщали у шаблон між двома плоско-паралельними скляними пластинами на 1 год. для завершення процесу полімеризації. Отримані композиційні мембрани багаторазово промивали у надлишку дистильованої води.

Таким чином, одержано два типи композиційних мембран: 1) ПЕС+PiПААм+АК; 2) ПВДФ + PiПААм+ААМ. У випадку композитної мембрани (1) концентрація зшитого полімеру у гідрогелі становила 17 мас. %, концентрація зшивального агента – 0,045 мас. %, а співвідношення NiПААм і АК у композиції – 11:1. У випадку композитної мембрани (2) концентрація зшитого полімеру у гідрогелі становила 21 мас. %, концентрація зшивального агента – 0,13 мас. %, а співвідношення NiПААм і ААМГХ у композиції – 9:1.

### Результати та їх обговорення

Своїми сенситивними властивостями специфічні компоненти, які входять до складу рН- і термочутливих гідрогелів, завдячують конформаційній перебудові ланцюгів макромолекул внаслідок зміни співвідношення гідрофільно-гідрофобних взаємодій полімерних ланцюгів між собою та з молекулами розчинника. З цієї метою широко застосовують синтетичні слабкокислотні або слабоосновні поліелектроліти, конформація ланцюгів яких залежить від ступеня дисоціації йоногенних груп [6–8].

До найпоширеніших термочутливих полімерів належить полі-N-ізопропілакриламід (PiПААм). Незначні зміни температури навколо критичного значення (для PiПААм  $T_k = 32$  °С) призводять до зворотного фазового переходу, зумовленого згортанням та розгортанням макромолекул полімеру. При температурі вищій від критичної частка гідрофобних взаємодій між ланцюгами зростає і розчинність полімеру при цьому знижується. При зниженні температури нижче критичної переважають взаємодії полімер-розчинник, що призводить до гідрофілізації по-

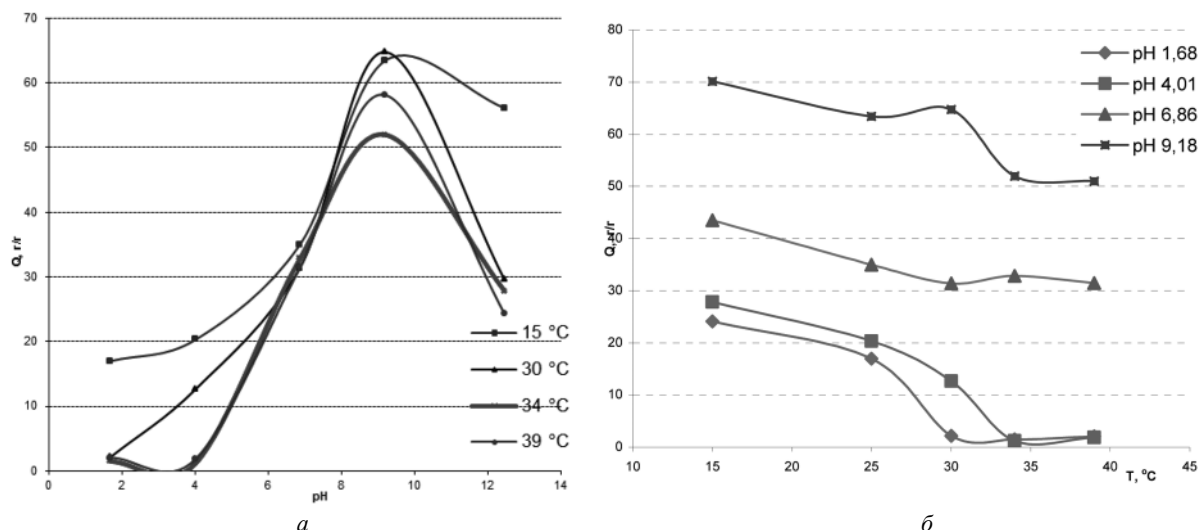


Рис. 1. Залежність ступеня набрякання гідрогелів на основі NiPAAm -AC (11:1): *a* – від pH; *б* – від температури

лімеру та переходу його в розчинну форму [13–14]. Для зшитих гідрогелів на основі ПіПАА зміна температури навколо критичного значення зумовлює золь-гель перехід, який проявляється в суттєвій зміні ступеня набрякання. Гідрогель переходить від стиснутого колапсованого стану до розгорнутого набряклого і навпаки, утворюючи своєрідну пульсуючу систему, робота якої чітко контролюється ззовні [1; 14].

До рН-чутливих полімерів належать поліелектроліти, які містять слабкі кислотні або основні групи, що здатні протонуватися та депротонуватися у відповідь на зміну рН середовища. При цьому відбувається зміна конформації їхніх макроланцюгів, яка призводить до зростання чи зменшення гідродинамічного об'єму полімеру [6–8; 15–16]. У цьому випадку фазовий перехід між колапсованим та набряклим станами полімеру пояснюється зміною осмотичного тиску, який здійснюється рухливими протійонами, що нейтралізують заряд йонізованої полімерної сітки [15].

Типовим представником аніонних рН-чутливих полімерів є поліакрилова кислота (ПАК). При низьких значеннях рН полімерна сітка ПАК перебуває в колапсованому стані внаслідок протонування та деіонізації кислотних груп, тоді як підвищення значень рН призводить до набрякання полімеру [16]. Протилежну поведінку можна спостерігати для гідрогелів із позитивно-зарядженими функціональними групами, в яких деіонізація відбувається при підвищенні рН. До таких полімерів із слабоосновною аміногрупою належить гідрохлорид поліаліламіну. Завдяки значному впливу йонної сили та рН розчинів цього полімеру на його конформаційні та механічні властивості, поліаліламін часто використовують для формування поліелектролітних шарів для матеріалів із функцією контрольованого включення/виключення [15; 17].

Коефіцієнт набрякання гідрогелів є важливим параметром, що визначає кількість розчинника в гідрогелі у стані рівноваги і є функцією структури полімерної сітки, ступеня зшивання, гідрофільності та ступеня дисоціації функціональних груп, що, своєю чергою, залежить від температури, йонної сили і рН середовища.

Передовсім необхідно відзначити відмінності у впливі величини рН на набрякання гелів, що містять кислотні (акрилова кислота) та основні (аліламін) групи. Для перших із них (зокрема, для зразка зі співвідношенням  $n$ -PAAm:AC = 9:1) характерне монотонне зростання ступеня набрякання в діапазоні рН від 1,68 до 9,18 (рис. 1, *a*). Це пояснюється йонізацією у лужному середовищі карбоксильних груп (їх трансформацією від  $-COOH$  до  $-COO^-$ ), яке зумовлює електростатичне відштовхування макромолекулярних ланцюгів. Цікавими також є температурні залежності для даних гідрогелів. Як видно з рис. 1 (*б*), ступінь набрякання гідрогелів при нейтральному рН мало залежить від температури. Вищу термочутливість гідрогелі проявляють у кислому та лужному середовищах. Температура фазового переходу при цьому становить близько 30 °C.

Коефіцієнт набрякання гомополімерів на основі ПіПААм майже не залежить від рН середовища. Кополімеризація NiPAAm із різними мономерами дає можливість цілеспрямовано змінювати характер кривих набрякання і температуру фазового переходу кополімерних гідрогелів. Так, додавання гідрофільних ланок призводить до зростання  $T_c$ , а гідрофобних – до зниження [10]. Як видно з рис. 2, температура фазового переходу для кополімерів, котрі містять 10 % аліламінгідрохлориду, становить 35–37 °C, що є дещо вищим значенням, ніж для гомополімеру ПіПААм. Аліламін є мономером,

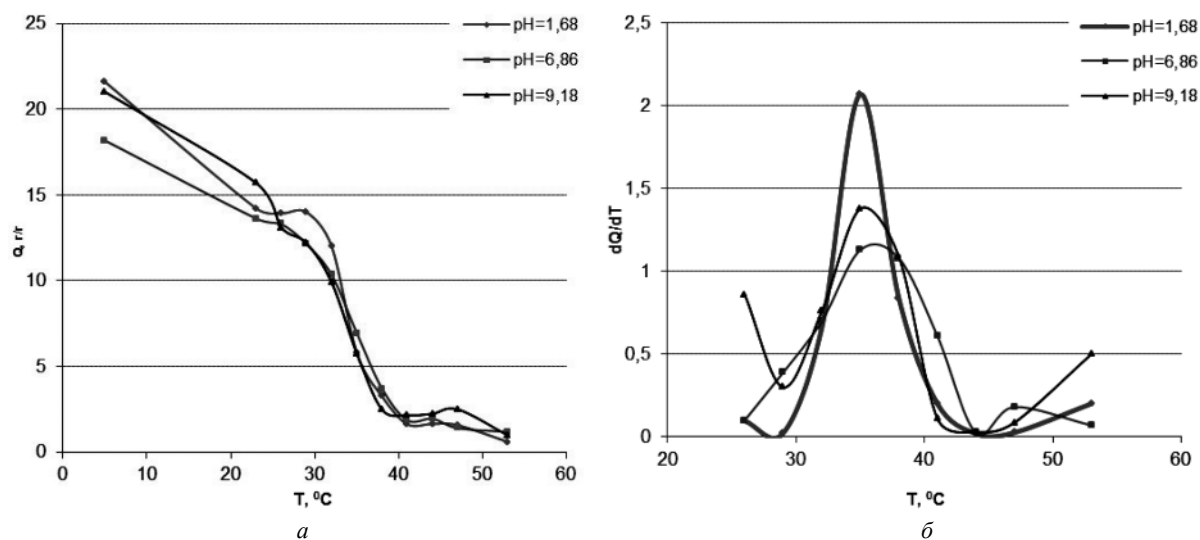


Рис. 2. Температурна залежність ступеня набрякання гідрогелів на основі NiPAAm-AAH (9:1) від pH: а – пряма залежність; б – диференційна залежність

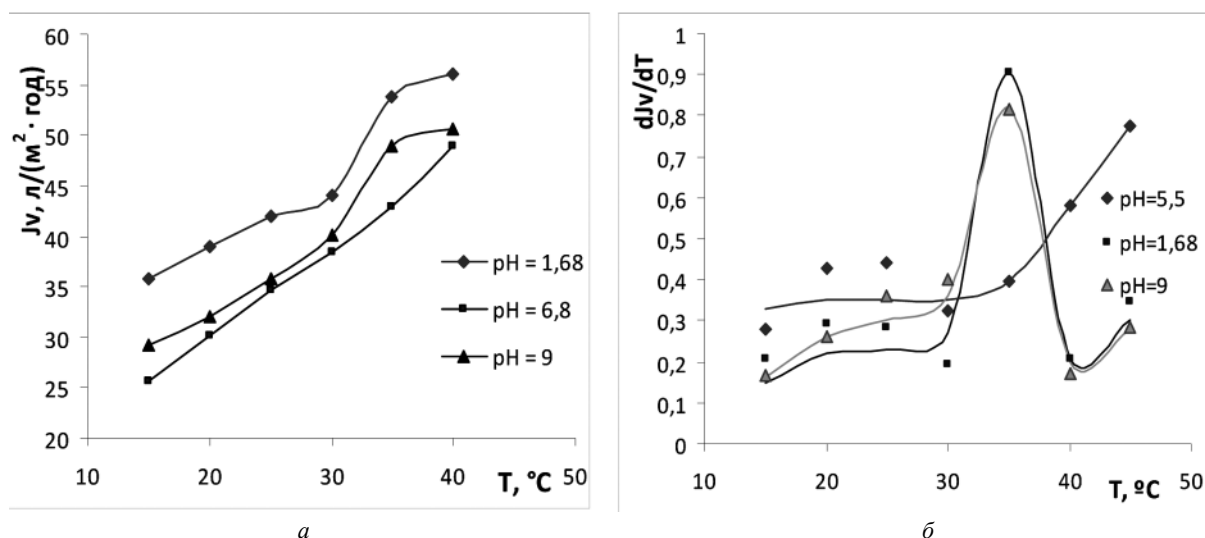


Рис. 3. Залежність об'ємного потоку води крізь мембрани ПЕС-ПіПААм-АК: а – від температури; б – від pH середовища

що містить гідрофільні аміногрупи, і тому введення його в кількості 10 % (мас.) до синтезованої суміші спричиняє зростання температури фазового переходу. Зміна pH не зміщує температуру фазового переходу. Проте, як видно з диференційних кривих набрякання (рис. 2, б), pH значно впливає на швидкість відповіді системи на зміну температури, а отже, можна стверджувати, що структура гідрогелів залежить як від температури, так і від pH навколишнього середовища.

Основними транспортними характеристиками мембран є їхня продуктивність та селективність. Як відомо з рівняння Гагена-Пуазеля, об'ємний потік крізь мембрану обернено пропорційний в'язкості розчину, тому з підвищенням температури продуктивність мембран зростає лінійно, а селективність майже не змінюється. Як видно з рис. 3, криві температурної залежності об'ємного потоку композитних мембран

ПЕС-ПіПААм-АК мають характерний злам у ділянці температури фазового переходу, яка згідно з диференційними кривими становить 35 °C. Значення pH не викликає зміщення температури фазового переходу, проте в нейтральному середовищі термочутливість мембран дещо втрачається, що узгоджується з даними стосовно набрякання відповідних гідрогелів.

Продуктивність мембран значно вища в кислому середовищі, ніж у лужному, адже гідрогель містить ланки акрилової кислоти і його набрякання збільшується при посиленні лужних властивостей, а отже, й більшою мірою заповнюватиме поровий простір мембрани.

Селективність модифікованої гідрогелем мембрани також зменшується зі зростанням температури та зі зниженням pH робочого розчину. Різке падіння селективності в температурному інтервалі від 25 до 35 °C спричинене конформа-

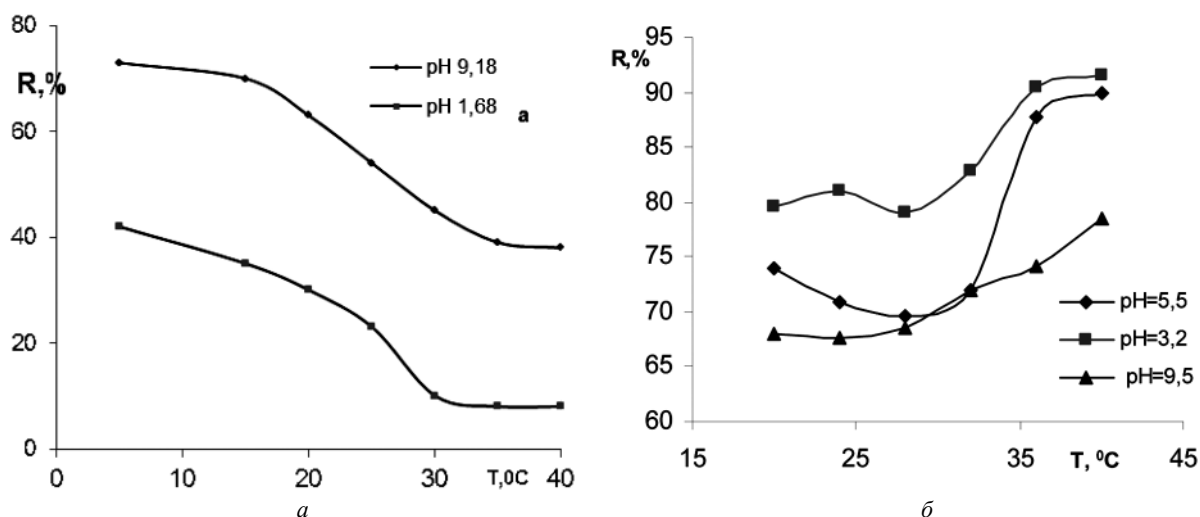


Рис. 4. Залежність коефіцієнта затримування від температури при різних рН: *a* – затримування ПЕГ 1500 мембраною ПЕС-ПіПААМ-АК; *б* – затримування інсуліну мембраною ПВДФ-ПіПААМ-ААм

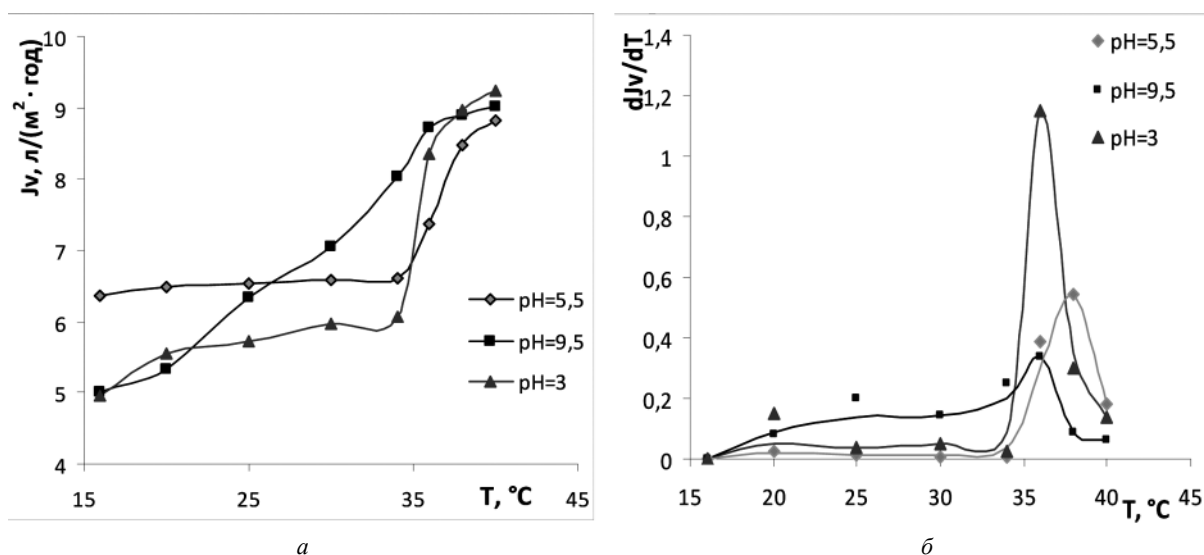


Рис. 5. Залежність об'ємного потоку води мембрани ПВДФ-ПіПААМ-ААм від температури (*a*) та рН (*б*)

ційною зміною гідрогелю в порах мембрани. Як бачимо, зі зростанням значень рН середовища величина коефіцієнта затримування мембраною ПЕГ-1500 збільшується, що пояснюється зростанням ступеня набрякання гідрогелю в кислому середовищі (з 40 % до 75 % для ПЕГ-1500 при температурі 5 °С та з 10 % до 42 % для ПЕГ-1500 при температурі 40 °С).

На відміну від мембран ПЕС-ПіПААМ-АК, композитні мембрани на основі гідрогелів ПіПААМ-ААМ формували використовуючи широкопористу ультрафільтраційну мембрану з полівініліденфториду, що характеризується значно вищою гідрофобністю. Розділювальні та транспортні характеристики отриманих ПВДФ-ПіПААМ-ААМ мембран представлено на рис. 4 (*б*) і 5.

Отримані мембрани також проявляють як термо-, так і рН чутливість, але залежності ве-

личин об'ємного потоку та коефіцієнта затримування від температури і рН суттєво різняться. З диференціальних та інтегральних кривих зміни об'ємного потоку при різних рН (рис. 5) видно, що мембрани прогнозовано проявляють фазовий перехід при температурі 35 °С, причому рН впливає як на швидкість відповіді системи на зміну температури, так і на сам температурний діапазон. Так, у кислому і нейтральному рН піки на диференціальних кривих припадають на 35 та 37 °С відповідно. Найбільшу швидкість відповіді системи на зміну температури одержані композитні мембрани проявляють у кислому середовищі, а найменшу – в нейтральному, що пояснюється зниженням ступеня набрякання аміновмісних гідрогелів зі зростанням значення рН.

Як видно з рис. 5, при нейтральному та кислому рН до температури фазового переходу

об'ємний потік майже не залежить від температури, що суперечить рівнянню Гагена–Пуазеля. Це означає, що в цьому випадку транспортні властивості мембрани визначаються структурою гідрогелю і не залежать від морфології полівініліденфторидної мембрани. Класичне зростання величини об'ємного потоку зі зростанням температури відбувається при рН 9,5, коли гідрогель має найменший ступінь набрякання. Отримані мембрани характеризуються високим коефіцієнтом затримування, що також є функцією рН і температури. Найвищий коефіцієнт затримування має мембрана при кислому рН, що також пояснюється йонізацією аміногруп гідрогелю. Зі зміною величини рН від 3 до 9,5 коефіцієнт затримування зменшується на 25–40 % залежно від температури. Найцікавішим є те, що зі зростанням температури та збільшенням об'ємного потоку після температури фазового переходу коефіцієнт затримування інсуліну зростає. При нейтральному рН зростання коефіцієнта затримування за рахунок фазового переходу становить від 70 до 87 %, а кислому – від 80 до 95 %. Це пояснюється особливістю формування композиційних гідрогелевих полімерних мембран із різною природою поверхні. На відміну від частково-гідрофілізованого поліетерсульфону, при формуванні гідрогелю на гідрофобних полівініліденфторидних мембранах ініціувальна суміш мономерів не потрапляє в поровий простір мембрани і відповідно формування гідрогелю відбувається на його поверхні. Гідрогелева мембрана, що утворюється при цьому, є прототипом динамічної мембрани, що має свою структуру і не залежить від порової структури мембрани носія. Так, в результаті фазового переходу структура гідрогелю ущільнюється, що і призводить до зростання коефіцієнта затримування.

## Висновки

Методом радикально ініційованої кополімеризації синтезовано гідрогелі на основі кополімерів ПіПААм та АК (11:1) і ПіПААм та АлАм (9:1). Досліджено температурну залежність ступеня набрякання гідрогелів у діапазоні рН від 1,68 до 9,18 і встановлено температури фазових переходів гідрогелів, що мають 32–35 та 35–37 °С, відповідно. Показано, що ступінь набрякання залежить від йонізації функціональних груп гідрогелів.

На основі отриманих кополімерів сформовано композиційні мембрани шляхом іммобілізації гідрогелів у матриці поліетерсульфонових і полівініліденфторидних промислових ультрафільтраційних мембран. Показано, що формування гідрогелю залежить від природи поверхні полімерної матриці.

Досліджено транспортні властивості мембран ПЕС-ПіПАА-АК. Показано, що мембрани є термо- та рН-чутливими до вилучення з розчину молекул із ММ 1000–1500 Да й мають температуру фазового переходу 30–35 °С. Встановлено, що зі зростанням значень рН від 1,68 до 9 продуктивність мембран зменшується, а коефіцієнт затримування збільшується на 30 %, внаслідок зменшення ступеня набрякання гідрогелю в порах мембрани.

Досліджено транспортні властивості мембран ПВДФ-ПіПААм-ААм. Визначено, що при нейтральному та кислому рН до Тф транспортні властивості модифікованої ПВДФ мембрани визначаються структурою гідрогелю і не залежать від морфології мембрани. Показано, що після температури фазового переходу продуктивність і коефіцієнт затримування мембран зростають на 15–20 %, що пояснюється ущільненням порової структури гідрогелевої мембрани.

## Література

1. Pastoor K. J. Anion Effects on the Phase Transition of N-Isopropylacrylamide Hydrogels / K. J. Pastoor, C. V. Rice // *Journal of Polymeric Science*. – 2012. – Vol. 50. – P. 1374–1382.
2. Banerjee I. Wound pH-Responsive Sustained Release of Therapeutics from a Poly(NIPAAm-co-AAc) Hydrogel / I. Banerjee, D. Mishra, T. Das, T. K. Maiti // *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*. – 2012. – Vol. 23, No. 1–4. – P. 111–132.
3. Adrus N. Novel hydrogel pore-filled composite membranes with tunable and temperature-responsive size-selectivity / N. Adrus, M. Ulbricht // *Journal of Materials Chemistry*. – 2012. – Vol. 22. – P. 3088–3098.
4. Yang Q. Composites of functional polymeric hydrogels and porous membranes / Q. Yang, N. Adrus, F. Tomicki, M. Ulbricht // *Journal of Materials Chemistry*. – 2010. – Vol. 21. – P. 2783–2811.
5. Kim J. J. Smart hydrogels for bioseparation / J. J. Kim, K. Park // *Bioseparation*. – 1999. – Vol. 7. – P. 177–184.
6. Feng W. Smart Polymeric Coatings – Recent Advances / W. Feng, S. H. Patel, M.-Y. Young et al. // *Advances in Polymer Technology*. – 2007. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–13.
7. Minko S. Responsive Polymer Brushes / S. Minko // *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*. – 2006. – Vol. 46. – P. 397–420.
8. Aguilar M. R. Román Smart Polymers and Their Applications as Biomaterials / M. R. Aguilar, C. Elvira, A. Gallardo, B. Vázquez // *Topics in Tissue Engineering*. – 2007. – Vol. 3. – P. 1–27.
9. Siband E. Thermoresponsive Interpolyelectrolyte Complexation: Application to Macromolecular Assemblies / E. Siband, Y. Tran, D. Hourdet // *Macromolecules*. – 2011. – Vol. 44. – P. 8185–8194.
10. Lee W.-F. Swelling behaviour and drug release of NIPAAm/PEGMEA copolymeric hydrogels with different crosslinkers / W.-F. Lee, Y.-H. Lin // *Journal of Material Science*. – 2006. – Vol. 41. – P. 7333–7340.
11. Zhang J. Synthesis and Characterization of pH- and Temperature-Sensitive Poly(methacrylic acid) / Poly(N-isopropylacrylamide) Interpenetrating Polymeric Networks / J. Zhang, N. A. Peppas // *Macromolecules*. – 2000. – Vol. 33. – P. 102–107.

12. Lokuge I. Temperature-Controlled Flow Switching in Nanocapillary Array Membranes Mediated by Poly(N-isopropylacrylamide) Polymer Brushes Grafted by Atom Transfer Radical Polymerization / I. Lokuge, X. Wang, P. W. Bohn // *Langmuir*. – 2007. – P. 305–311.
13. Chen Y.-C. Gating Characteristics of Thermo-Responsive Membranes with Grafted Linear and Crosslinked Poly(N-isopropylacrylamide) Grafts / Y.-C. Chen, R. Xie, M. Yang et al. // *Chemical Engineering Technology*. – 2009. – Vol. 32, No. 4. – P. 622–631.
14. Cho E. C. Role of Bound Water and Hydrophobic Interaction in Phase Transition of Poly(N-isopropylacrylamide) Aqueous Solution // E. C. Cho, J. Lee, K. Cho // *Macromolecules*. – 2003. – Vol. 36. – P. 9929–9934.
15. Balamuralidhara V. pH Sensitive Drug Delivery Systems : A Review / V. Balamuralidhara, T. M. Pramodkumar, N. Srujana et al. // *American Journal of Drug Discovery and Development*. – 2011. – Vol. 1. – P. 24–48.
16. Lai P.-S. A pH-sensitive EVAL membrane by blending with PAA / P.-S. Lai, M.-J. Shieh, C.-L. Pai, et al. // *Journal of Membrane Sci.* – 2006. – Vol. 275. – P. 89–96.
17. Park J. Aggregation Processes of a Weak Polyelectrolyte, Poly(allylamine) Hydrochloride / J. Park, Y.-W. Choi, K. Kim, H. Chung, D. Sohn // *Bull. Korean Chem. Soc.* – 2008. – Vol. 29, No. 1. – P. 104–110.

*V. Konovalova, Y. Samchenko, O. Chyketa, Y. Andronyuk, A. Pobigay, S. Komarsky, A. Burban*

## COMPOSITE pH- AND TEMPERATURE SENSITIVE MEMBRANES BASED ON POLYMER HYDROGELS AND MANUFACTURED ULTRAFILTRATION MEMBRANES

*Recent researches and development in the field of membrane science are focused on improvement of synthetic membranes' functionality. Combination of soft polymer pH- and temperature-sensitive hydrogels with rigid ultrafiltration membrane attracts much interest as a new class of smart functional systems. In this research we develop pH- and temperature-sensitive composite membranes using radical copolymerization method and study their properties depending on hydrogel composition, nature of synthetic membranes, temperature and pH of external medium.*

**Keywords:** membrane, hydrogel, swelling, pH- and temperature sensitive, phase transition, Poly(N-isopropylacrylamide).

*Матеріал надійшов 22.05.2012*

**УДК 544.777**

*Давідовіч І. С., Венгель К. Г., Антонюк Н. Г., Бурбан А. Ф.*

## pH-ЧУТЛИВІ МІКРОКАПСУЛИ НА ОСНОВІ СУМІШІ АЛЬГІНАТ- К-КАРРАГІНАНУ ДЛЯ КОНТРОЛЬОВАНОГО ВИВІЛНЕННЯ ТЕРАПЕВТИЧНИХ ПЕПТИДІВ

*За допомогою мікроемulsionного методу одержано мікрокапсули на основі суміші натрій альгінату та к-каррагінану. Досліджено вплив співвідношення полісахаридів, вмісту модельного лікарського засобу БСА та концентрації формувальної суміші на характеристики мікрокапсул і кінетику вивільнення білка.*

**Ключові слова:** pH-чутливі мікрокапсули, мікроемulsionний метод, натрій альгінат, каррагінан, бичачий сироватковий альбумін.

### Вступ

Одним із найскладніших завдань у розвитку пептидної фармакології є запобігання фізичній та хімічній нестійкості білків у кислому середовищі. Такі специфічні властивості білків є ос-

новною причиною їхнього введення в людський організм шляхом ін'єкцій.

Питання кислотного каталізу пептидів у шлунку, їхнє протеолітичне розкладання потребують вирішення для забезпечення ефективної