

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.3.5>

УДК 678.746

ЛЯШОК І. О., ПЛАВАН В. П., ПЦЕНКО О. В.,
ГОДУНКО А. А., ШВЕЦЬ В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВЛАСТИВОСТІ ГІБРИДНИХ ГІДРОГЕЛІВ З ДОДАВАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО КРОХМАЛЮ ТА ГЛИНИ МОНТМОРИЛОНІТОВОГО ТИПУ

Мета. Метою наукової роботи є розробка технології одержання гібридних гідрогелевих матеріалів на основі полімерної композиції полівінілового спирту з додаванням модифікованого крохмалю та глини монтморилонітового типу і вивчення їх сорбційних властивостей.

Методика. Для створення основи гібридних гідрогелевих матеріалів використовували суміш 10% розчину полівінілового спирту (ПВС) та 5% розчину карбоксиметильованого крохмалю (КМК) у співвідношенні 1:1. В якості наповнювача гідрогелів використовували глину монтморилонітового типу у вигляді порошку в кількості від 1 до 10 об'ємних частин. Гібридні гідрогелі отримували шляхом однократного заморожування протягом 24 годин при температурі -15°C , в результаті якого відбувалося криоструктурування. Вологість гідрогелевих матеріалів визначали на аналізаторі вологості MA-50 R Radwag при температурі 70°C . Для оцінки впливу кількості глини монтморилонітового типу в композиції ПВС/КМК на властивості гібридних гідрогелевих матеріалів досліджували гравіметричним методом сорбційні характеристики композицій.

Результати. Розроблено технологію одержання гібридних гідрогелевих матеріалів методом криоструктурування. В результаті аналізу сорбційних властивостей гібридних гідрогелевих матеріалів встановлено, що введення глини монтморилонітового типу призводить до повної зміни характеру кривих сорбції. Спостерігається колапс гідрогелевих систем, а сорбція падає з 1000% до 250% з досягненням рівноважного значення протягом 72 годин. При вмісті 1 об'ємної частини глини сорбція знижується на 270% і становить в рівноважному стані 720%. Максимальне зниження сорбції на 480% спостерігається для зразків, які містять 5 об'ємних частин глини і становить в рівноважному стані 300%.

При дослідженні десорбції гібридних гідрогелевих матеріалів було встановлено, що додавання глини монтморилонітового типу уповільнює процес десорбції гідрогелів на основі ПВС/КМК. Встановили, що полімерні композиції на основі ПВС з карбоксиметильованим крохмалем у співвідношенні 1:1 з додаванням глини у кількості 1–2 об'ємні частини можна рекомендувати для одержання криогідрогелів з підвищеними сорбційними властивостями та уповільненою швидкістю висихання.

Наукова новизна полягає у визначенні впливу додавання глини монтморилонітового типу у композицію на основі ПВС з КМК для одержання гідрогелів методом криоструктурування. Встановлено, що додавання глини призводить до колапсу гібридних гідрогелевих матеріалів під дією води, та уповільненню десорбційних властивостей гібридних гідрогелів.

Практична значимість. Розроблено технологію одержання гібридних гідрогелевих матеріалів на основі суміші полівінілового спирту та карбоксиметильованого крохмалю з додаванням глини монтморилонітового типу методом криоструктурування, визначено можливість регулювання сорбційних властивостей гідрогелів шляхом введення глини.

Ключові слова: гібридні гідрогелі; глина монтморилонітового типу; полівініловий спирт; карбоксиметильований крохмаль; сорбція; десорбція.

Вступ. Гібридні гідрогелі це структурований гідрофільний полімерний матеріал, який може поглинати і утримувати велику кількість води, але не розчиняється у ній. Гідрогелі, отримані з додаванням крохмалю та його похідних, мають підвищені сорбційні властивості, біосумісність та здатність до біорозкладання, що зумовлює їх використання в біомедицинській сфері [1, 2].

В роботі [3] досліджували використання модифікованого крохмалю та глини монтморилонітового типу для підвищення здатності гідрогелю до поглинання й утримання води та застосовували у медицині для створення гідрогелевих пов'язок. Також відомо

застосування гібридних гідрогелів в сільському господарстві [4] для зберігання та постачання вологи рослинам.

Додавання глини монтморилонітового типу підвищує механічну міцність гідрогелів [5], формує мережу зв'язків, що забезпечує покращення структурних властивостей та робить їх більш стійким до деформацій [6]. Це важливо для застосування таких матеріалів в технологіях, де необхідна висока міцність, наприклад, в біомедицині для створення штучних тканин, як ранозагоювальні матеріали, діагностичні системи та імпланти [2], або в механічних системах для сенсорів і приводів [7, 8]. Такі гідрогелі можуть змінювати свою структуру та властивості під впливом температури [9].

Гібридні гідрогелі з модифікованим крохмалем та глиною монтморилонітового типу можуть бути використані як носії для контрольованого вивільнення лікарських речовин [10].

Використання модифікованого крохмалю та глини монтморилонітового типу в гібридних гідрогелях розширює їх можливості та додає нові функціональні властивості, що робить їх привабливими для багатьох галузей застосування.

Постановка завдання. З метою аналізу сорбційних властивостей наповненої гідрогелевої матриці досліджували залежність ступеня набухання в дистильованій воді зразків у часі з різною концентрацією наповнювача. Набрякання зразків у дистильованій воді вимірювали ваговим методом протягом 72 годин. В роботі досліджено сорбційні властивості гідрогелевих матриць на основі полімерної композиції полівінілового спирту з карбоксиметильованим крохмалем, та визначено вплив введення глини монтморилонітового типу на утворення гібридних гідрогелів.

Методологія досліджень. Як основу гідрогелевих матеріалів використовували полівініловий спирт (ПВС) марки 16/1, масова частка ацетатних груп не більше 0,9–1,7% та карбоксиметильований крохмаль (КМК) CAS: 9063-38-1. Як мінеральну добавку в композицію вводили глину монтморилонітового типу виробництва компанії «Дашбент», Дашуківське родовище Черкаської обл. з другого продуктивного шару марки М-5, яка представляє собою шаруватий силікат із загальною формулою $(Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_2(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot nH_2O$. Хімічний склад мінералу: SiO_2 – 51,9%, Al_2O_3 – 17,10%, Fe_2O_3 – 7,92%, MgO – 1,18%, Na_2O , K_2O і CaO до 2% і H_2O – 8,78%.

Для створення основи композиції готували 10% розчин ПВС і 5% розчин КМК та змішували у співвідношенні 1:1. Додавали порошок глини, попередньо оброблений 0,025% розчином ПВС у співвідношенні 1:6 з метою одержання змоченого мінерального наповнювача. В результаті отримано 10 зразків з наступним об'ємним співвідношенням ПВС/КМК:глина 10:0; 9:1; 8:2; 7:3; 6:4; 5:5; 4:6; 3:7; 2:8; 1:9; 0:10. Гідрогелі отримували методом кріоструктурування протягом 24 годин при температурі $-15^\circ C$ з наступним поступовим розморожуванням при кімнатній температурі [10].

Вміст вологи у початкових зразках гібридних гідрогелів визначали на аналізаторі вологості MA-50 R Radwag при температурі висихання $70^\circ C$.

Сорбційні властивості гідрогелевих матеріалів оцінювали за зміною водопоглинання X (%) за розрахунковою формулою:

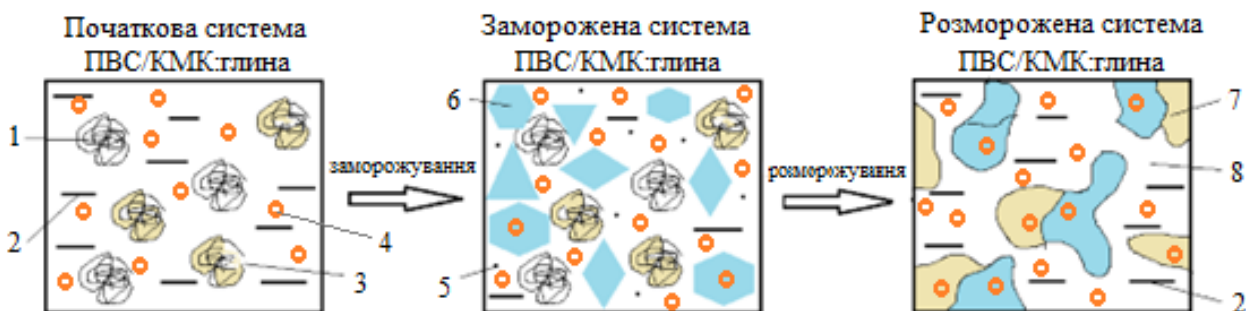
$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \%,$$

де m_2 – маса зразка в певний момент часу перебування у воді, г;

m_1 – маса сухого зразка, г.

Результати дослідження. В роботі було досліджено вплив кількості глини як наповнювача, для створення гібридних гідрогелів. Утворення гібридних гідрогелів на основі ПВС/КМК:глина відбувається кріоструктуруванням, при заморожуванні кристалізується КМК,

а при розморожуванні – ПВС (рис. 1). Встановлено, що композиції з вмістом глиняної компоненти вище 8 об'ємних частин не утворюють стійкої структури гідрогелевого матеріалу, тобто недостатня кількість структуруючої полімерної матриці та частинки порошкового наповнювача, перешкоджають утворенню гідрогелевого матеріалу. Такі зразки легко руйнувалися навіть при незначних навантаженнях, тому їх сорбційні властивості не досліджувалися. Зразки з наповненням глиною до 8 об'ємних частин включно мали достатню міцність.



Примітка: 1 – глобули молекул ПВС; 2 – розчинник (вода); 3 – молекули КМК; 4 – частинки глини монтморилонітового типу; 5 – незамерзла рідка мікрофаза; 6 – полікристали замерзлого розчинника; 7 – полімерна сітка гідрогелю на основі ПВС та КМК; 8 – макропори.

Рис. 1. Загальна схема гелеутворення композиції ПВС/КМК:глина в кріоумовах

В роботі було досліджено сорбційні властивості гідрогелів, отриманих на основі композиції ПВС/КМК у співвідношенні 1/1 з додаванням попередньо обробленої глини. На рис. 2 наведено криві сорбції гібридних гідрогелів. Характер кривої сорбції гідрогелю ПВС/КМК свідчить, що цей матеріал має просторово зшиту структуру з обмеженим набуханням. Тобто під час перебування у дистильованій воді відсоток вологості збільшується з 1150 до 1463%, тобто у 0,8 разів. При додаванні глини монтморилонітового типу М-5 відбувається повна зміна характеру кривих сорбції. Вже з перших хвилин перебування зразків у воді їх маса знижується, спостерігається візуальне зменшення об'єму, вологість при цьому знижується в середньому у 2,3 рази. Тобто спостерігається колапс гідрогелів, або витіснення води.

Рівноважне значення вологості встановлюється через 72 годин для всіх зразків, наповнених глиною, незалежно від її вмісту. Встановлено, що найменше значення втрати вологи 270% характерне для зразків, які містять 1 об'ємну частину глини. Максимальна втрата вологи 480% спостерігається для зразків, які містять 5 об'ємних частин глини. При подальшому збільшенні вмісту глини в гідрогелевих матеріалах відсоток сорбції після колапсу знижується та становить 730–668%.

На рис. 3 наведена залежність вологості зразків гібридних гідрогелів на основі полівінілового спирту та карбоксиметильованого крохмалю від вмісту глини на початку дослідження та після перебування у воді 72 години.

Із збільшенням кількості глини в гідрогелях вологість матеріалів знижується з 1150 до 670%. Для зразків, які містять від 1 об'ємної частини глини вологість зменшується на 27% після перебування у воді 72 години. При наповненні глиною від 2 до 8 об'ємних частин втрата вологи становить 50–65% від вологості початкового зразка. Максимальна втрата спостерігається для зразків із вмістом глини 5 об'ємних частин.

Тобто для гідрогелевих матеріалів на основі ПВС/КМК з додаванням 1 об'ємної частини глини спостерігається найменша втрата вологи під час колапсу системи. Подальше збільшення вмісту глини призводить до зменшення кількості вологи у гідрогелевих матеріалах, що є недоцільним з точки зору експлуатації гідрофільних систем.

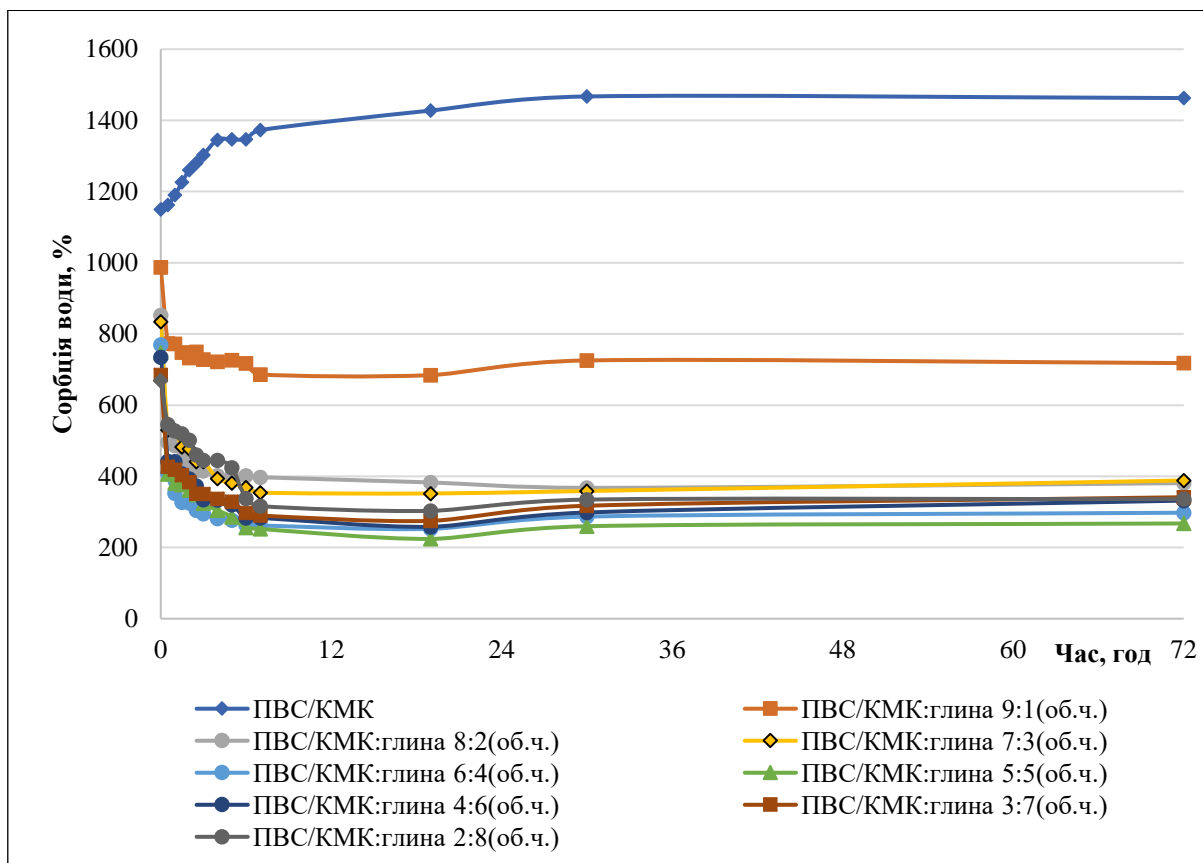


Рис. 2. Сорбція води для зразків гібридних гідрогелів на основі ПВС/КМК у співвідношенні 1:1 з додаванням глини

З огляду на практичне застосування гідрогелевої матриці, спосіб зберігання гідрогелів має забезпечити вологе середовище. В зв'язку з тим, що гідрогелеві матеріали мають утримуватися на певній ділянці шкіри людини, слід враховувати властивість гідрогелю висихати на відкритому повітрі, що обумовлюється здатністю до десорбції. Для чого в роботі фіксували зміну маси зразків у часі, залишивши їх на відкритому повітрі.

На рис. 4 наведено залежність десорбції води від часу висихання зразків гідрогелей на основі ПВС/КМК у співвідношенні 1:1 з додаванням глини. Найбільше значення початкової вологості характерне для зразків ПВС/КМК, які не містять глиняний наповнювач, а десорбція перші 6 годин відбувається швидко, після чого швидкість втрати вологи вирівнюється і встановлюється в межах 0,03 г/год.

Для зразків, які містять глинистий наповнювач від 1 до 9 об'ємних частин, характерне зменшення кута нахилу кривих десорбції, що свідчить про уповільнення процесу висихання гібридних гідрогелевих матеріалів. Причому збільшення вмісту глини призводить до зменшення періоду швидкої десорбції з 6 до 3 годин. Для зразка на основі лише глини, обробленої 0,025% розчином ПВС, період швидкої десорбції складає 2 години.

Через 72 години всі зразки не залежно від вмісту глини втрачають вологу до мінімального значення, при чому швидкість висихання тим вища, чим більший вміст глини. Було проведено розрахунок середньої швидкості десорбції для композицій гідрогелів ПВС/КМК у співвідношенні 1/1, які містять різну кількість об'ємних частин глини (рис. 5).

Найбільшу швидкість втрати вологи мають зразки гідрогелів на основі ПВС/КМК у співвідношенні 1:1 та становить 15%/год. При вмісті 1 об'ємної частини монтморилонітової глини висихання гідрогелевого матеріалу уповільнюється і досягає 13%/год. Подальше

збільшення глини в композиції несуттєво впливає на швидкість висихання гідрогелевих матеріалів і в середньому становить 9,8%/год

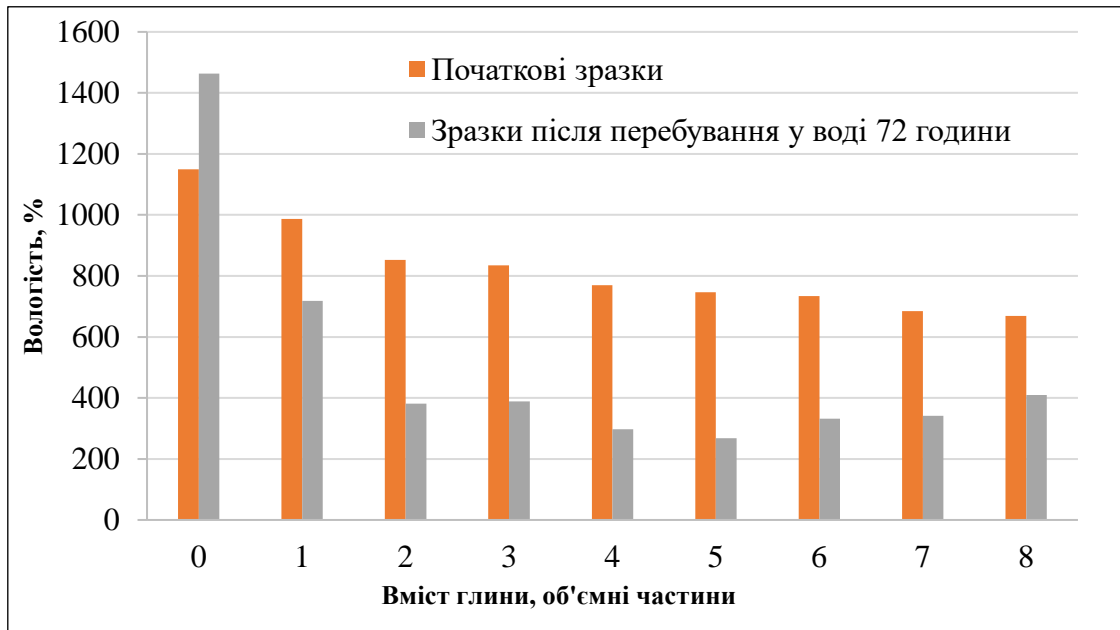


Рис. 3. Вологість зразків гібридних гідрогелів на основі полівінілового спирту та карбоксиметильованого крохмалю в залежності від вмісту глини

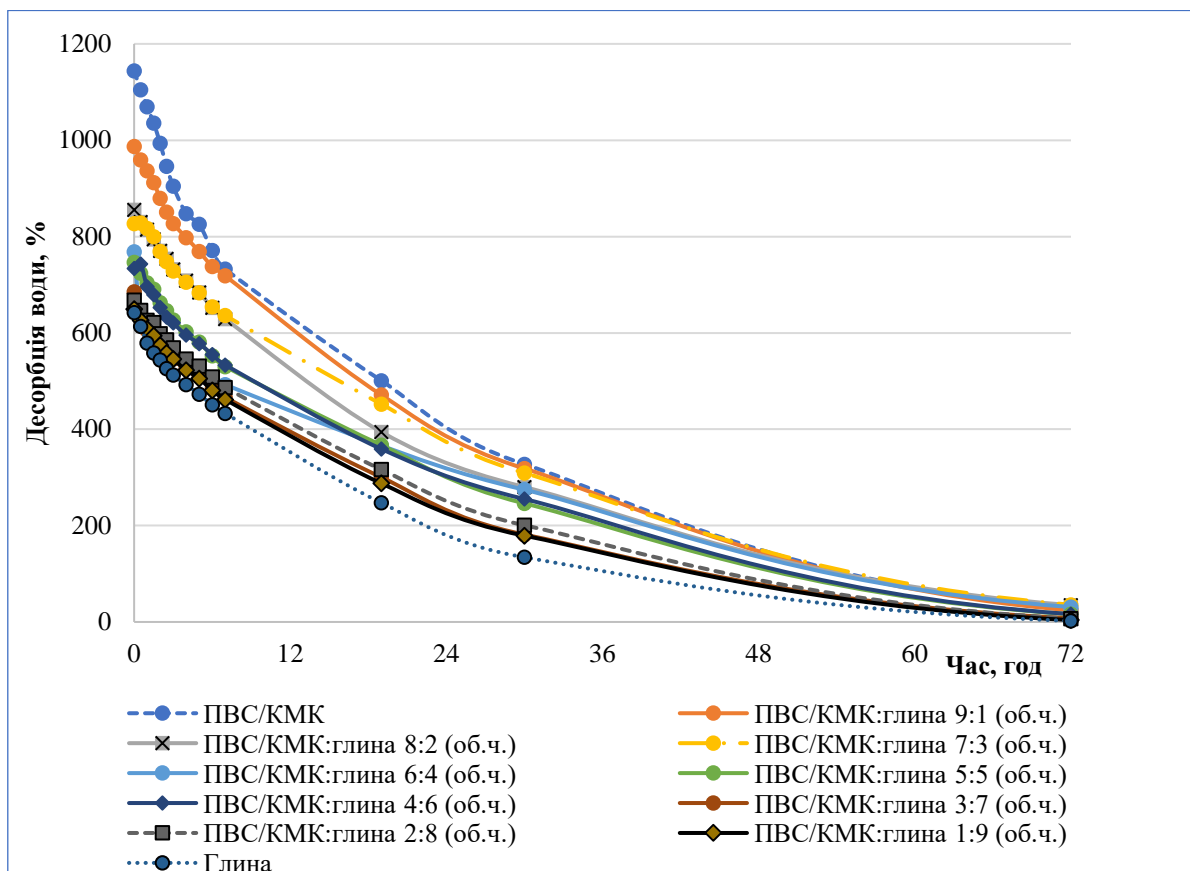


Рис. 4. Залежність десорбції води від часу висихання зразків гідрогелів на основі полівінілового спирту та карбоксиметильованого крохмалю у співвідношенні 1:1 з додаванням глини

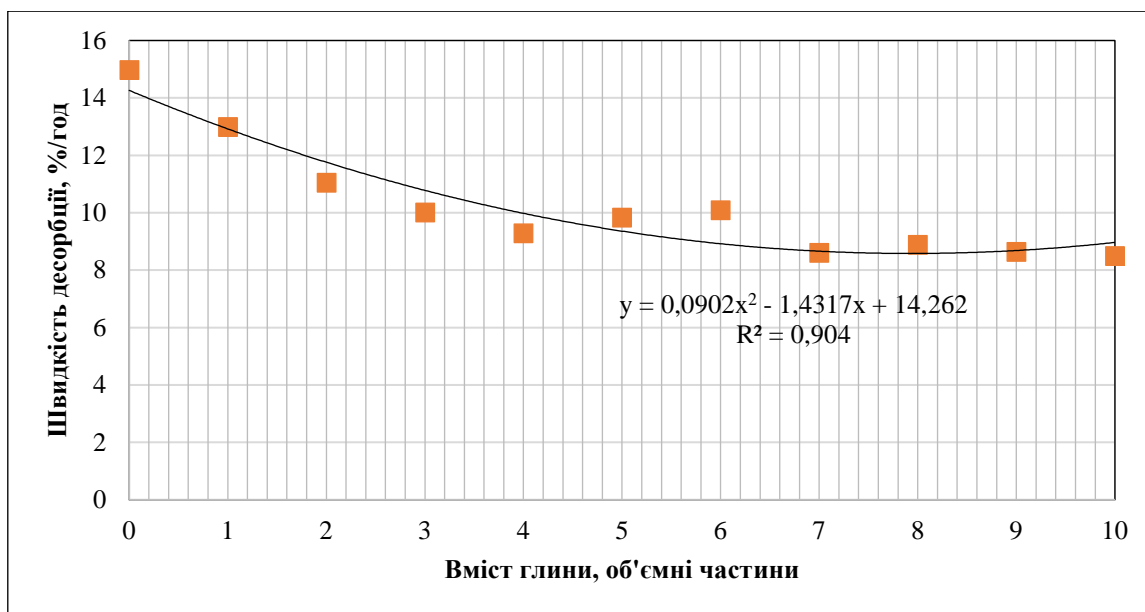


Рис. 5. Кінетика десорбції зразків гідрогелів на основі ПВС/КМК у співвідношенні 1:1 від вмісту глини

Залежність швидкості десорбції від вмісту глини відповідає емпіричному рівнянню $y = 0,0902x^2 - 1,4317x + 14,262$, $R^2 = 0,904$. Тобто збільшення вмісту глини в гібридних гідрогелях на основі ПВС/КМК уповільнює десорбцію. Для всіх зразків був досліджений початковий вміст вологи, який становив в середньому 89%. Тобто на швидкість висихання має вплив лише вміст глини. Максимальна швидкість десорбції гідрогелевих матеріалів спостерігається протягом перших 5–7 годин експерименту для всіх зразків, і становить в середньому 60%/год для зразка, який не містить глину, та 30%/год для зразків, що містять монтморилонітову глину. Отже, додавання глини монтморилонітового типу уповільнює процес десорбції гідрогелів на основі ПВС/КМК.

Висновки. В роботі доведено можливість отримання методом кріоструктурування гібридних гідрогелів на основі суміші полімерів ПВС:КМК у співвідношенні 1:1 з додаванням глини монтморилонітового типу (М-5).

Встановлено, що на характер кривих сорбції має принциповий вплив введення глини, а саме відбувається колапс глинонаповнених гідрогелевих систем з досягненням протягом 72 годин рівноважного значення сорбції. Для зразків, які містять 1 об'ємну частину глини, сорбція знижується на 270% і становить в рівноважному стані 720%. Максимальне зниження сорбції на 480% спостерігається для зразків, які містять 5 об'ємних частин глини, і становить в рівноважному стані 300%. При дослідженні десорбції гібридних гідрогелевих матеріалів було встановлено, що додавання глини монтморилонітового типу уповільнює процес десорбції гідрогелів на основі ПВС/КМК.

Таким чином, полімерні композиції на основі ПВС 16/1 з карбоксиметильованим крохмалем у співвідношенні 1:1 з додаванням глини монтморилонітового типу у кількості 1–2 об'ємні частини можна рекомендувати для одержання кріогідрогелів з підвищеними сорбційними властивостями та уповільненою швидкістю висихання.

References

1. Sivoli, L., Perez, E., Caraballo, D., Rodriguez, J. P., Rodriguez, D., Moret, J., Sojo, F., Arvelo, F., Tapia, M., Colina, M. J. (2013). Cytocompatibility of a

Література

1. Sivoli L., Perez E., Caraballo D., Rodriguez J. P., Rodriguez D., Moret J., Sojo F., Arvelo F., Tapia M., Colina M. J. Cytocompatibility of a matrix of

- matrix of methylated cassava starch and chitosan. *Cellular Plastics*, 49: 507–520. <https://doi.org/10.1177/0021955X13503843>.
2. Vasile, C. (2020). New developments in medical applications of hybrid hydrogels containing natural polymers. *Molecules*, 25.7: 1539. <https://doi.org/10.3390/molecules25071539>.
3. Rezanejad Gatabi Zahra, Niloofar Heshmati, Mehri Mirhoseini, Maedeh Dabbaghianamiri (2022). The Application of Clay-Based Nanocomposite Hydrogels in Wound Healing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, P. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06959-3>.
4. Aydinoglu, D., Karaca, N., Ceylan, Ö. (2021). Natural carrageenan/psyllium composite hydrogels embedded montmorillonite and investigation of their use in agricultural water management. *Journal of Polymers and the Environment*, 29: 785–798. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01914-5>.
5. Kokabi, M., Sirousazar, M., Hassan, Z. M. (2007). PVA–clay nanocomposite hydrogels for wound dressing. *European polymer journal*, 43.3: 773–781. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.11.030>.
6. Peiying, M. A., Zhou, W., Yibei, J., Zongwang, H., Lu, X., Jinlong, J., Fulai, Yu., Hui, X., Yi, Z. (2022). Clay-based nanocomposite hydrogels with microstructures and sustained ozone release for antibacterial activity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 641: 128497. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128497>.
7. Yiming, Z., Jiuyu, C., Xiaoyong, Q., Yonggan, Y., Zekai, Z., Kezhong, F., Yu, Y., Xiaolai, Z., Jun, H. (2022). Manufacturing and post-engineering strategies of hydrogel actuators and sensors: From materials to interfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2022: 102749. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102749>.
8. Budash, Y., Plavan, V., Tarasenko, N., Ishchenko, O., Koliada, M. (2023). Effect of Acid Modification on Porous Structure and Adsorption Properties of Different Type Ukrainian Clays for Water Purification Technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 24(5): 210–221. [doi:10.12911/22998993/161691](https://doi.org/10.12911/22998993/161691).
9. Eslahi, N., Abdorahim, M., Simchi, A. (2016). Smart polymeric hydrogels for cartilage tissue engineering: a review on the chemistry and biological functions. *Biomacromolecules*, 17.11: 3441–3463. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.6b01235>.
10. Meirelles, L. M., Nervo, R. F. (2017). Clay and polymer-based composites applied to drug release: A scientific and technological prospection. *Journal of*
- methylated cassava starch and chitosan. *Cellular Plastics*. 2013. 49. P. 507–520. <https://doi.org/10.1177/0021955X13503843>.
2. Vasile C. New developments in medical applications of hybrid hydrogels containing natural polymers. *Molecules*. 2020. 25.7. P. 1539. <https://doi.org/10.3390/molecules25071539>.
3. Rezanejad Gatabi Zahra, Niloofar Heshmati, Mehri Mirhoseini, Maedeh Dabbaghianamiri. The Application of Clay-Based Nanocomposite Hydrogels in Wound Healing. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2022. P. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06959-3>.
4. Aydinoglu D., Karaca N., Ceylan Ö. Natural carrageenan/psyllium composite hydrogels embedded montmorillonite and investigation of their use in agricultural water management. *Journal of Polymers and the Environment*. 2021. 29. P. 785–798. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01914-5>.
5. Kokabi M., Sirousazar M., Hassan Z. M. PVA–clay nanocomposite hydrogels for wound dressing. *European polymer journal*. 2007. 43.3. P. 773–781. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.11.030>.
6. Peiying M. A., Zhou W., Yibei J., Zongwang H., Lu X., Jinlong J., Fulai Yu., Hui X., Yi Z. Clay-based nanocomposite hydrogels with microstructures and sustained ozone release for antibacterial activity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. 641. 128497. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128497>.
7. Yiming Z., Jiuyu C., Xiaoyong Q., Yonggan Y., Zekai Z., Kezhong F., Yu Y., Xiaolai Z., Jun H. Manufacturing and post-engineering strategies of hydrogel actuators and sensors: From materials to interfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2022. 102749. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102749>.
8. Budash Y., Plavan V., Tarasenko N., Ishchenko O., Koliada M. Effect of Acid Modification on Porous Structure and Adsorption Properties of Different Type Ukrainian Clays for Water Purification Technologies. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. 24(5). P. 210–221. [doi:10.12911/22998993/161691](https://doi.org/10.12911/22998993/161691).
9. Eslahi N., Abdorahim M., Simchi A. Smart polymeric hydrogels for cartilage tissue engineering: a review on the chemistry and biological functions. *Biomacromolecules*. 2016. 17.11. P. 3441–3463. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.6b01235>.
10. Meirelles L. M., Nervo R. F. Clay and polymer-based composites applied to drug release: A scientific and technological prospection. *Journal of Pharmacy*

Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 20: 115–134. | & Pharmaceutical Sciences. 2017. 20. P. 115–134.
<https://doi.org/10.18433/J3R617>. | <https://doi.org/10.18433/J3R617>.

LIASHOK IRYNA
PhD, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9171-1075>
SCOPUS Author ID: 6508201621
Researcher ID: rid47052
E-mail: lyashok.io@knuud.com.ua

ANASTASIA GODUNKO
Student Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
E-mail: godunkoan225@gmail.com

PLAVAN VIKTORIIA
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>
Scopus Author ID: 6603130130
Researcher ID: I-5852-2015
E-mail: plavan.vp@knuud.edu.ua

ISHCHENKO OLENA
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>
SCOPUS Author ID: 57200013816
Researcher ID: GYV-0809-2022
E-mail: ishhenko.ov@knuud.com.ua

SHVETS VYACHESLAV
Postgraduate Student Department of Chemical
Technologies and Resource Saving, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: svecv2528@gmail.com

LIASHOK I. O., PLAVAN V. P., ISHCHENKO O. V., GODUNKO A. A., SHVETS V. V.
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

PROPERTIES OF HYBRID HYDROGELS WITH THE ADDITION OF MODIFIED STARCH AND MONTMORILLONITE-TYPE CLAY

Purpose. The aim of the scientific work is to develop the technology for obtaining hybrid hydrogel materials based on the polymer composition of polyvinyl alcohol with the addition of modified starch and montmorillonite-type clay and to study their sorption properties.

Methodology. A mixture of 10% solution of polyvinyl alcohol (PVA) and 5% solution of carboxymethylated starch (CMS) in a ratio of 1:1 was used to create the basis of hybrid hydrogel materials. As a filler for hydrogels, montmorillonite-type clay was used in the form of powder in the amount of 1 to 10 parts by volume. Hybrid hydrogels were obtained by single freezing for 24 hours at a temperature of -15 °C, as a result of which cryostructuring took place. The moisture content of the hydrogel materials was determined on a MA-50 R Radwag moisture analyzer at a temperature of 70 °C. To assess the effect of the amount of montmorillonite-type clay in the PVA/CMS composition on the properties of hybrid hydrogel materials, the sorption characteristics of the compositions were studied by the gravimetric method.

Findings. The technology for obtaining hybrid hydrogel materials by the cryostructuring method has been developed. As a result of the analysis of the sorption properties of hybrid hydrogel materials, it was established that the introduction of montmorillonite-type clay leads to a complete change in the nature of the sorption curves. Collapse of hydrogel systems is observed, and sorption drops from 1000% to 250%, reaching an equilibrium value within 72 hours. At the content of 1 volume part of clay, sorption decreases by 270% and

is 720% in the equilibrium state. The maximum decrease in sorption by 480% is observed for samples that contain 5 volume parts of clay and is 300% in the equilibrium state.

When studying the desorption of hybrid hydrogel materials, it was established that the addition of montmorillonite-type clay slows down the desorption process of hydrogels based on PVA/CMS. It was found that polymer compositions based on PVA with carboxymethylated starch in a ratio of 1:1 with the addition of clay in the amount of 1–2 parts by volume can be recommended for obtaining cryohydrogels with increased sorption properties and slower drying speed.

Originality consists in determining the effect of adding montmorillonite-type clay to a composition based on PVA with CMS for obtaining hydrogels by the cryostructuring method. It was established that the addition of clay leads to the collapse of hybrid hydrogel materials under the influence of water, and to the slowing down of the desorption properties of hybrid hydrogels.

Practical value. The technology for obtaining hybrid hydrogel materials based on a mixture of polyvinyl alcohol and carboxymethylated starch with the addition of montmorillonite-type clay by the cryostructuring method was developed, and the possibility of adjusting the sorption properties of hydrogels by introducing clay was determined.

Keywords: hybrid hydrogels; montmorillonite-type clay; polyvinyl alcohol; carboxymethylated starch; sorption; desorption.