

Н. М. Баран, О. М. Гриценко, Ю. Я. Мельник, Г. В. Яцульчак

Національний університет "Львівська політехніка",

кафедра хімічної технології переробки пластмас

*natabmk@ukr.net*

## ОСОБЛИВОСТІ ОДЕРЖАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМБІНОВАНИХ ГІДРОГЕЛЕВИХ МЕМБРАН НА ОСНОВІ ПОЛІКАПРОАМІДУ І КОПОЛІМЕРІВ ПОЛІВІНІЛПІРОЛІДОНУ

<https://doi.org/10.23939/ctas2021.02.203>

Наведено результати досліджень величини поверхневої адсорбції та міцності під час проривання комбінованих поліамід-гідрогелевих мембран залежно від складу гідрогелевої мембрани-підкладки. Встановлено, що варіювання молекулярної маси ПВП як в структурі кополімеру, так і в модифікувальній суміші, а також часу витримки гідрогелевої плівки у модифікувальному розчині, дають змогу спрямовано регулювати властивості комбінованих мембран, зокрема, їх міцність і проникність.

**Ключові слова:** гідрогелева мембрана, 2-гідроксіетилметакрилат, полівінілпіролідон, полікапроамід, проникність.

### Вступ

В останні роки великою зацікавленістю дослідників відзначаються гідрогелі, як перспективні для використання в сучасних біо- та медтехнологіях [1–5]. Використання в медичній практиці гідрогелів завдяки їх особливим характеристикам дає змогу збільшити діапазон їх застосування, а саме, використання полімерних гідрогелів у транспортуванні ліків, тканинній інженерії та регенеративній медицині, активне застосування як протиопікових пов'язок та дієвих реагентів для розділення і очищення білків як імплантатів, препаратів для зв'язування та контролюваного вивільнення ліків [6–17].

Гідрогелі одержують на основі гідрофільних поперечно-зшитих полімерів, які здатні набрякати у воді і формувати нерозчинну об'ємну, гідратовану сітку [18]. Хімічний склад і молекулярна маса визначають щільність поперечних зшивок, що впливає на набрякання і зміну розмірів пор гелю [19]. Крім того, саме перехресні зшивання визначають характеристики гідрогелів. Для практики, звичайно, найпридатнішими є гідрогелі, максимально насичені водою. Однак недоліком таких гідрогелів є невідповідні механічні властивості. Тому надзвичайно актуальною проблемою є їх підвищення [20].

Вирішити цю проблему можна внаслідок створення нових полімерних комбінованих плів-

кових матеріалів, що відзначаються підвищеною міцністю завдяки підсиленню активності пористої мембрани щільним поверхневим шаром [21].

Автори [22] одержали комбіновані полімерні мембрани способом, що передбачає формування на полімерній мембрані-підкладці тонкого зміцнювального шару за допомогою осадження з розчину термопластичних полімерів з подальшим випаровуванням розчинника. Як полімерні мембрани-підкладки використали гідрогелі на основі кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату (2-ГЕМА) з полівінілпіролідон (ПВП). Для одержання тонкого зміцнювального шару використано: аліфатичний поліамід (ПА-6) та полівінілпіролідон, які розчинені у мурашиній кислоті з різною кількістю води. Такі розчини використано для модифікації поверхні гідрогелевих плівок з метою їх зміцнення [23].

Відомо [24], що одним із чинників впливу на механічну міцність є молекулярна маса полімеру, оскільки механічна міцність визначається енергією руйнування зв'язків і ступенем міжмакромолекулярних взаємодій.

**Мета роботи** – встановити особливості одержання та властивості комбінованих гідрогелевих мембран на основі кополімерів 2-ГЕМА і ПВП тонкими полікапроамідними плівками, формування на їх основі комбінованих гідрогеле-

левих мембран з необхідною осмотичною проникністю і міцністю та встановлення впливу молекулярної маси полівінілпіролідону на досліджувані властивості мембран.

### Матеріали та методи досліджень

Комбіновані мембрани формували в два етапи за такою технологією: на першому етапі синтезували за допомогою ініційованої радикальної полімеризації гідрогелеві плівки [25], на другому етапі – гідрогелеві плівки модифікували тонким шаром суміші ПА-6/ПВП, осадженням їх водою з об'єму гідрогелю з розчину у мурашиній кислоті.

Для формування мембрани-підкладки використано: 2-ГЕМА торгової марки Bisomer (США); ПВП з  $MM = 12 \cdot 10^3$  г/моль медичний, високої очистки, торгової марки SIAL "Sigma-Aldrich" (США) і ПВП з  $MM = 360 \cdot 10^3$  г/моль торгової марки AppliChem GmbH (Німеччина) кваліфікації "фарм."; вода дистильована. Полімеризацію 2-ГЕМА з ПВП ініціювали персульфатом калію, який перекристалізовували з водного розчину. Полімеризацію вели у плоско-паралельних формах із скелець, застосовували трьохступеневий режим процесу:  $55\text{ }^{\circ}\text{C} - 3$  год,  $75\text{ }^{\circ}\text{C} - 1,5$  год,  $85\text{ }^{\circ}\text{C} - 1,5$  год. Перед формуванням зміцнювального шару синтезовані плівки гідратували у воді до рівноважно набряклого стану за кімнатної температури протягом 24 год.

Для виготовлення зміцнювального шару використовували ПА-6 торгової марки "Tarnamid-27" (Польща); ПВП  $MM\ 12 \cdot 10^3$  і  $360 \cdot 10^3$  г/моль (властивості приведені вище); мурашина кислота маркування "ч"; вода дистильована. Тонкий зміцнювальний шар наносили односторонньо на поверхню гідрогелевих плівок, внаслідок контакту поверхні гідрогелевої плівки з розчином ПА-6 у суміші з ПВП у мурашиній кислоті протягом визначеного часу із подальшим випаровуванням розчинника за температури  $75\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$  упродовж 30 хв. Одержані комбіновані гідрогелеві мембрани перед визначенням властивостей гідратували 24 год у дистильованій воді за кімнатної температури. Гідратація як гідрогелевої підкладки, так комбінованих мембран здійснювалась за однакових умов.

За описаними раніше методиками [20] визначали величину поверхневої адсорбції та механічні властивості комбінованих поліамід-гідрогелевих мембран.

Вимірювання проникності одержаних комбінованих мембран визначали методом осмосу [26]. Як модельну речовину використовували 4 % розчин натрію хлориду.

### Результати досліджень та їх обговорення

Поєднання високих дифузійно-транспортних та фізико-механічних властивостей є важливими вимогами до експлуатаційних властивостей гідрогелевих мембран [27]. Підвищення проникності та водовмісту гідрогелів супроводжується істотним погіршенням міцнісних характеристик, і навпаки. Тому вирішальне практичне і наукове значення має пошук дієвих методів спрямованого формування структури кополімерів.

Одним із способів модифікування полімерних мембран є формування комбінованих плівок, що дає змогу одержувати матеріал з необхідним комплексом властивостей. Відбір плівок для комбінування відзначається комплексом властивостей деяких компонентів, потрібних для використання у визначених умовах і отриманих за доступними методами.

Щоб підвищити фізико-механічні властивості, гідрогелеві мембрани модифікували тонким шаром суміші на основі ПА-6/ПВП, одержаного з полімерного розчину, використовуючи нерозчинність поліаміду у воді, яка міститься в об'ємі гідрогеля.

Основним параметром якості під час отримання комбінованих полімерних матеріалів і покриттів є адгезія модифікувального шару до гідрогелевої підкладки, яка залежить від умов технологічного процесу [28].

У табл. 1 представлено результати дослідження поверхневої адсорбції з використанням полівінілпіролідону з молекулярною масою  $12 \cdot 10^3$  і  $360 \cdot 10^3$ .

Як видно з табл. 1, поверхнева адсорбція суміші на основі ПА-6/ПВП з мурашинокислого розчину зростає зі збільшенням часу витримування гідрогелевої мембрани в модифікувальному розчині.

Таблиця 1

**Вплив часу витримування гідрогелевих плівок у модифікувальному розчині ( $\tau_{\text{втр.}}$ , хв) на величину поверхневої адсорбції ( $A$ , кг/м<sup>2</sup>) із мурашинокислого розчину суміші ПА-6/ПВП:**

*Гідрогель, % мас.: ГЕМА:ПВП:Н<sub>2</sub>О = 48:12:40.*

*Розчин, % мас.: (ПА-6/ПВП):НСООН = 7:93, [НСООН] = 80, ПА-6 : ПВП = 95:5,  $\delta$  = 0,5 мм*

№ з/п	ММ <sub>ПВП</sub> у гідрогелі	ММ <sub>ПВП</sub> у розчині	Величина поверхневої адсорбції ( $A \cdot 10^3$ , кг/м <sup>2</sup> )	
			Час витримування в модифікувальному розчині ( $\tau_{\text{втр.}}$ , хв)	
			5	10
1	12·10 <sup>3</sup>	360·10 <sup>3</sup>	135	148
2	12·10 <sup>3</sup>	12·10 <sup>3</sup>	163	190
3	360·10 <sup>3</sup>	12·10 <sup>3</sup>	178	246

Водночас видно, що залежно від молекулярної маси ПВП адсорбція змінюється з різною швидкістю і досягає відмінних значень. Показано, що величина поверхневої адсорбції зростає в разі введення ПВП з ММ = 360·10<sup>3</sup> у вихідну гідрогелеву плівку (табл. 1, п. 3). Можливо, це зв'язано з тим, що полімерну сітку розрихлюють макромолекули високомолекулярного ПВП, вільний простір якої, заповнюється розчином на основі ПА-6/ПВП. Необхідно зазначити, що за використання у гідрогелевій основі низькомолекулярного ПВП, поверхнева адсорбція є нижчою (табл. 1, п. 1). Це можна пояснити тим, що у поверхневий шар у незначній кількості проникає модифікувальний розчин на основі суміші ПА-6/ПВП, створюючи, при цьому, на поверхні плівку.

У результаті проведених досліджень встановлено, що у гідрогелевих плівках величина поверхневої адсорбції на основі суміші ПА-6/ПВП є вищою, коли у модифікувальному розчині використаний полівінілпіролідон з ММ = 12·10<sup>3</sup>, ніж тоді, коли у розчині використаний полівінілпіролідон з ММ = 360·10<sup>3</sup>. Одночасно, видно, що в гідрогель найшвидше дифундує розчин з полівінілпіролідонм нижчої молекулярної маси, але швидко формується щільна плівка на основі суміші ПА-6/ПВП, що, фактично зупиняє адсорбцію (табл. 1, п. 2). Це пояснюється тим, що із зменшенням в'язкості модифікувального розчину легше проходить проникнення в приповерхневий шар гідрогелевої основи рідкої фази. Необхідно зазначити, що під час дифузії

розчину проходять два процеси: осадження водою суміші ПА-6 з ПВП, що міститься в об'ємі гідрогелю і утворення фізичних міжмолекулярних зв'язків між полімерами осадженої суміші і ланцюгами сітки кополімеру ГЕМА–ПВП гідрогелевої матриці.

Дослідженнями макроструктури комбінованих мембран на підставі сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ) на зламі сухої плівки, підтверджується формування ущільненого приповерхневого шару на основі ПА-6/ПВП. Результати досліджень зображені на рис. 1.

Одержані таким чином фотографії дають можливість отримати додаткову інформацію про зміцнювальний шар, який утворився у поверхневому шарі гідрогелю. Як видно, зі збільшенням часу витримки гідрогелевої плівки у модифікувальному розчині, товщина ущільненого шару зростає і знаходиться в межах 10–30 мкм.

Про склад ущільненого шару на основі суміші ПА-6/ПВП підтверджують дифрактограми одержаних з поверхонь комбінованої мембрани.

Із аналізу наведених експериментальних даних випливає (табл. 2), що поверхнева адсорбція та міцність у разі проривання комбінованих гідрогель-поліамідних мембран зростає зі збільшенням кількості ГЕМА–ПВП у гідрогелевій мембрані. Можливо, це зумовлено міжмолекулярними взаємодіями і спричиненими ними конформаційними змінами, які відбуваються під час насичення поверхні гідрогелю макромолекулами поліаміду з полівінілпіролідонм [29].

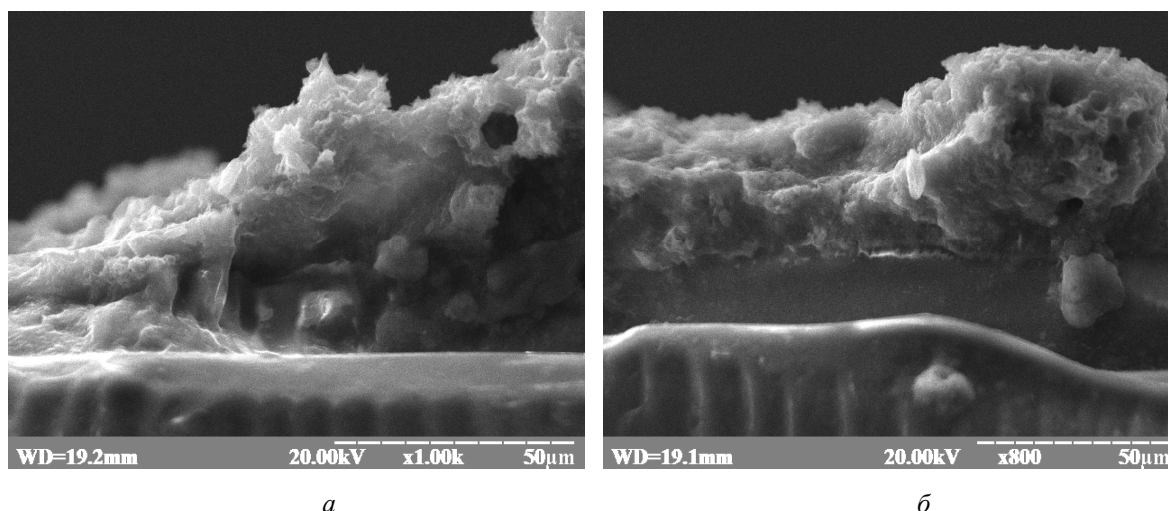


Рис. 1. Фотографії поперечного зламу комбінованих поліамід-гідрогелевих мембран за допомогою сканувального електронного мікроскопа:  $MM_{ПВП} = 12 \cdot 10^3$ ,  $\delta = 0,5$  мм.

Гідрогель, % мас.: ГЕМА : ПВП :  $H_2O$  = 48 : 12 : 40.

Розчин, % мас.: ПА-6/ПВП :  $HCOOH$  = 7 : 93;  $[HCOOH]$  = 80; ПА-6 : ПВП = 95 : 5;  $\tau_{випр}$ , хв: а – 1, б – 3.

Таблиця 2

### Властивості комбінованих гідрогелевих мембран

ПА-6/ПВП :  $HCOOH$  = 7 : 93 % мас., ПА-6 : ПВП ( $MM_{ПВП} = 12 \cdot 10^3$ ) = 95 : 5 % мас.,  $[HCOOH]$  = 80 % мас.

Властивості	Вміст компонентів, ГЕМА : ПВП( $MM_{ПВП} = 360 \cdot 10^3$ ): $H_2O$ , % мас.		
	48 : 12 : 40	40 : 10 : 50	32 : 8 : 60
Поверхнева адсорбція ( $A \cdot 10^3$ , кг/м <sup>2</sup> )	163	134	111
Міцність при прориванні ( $\sigma$ , МПа)	1,18	1,0	0,9

– час модифікування 5 хв, товщина мембран 0,5 мм.

Проведені дослідження також засвідчили, що міцність комбінованих плівок зростає за збільшення часу витримання гідрогелевих плівок у модифікувальному розчині, проте їх видовження зменшується (табл. 3). Така поведінка властива для шкірних покривів. Такі зміни пов'язані збільшенням адсорбції суміші ПА-6/ПВП поверхневим шаром гідрогелю. Збіль-

шення величини адсорбції підтверджується зростанням товщини осадженої плівки вищої міцності. Ця плівка більш жорстка внаслідок утворення міжмолекулярних фізичних зв'язків попередньо описаних. Важливою для медичних застосувань властивістю мембран є здатність до достатньої дифузії водних розчинів солей та лікарських речовин.

Таблиця 3

### Залежність міцності ( $\sigma$ , МПа) і видовження ( $\epsilon$ , %) при прориванні комбінованих гідрогелевих мембран від часу модифікування:

Гідрогель, % мас.: ГЕМА:ПВП( $MM_{ПВП} = 12 \cdot 10^3$ ): $H_2O$ =48:12:40.

Розчин, % мас.: ПА-6/ПВП: $HCOOH$ =7:93, ПА-6:ПВП ( $MM_{ПВП} = 360 \cdot 10^3$  г/моль) = 95:5,  $[HCOOH]$  = 80

Властивості комбінованих мембран	Час витримання в модифікувальному розчині, хв				
	1	3	5	7	10
$\sigma$ , МПа	0,41	0,57	0,72	1,0	1,47
$\epsilon$ , %	–	400	360	347	335

– товщина мембран 0,5 мм.

Результати дослідження осмотичної солепроникності комбінованих мембран від концентрації ПА-6/ПВП у модифікувальному розчині наведені на рис. 2.

У результаті проведених досліджень встановлено, що найвища солепроникність спостерігається для комбінованих мембран, одержаних за вмісту ПА-6/ПВП у модифікувальному розчині 3 % мас. і в подальшому дещо знижується зі збільшенням в розчині суміші ПА-6/ПВП (рис. 2, кр. 2, 4) порівняно з чистою гідрогелевою плівкою (рис. 2, кр. 1). Ці результати, очевидно, пов'язані з тим, що у приповерхневому шарі гідрогелевої матриці утворюється щільна плівка на основі суміші ПА-6/ПВП зі збільшенням концентрації ПА-6/ПВП у модифікувальному розчині.

Необхідно зазначити, що незалежно від складу гідрогелевої матриці, збільшення концентрації суміші ПА-6/ПВП у модифікувальному розчині зумовлює незначне зниження осмотичної солепроникності (рис. 2). Це зниження зумовлене утворенням щільнішої плівки на основі комплексу ПА-6/ПВП, однак це зниження не є суттєвим, тому не може звужити сферу використання одержаних мембран. Водночас коефіцієнт солепроникності одержаних модифікованих мембран зберігає схожу залежність (табл. 4).

Як видно, для концентрації модифікувального розчину 3 % мас. спостерігається найбільший коефіцієнт солепроникності, порівняно з немодифікованою гідрогелевою плівкою, та є значно менший, коли концентрація ПА-6/ПВП = 7 % мас.

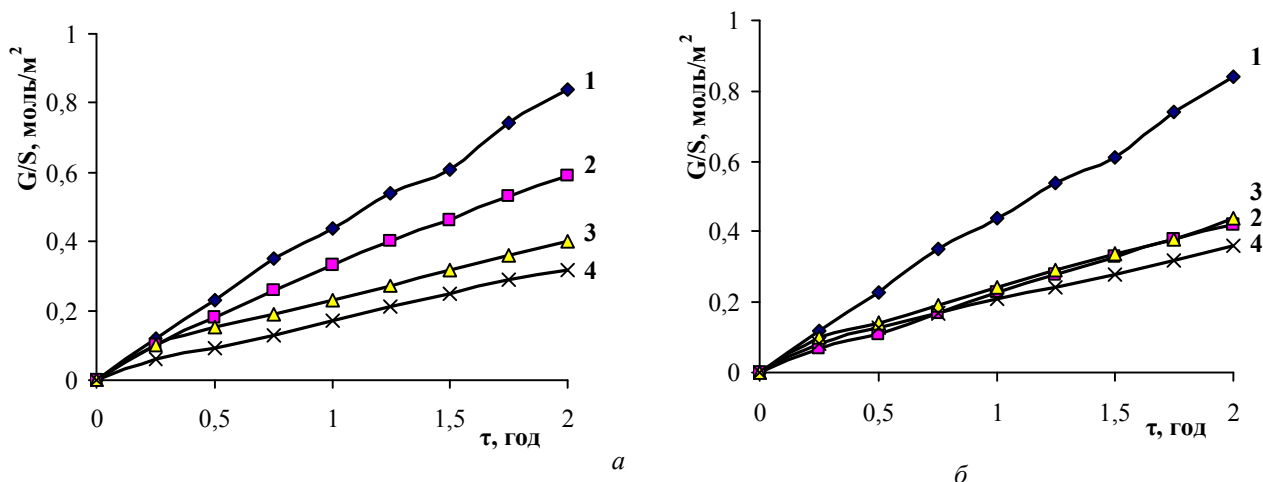


Рис. 2. Осмотична солепроникність ( $G/S$ , моль/м<sup>2</sup>) комбінованих мембран для NaCl від часу ( $\tau$ , год) та концентрації модифікувального розчину ( $C_{\text{ПА-6/ПВП}}$ , % мас.):

$[NaCl] = 4 \text{ \% мас.}; MM_{\text{ПВП}} = 12 \cdot 10^3 \text{ г/моль}; \delta = 0,5 \text{ мм.}$

Гідрогель, % мас.: ГЕМА:ПВП:Н<sub>2</sub>O = 42:18:40.

Розчин, % мас.: (ПА-6/ПВП):НСООН, 1 – мембрана немодифікована, 2 – 3:97, 3 – 5:95, 4 – 7:93;

$C_{\text{ПА-6/ПВП}}$ , % мас.: а – 100:0, б – 95:5.

Таблиця 4

**Залежність коефіцієнтів водо- та солепроникності, а також осмотичної солепроникності комбінованих мембран від впливу складу гідрогелю та модифікувального розчину**

(ПА-6/ПВП):НСООН, % мас.	ПА-6:ПВП = 100:0 % мас.			ПА-6:ПВП = 95:5 % мас.		
	$G/S$ , моль/м <sup>2</sup>	$K_{H_2O}$ , л/(м <sup>2</sup> ·год)	$\alpha_{NaCl}$ , моль/(м <sup>2</sup> ·год)	$G/S$ , моль/м <sup>2</sup>	$K_{H_2O}$ , л/(м <sup>2</sup> ·год)	$\alpha_{NaCl}$ , моль/(м <sup>2</sup> ·год)
1	2	3	4	5	6	7
ГЕМА:ПВП:Н <sub>2</sub> O, % мас.: 54:6:40						
мембрана немодифікована	0,32	96,43	8,06	0,32	96,43	8,06
3:97	0,22	107,14	5,5	0,28	–	–

1	2	3	4	5	6	7
5:95	0,04	–	0,98	0,05	3,57	1,22
7:93				0,07	10,71	1,71
ГЕМА:ПВП:Н <sub>2</sub> O, % мас.: 48:12:40						
мембрана немодифікована	0,29	7,2	–	0,29	7,2	–
3:97	0,23	–	–	0,33	8,18	96,43
5:95	0,15	3,79	42,86	0,22	5,37	64,28
7:93	0,17	4,15	14,29	0,18	4,4	57,14
ГЕМА:ПВП:Н <sub>2</sub> O, % мас.: 42:18:40						
мембрана немодифікована	0,44	39,28	11,11	0,44	39,28	11,11
3:97	0,33	–	–	0,23	–	–
5:95	0,23	3,57	5,74	0,24	71,43	5,98
7:93	0,17	53,57	4,15	0,21	35,71	5,13

### Висновки

Встановлено вплив величини поверхневої адсорбції та міцності під час проривання комбінованих поліамід-гідрогелевих мембран залежно від складу гідрогелевої мембрани-підкладки. Підсумовуючи результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що використання полівінілпіролідону з молекулярною масою  $360 \cdot 10^3$  г/моль у мембрані-підкладці та полівінілпіролідону з молекулярною масою рівною  $12 \cdot 10^3$  г/моль у зміцнювальному шарі з ПА-6 забезпечує ефективну дифузію розчину у приповерхневий шар гідрогелевої плівки, що сприяє утворенню щільної поверхневої плівки та формуванню комбінованої гідрогелевої мембрани підвищеної міцності, з можливістю спрямованого регулювання її дифузійної проникності. Такі мембрани можна використати в медицині.

### References

- Francis X. Quinn, Eithne Kampff, Gerard Smyth, and Vincent J. McBrierty. A. (1988). Study of Water in Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone/methyl methacrylate) Copolymer. *Macromolecules*, 21, 3191–3198. doi.org/10.1021/ma00189a012
- Mohana Y. M., Leea K., Premkumar T., Geckeler K. E. (2007). Hydrogel networks as nanoreactors: A novel approach to silver nanoparticles for antibacterial applications. *Polymer*, 48(1), 158–164. doi: 10.1016 / j.polymer.2006.10.045
- Rosiak J. M., Yoshii F. (1999). Hydrogels and their medical applications. *Nucl. Instrum Methods Phys. Res. Sec. B*, 151, 56–64. doi: 10.1016 / S0168-583X (99) 00118-4
- Galaev I. Y., Mattiasson B. (1999). Smart polymers and what they could do in biotechnology and

medicine. *Trends Biotechnol*, 17, 335–340. doi: 10.1016 / s0167-7799 (99) 01345-1

- Peppas N., A., Huang Y., Torres-Lugo M., Ward J. H., Zhang J. (2000). Physicochemical foundations and structural design of hydrogels in medicine and biology. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 2, 9–29. doi: 10.1146 / annurev.bioeng.2.1.9

- Omidian H., Rocca J. G., Park K. (2005). Advanced in superporous hydrogels. *Journal of Controlled Release*, 102, 3–12. doi: 10.1016/j.jconrel.2004.09.028

- Jiang H., Zeng X. (2013). Microlenses: Properties, Fabrication and Liquid Lenses. *CRC Press*, 228.

- Hoffman A. S. (2002). Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery reviews*, 43, 3-12. doi: 10.1016/s0169-409x(01)00239-3

- Peppas N. A., Bures P., Leobandung W., Ichikawa H. (2000). Hydrogels in pharmaceutical formulations. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 50(1), 27–46. doi: 10.1 -6411(00)00090-4

- Peppas N. A. (1986). *Hydrogels in Medicine and Pharmacy*. Florida: CRC Press Inc., Boca Raton, 1-3. doi.org/10.1002/pi.4980210223

- Park K., Shalaby W.S.W. and Park H. (1993). *Biodegradable hydrogels for drug delivery*, Inc., Lancaster, PA: Basle: Technomic Publishing Co., 252. doi.org/10.1177/088391159400900207

- Baldwin S. P., Saltzman W. M. (1998). Materials for protein delivery in tissue engineering. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 33, 71–86. doi: 10.1016 / s0169-409x (98) 00021-0

- Grytsenko O., Pokhmurska A., Kovalchuk R. (2018). Technological features in obtaining highly effective hydrogel dressings for medical purposes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(6), 6-13. doi: 10.15587/1729-4061.2018.150690

- Drury J. L., Mooney D. J. (2003). Hydrogels for tissue engineering: scaffold design variables and

- applications. *Biomaterials*, 24, 4337–4351. doi: 10.1016 / s0142-9612 (03) 00340-5.
15. Gehrke S. H. (2000). Synthesis and properties of hydrogels used for drug delivery, *Drugs Pharm. Sci.*, 102, 473–546.
16. Manabu S. (1981). *Polimery medychnoho pryznachennia*. Moskva: Medysyna, 248.
17. Lavrov N. A., Kryzhanovskaia T. S. (1995). Poliakrylaty v medytsyni. *Plastychni masy*, 2, 42–43.
18. Suberlyak O., Grytsenko O., Kochubei V. (2015). The Role of FeSO<sub>4</sub> in the Obtaining of Polyvinylpyrrolidone Copolymers. *Chemistry & Chemical Technology*, 9(4), 429–434. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Chemistry\\_2015\\_9\\_4\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Chemistry_2015_9_4_8).
19. By Nicholas A. Peppas, J. Zach Hilt, Ali Khademhosseini, and Robert Langer (2006). Hydrogels in Biology and Medicine: From Molecular Principles to Bionanotechnology. *Adv. Mater.*, 18, 1345–1360. doi: 10.1002/adma.200501612
20. Suberlyak O. V., Baran N. M., Melnyk Y. Y., Yatsulchak G. V. (2018). Formation of composite hydrogel membranes. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 3, 121–126.
21. Melnyk Yu. Ya., Baran N. M., Yatsulchak H. V., Komyshna M. H. (2017). Formuvannia ta vlastyvyosti kompozytsiinykh poliamid–hidrohelevykh membran. *Visnyk NU “Lvivska politekhnika” “Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia”*, 868, 406–412.
22. Suberliak O. V., Melnyk Yu. Ia., Skorokhoda V. I. 11.04.2011. Pat. Ukrainy № 94173. Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika». Opubl. – Biul. № 7
- Suberlyak O. V., Baran N. M., Yatsul’chak H. V. (2017). Physicomechanical properties of the films based on polyamide–polyvinylpyrrolidone mixtures. *Materials Science*, 53(3), 392–397. <https://doi.org/10.1007/s11003-017-0087-6>
23. Kargin V. A., Slonimskiy G. L. (1967). *Kratkie ocherki po fiziko-himii polimerov*. Moskva: Himiya, 232.
24. Skorokhoda V., Melnyk Y., Semenyuk N., Suberlyak O. (2015). Obtaining peculiarities and properties of polyvinylpyrrolidone copolymers with hydrophobic vinyl monomers. *Chemistry & Chemical Technology*, 9 (1), 55–59. <https://doi.org/10.23939/chcht09.01.055>
25. Fazullin D. D., Mavrin G. V., Melkonyan R. G. (2013). Kompozitsionnyie membranyi s modifitsirovannyim poverhnostnyim sloem. *Mezhdunarodnyiy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 9–1 (16). – C. 45–47.
26. Suberlyak O., Melnyk Yu., Skorokhoda V. (2015). Regularities of Preparation and Properties of Hydrogel Membranes. *Materials Science*, 50(6), 889–896. <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9798-8>
27. Dubyaga V. P., Perepechkin L. P., Katalevskiy E. E. (1981). *Polimernyye membranyi*. Moskva: Himiya, 232.
28. Suberliak O. V., Baran N. M., Melnyk O. V. (2008). Doslidzhennia vzaємodii v systemi poliamid – polivinilpirolidon v rozchynakh. *Visnyk NU “Lvivska politekhnika”*. *Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia*, 609, 356–360.

N. M. Baran, O. M. Grytsenko, Yu. Ya. Melnyk, G. V. Yaculchak

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Chemical Technology of Plastics Processing

#### PECULIARITIES OF OBTAINING AND PROPERTIES OF COMBINED HYDROGEL MEMBRANES BASED ON POLYCOPROAMIDE AND POLYVINYLPIRROLIDONE COPOLYMERS

The research results of surface adsorption magnitude and tensile strength of combined polyamide-hydrogel membranes, depending on the content of the hydrogel lining membrane are presented in the article. It was found that the molecular weight variation of PVP, both in the structure of copolymer and in modifying blend, as well as the time of staying hydrogel film in the modifying solution allow to regulate the properties of combined membranes directly, in particular, its strength and permeability.

**Keywords:** hydrogel membrane, 2-hydroxyethyl methacrylate, polyvinylpyrrolidone, polycaproamide, permeability.