

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ХІМІЇ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК**

ЗАТВЕРДЖЕНО

**Вченою радою Інституту хімії високомолекулярних
сполук НАН України**

Протокол № 9

від «29» вересня 2022 року



**Голова Вченої ради
Інституту хімії високомолекулярних
сполук НАН України
д.х.н. Олександр БРОВКО**

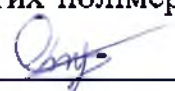
ПРОГРАМА

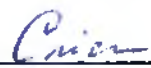
навчальної дисципліни

«ГІБРИДНІ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНІ НАНОКОМПОЗИТИ»

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	10 – ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	102 – ХІМІЯ
СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ	ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК
РІВЕНЬ ОСВІТИ	ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)
ФОРМА НАВЧАННЯ	ДЕННА

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Старший науковий співробітник відділу хімії олігомерів та сітчастих полімерів ІХВС НАНУ, старший дослідник, к.х.н О.В. Стрюцький 

Старший науковий співробітник відділу полімерних композитів ІХВС НАНУ, старший дослідник, к.х.н О.В. Слісенко 

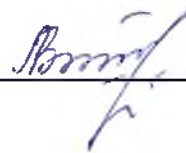
ПРОГРАМУ ЗАТВЕРДЖЕНО

На засіданні Вченої ради Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України

Протокол № 9

від «29» вересня 2022 року

Вчений секретар



Віра БУДЗІНСЬКА

ВСТУП

Програму вибіркової навчальної дисципліни **«Гібридні органо-неорганічні нанокompозити»** складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки докторів філософії в галузі природничих наук за спеціальністю **102 - «Хімія»**.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є сучасні підходи до синтезу органо-неорганічних гібридних нанокompозитів з широкими можливостями регулювання їхньої хімічної будови, структури та властивостей.

Міждисциплінарні зв'язки: Навчальна дисципліна **«Гібридні органо-неорганічні нанокompозити»** згідно з навчальним планом належить до циклу дисциплін професійної підготовки, яка викладається на 2 курсі аспірантури. Курс відноситься до вибірових курсів спеціалізації «Хімія високомолекулярних сполук». Для вивчення курсу необхідні знання та вміння, набуті аспірантами з дисциплін «Хімія високомолекулярних сполук», «Фізика і хімія полімерів», «Фізико-хімічні методи дослідження полімерів», «Наноматеріали та нанотехнології».

Матеріал відображений в курсі «Гібридні органо-неорганічні нанокompозити» є теоретичною основою для висування ідей, формування вмінь та навичок, необхідних для проведення наукових досліджень та вирішення завдань, що стоять перед аспірантом при виконанні його науково-дослідницької роботи.

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета навчальної дисципліни:

формування сучасного рівня знань в області полімерної хімії, підходів і стратегій щодо синтезу нанокompозитних матеріалів, отримання фундаментальних знань, що дозволять передбачити базові властивості нанокompозитів, в тому числі, гідрофільних і їх чутливість до зміни факторів навколишнього середовища шляхом обрання складу і прецизійного контролю умов синтезу. Метою курсу є також ознайомлення і опанування методологічними підходами, що використовують в полімерній хімії, що ґрунтуються на новітніх досягненнях в цій галузі. Важливою метою курсу є також підготовка аспірантів як перспективних дослідників, здатних аналізувати експериментальні дані, одержані за допомогою фізико-хімічних та фізико-механічних методів.

1.2. Основні завдання навчальної дисципліни:

В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен:

знати:

- закони, принципи та правила з хімії високомолекулярних сполук, неорганічної, органічної та фізичної хімії.
- основні принципи формування органо-неорганічних нанокомпозитних матеріалів, сучасні технології проведення синтезу;
- основні закономірності формування гідрофільних органо-неорганічних нанокомпозитів, взаємозв'язку між складом, умовами синтезу та структурою і властивостями гібридних нанокомпозитів,
- стратегії прогнозування властивостей майбутніх гідрогелів виходячи з хімічної природи реагентів.

вміти:

- синтезувати гібридні нанокомпозити різної структури;
- характеризувати, досліджувати структуру, фізико-хімічні та механічні властивості гібридних матеріалів;
- застосовувати методику оцінки експериментальних даних для складання стратегії синтезу матеріалів з заданими кінцевими характеристиками;
- застосовувати теоретичні знання про принципи формування органо-неорганічних нанокомпозитних матеріалів та наночасток для визначення реагентів та умов синтезу сприятливих для отримання матеріалів з заданими структурою та властивостями.

мати навички:

- отримання гібридних наночасток та нанокомпозитів, характеристика їх спектральними методами (ІЧ- та ^1H , ^{13}C , ^{29}Si ЯМР спектроскопії) та застосування різних фізико-хімічних методів (MALDI ToF MS, ГПХ (для наночасток), функціональний аналіз, визначення гель-фракції, ТГА, ДСК, мало- та широко кутовий рентгенографічний аналіз, ДМА, ТМА, діелектрична релаксаційна спектроскопія (ДРС)) для дослідження структури та фізико-хімічних властивостей синтезованих гібридних матеріалів.

- синтезу гідрофільних органо-неорганічних нанокомпозитів зі специфічними властивостями (термо-, рН-, світло-чутливі і т.п.), вміти досліджувати їхню структуру за допомогою основних фізико-хімічних методів (ІЧ-спектроскопії, ДСК, ДМА), визначати та аналізувати різноманітні властивості, зокрема механічні, сорбційні, розраховувати молекулярні параметри зшитої структури композитів.

3. ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАСВОЄННЯ ДИСЦИПЛІНИ

В рамках даної дисципліни поглиблюються і розвиваються такі компетенції:

❖ *Універсальні компетенції*: здатність проектувати і здійснювати комплексні дослідження, в тому числі міждисциплінарні, на основі цілісного системного наукового світогляду з використанням знань в області історії і філософії науки;

❖ *Загальнопрофесійні компетенції*: здатність самостійно здійснювати науково-дослідницьку діяльність в хімії високомолекулярних сполук з використанням сучасних методів дослідження та інформаційно-комунікаційних технологій.

❖ *Професійні компетенції*: здатність організовувати проведення експериментів і випробувань, проводити їх обробку, аналізувати результати експериментальних досліджень, робити висновки та узагальнювати отримані дані у вигляді наукових публікацій для провідних профільних журналів.

2. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 240 годин/8 кредитів ECTS.

Модулі дисципліни і види занять.

№	Модулі дисципліни	Кількість кредитів ЄКТС	Обсяг навчальної роботи (в годинах)					Самостійна робота	Вид підсумкового контролю
			Загальний обсяг	Всього аудиторних	лекції	семінари	консультації		
1	Методи отримання, структурні особливості та властивості гібридних органо-неорганічних нанокompозитних матеріалів і наночасток				13	5	2	90	
2	Гідрофільні органо-неорганічні полімерні композити: від синтезу до застосування				9	5	4	112	
	Разом	8	240	38	22	10	6	202	екзамен

Навчальна дисципліна містить два кредитні модулі:

МОДУЛЬ 1. Методи отримання, структурні особливості та властивості гібридних органо-неорганічних нанокompозитних матеріалів і наночасток

Тема 1. Гібридні органо-неорганічні нанокompозити: загальні відомості, основні поняття, методи отримання, структурні особливості, властивості та області застосування. Гібридні органо-неорганічні нанокompозити в аспекті колоїдного стану неорганічного компоненту (розміри частинок складають від 1 до 100 нм). Основні поняття, пов'язані з органо-неорганічними нанокompозитними

матеріалами та методи їх отримання як за технологією «згори - вниз» (диспергуванням неорганічного компонента в органічній матриці), так і «знизу - вгору» (хімічним формуванням неорганічного компонента («золь-гель метод»)). Вплив способу отримання нанокомпозитів на їх структуру та властивості. Області застосування органо-неорганічних нанокомпозитних матеріалів в контексті комплексу їх властивостей.

Тема 2. Золь-гель технологія отримання гібридних наноструктурованих матеріалів: фізико-хімічні основи золь-гель процесу, вплив умов синтезу на перебіг реакцій та структуру і властивостей продуктів синтезу, їх класифікація. Основні закономірності гідролітичної конденсації вихідних для золь-гель процесу сполук, а саме алкоксидів і галогенідів таких елементів, як кремній, титан, цирконій. Керування процесом гідролітичної конденсації шляхом зміни температури, використовуваного розчинника, каталізу (кислотного, нейтрального та основного), кількості взятої для гідролізу води, концентрації тощо. Залежність структури та властивостей отримуваних нанокомпозитів від вищевказаних факторів. Класифікація продуктів синтезу в залежності від характеру взаємодії органічного і неорганічного компонентів та їх структури.

Тема 3. Отримання наночастинок, покриттів, порошків, плівкових та пористих матеріалів золь-гель методом. Золь-гель технологія в аспекті отримання різноманітних гібридних наноструктурованих матеріалів промислового та науково-технічного значення з регульованими властивостями. Принципи формування основних продуктів золь-гель синтезу, а саме монологітичних матеріалів, таких як покриття та плівки, наночастинок (в тому числі з використанням золь-гель синтезу в гетерогенному середовищі), порошків та пористих (зокрема мезопористих нано- та мікрочастинок) матеріалів.

Тема 4. Функціоналізовані гібридні наноматеріали різного призначення: синтез, методи введення функцій, характеристика, структура, властивості. Загальні підходи до функціоналізації гібридних органо-неорганічних наноматеріалів з використанням різних функційних добавок, в тому числі здатних до золь-гель конденсації, та шляхом полімераналогічних перетворень. Системи з різними фізичними функціями (йонними, оптичноактивними, магнітними тощо). Основні властивості та вплив гібридної природи матеріалів і методу їх отримання на структуру та властивості.

МОДУЛЬ 2. Гідрофільні органо-неорганічні полімерні композити: від синтезу до застосування

Тема 5. Органо-неорганічні гібридні гідрогелі: класифікація та основні принципи їх синтезу. Класифікація та основні принципи синтезу органо-неорганічних гібридних гідрогелів. Теоретичні основи процесу сорбції. Процес дифузії сорбату в

полімерне середовище. Кінетичні моделі для прогнозування швидкості та механізму набухання гідрогелю. Дифузійні моделі Фіка, колективні дифузійні моделі та криві сигмоїдального набухання.

Тема 6. Термодинамічний та кінетичний аспекти сорбції органо-неорганічних гідрогелів. Наповнені полімерні композитні гідрогелі. Термодинаміка рівноважного набухання гідрогелів. Теоретичний підхід до пояснення процесу сорбції. Забезпечення просторової цілісності гідрогелю в набряклому стані.

Тема 7. Органо-неорганічні гідрогелі зі структурою взаємопроникних полімерних сіток та гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Аномальні міцнісні та сорбційні характеристики гідрогелів. Гідрогелі – суперсорбенти. Сучасні досягнення в області створення та дослідження властивостей органо-неорганічних гідрогелів з сітчастою структурою органічного та неорганічного компонентів, включаючи основні принципи їх синтезу і вивчення феномена екстремально високих механічних показників гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Гідрогелі з подвійною сітчастою структурою.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Список літератури до модуля 1

1. Гібридні органо-неорганічні нанокомпозити: загальні відомості, основні поняття, методи отримання, структурні особливості, властивості та області застосування.

1. Kim C.S. Hybrid and hierarchical composite materials Chapter 2. Organic-inorganic polymer hybrids: Synthetic strategies and applications / C.S. Kim, C. Randow, T. Sano. - Switzerland: Springer International Publishing, 2015, P.11-63.

2. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / London: Academic Press., Inc., 1990, 908 p.

3. Шилова О.А., Шилов В.В. Нанокомпозитные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства. Применение. – Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології», Т.1, Вип.1. –Київ: Академперіодика, 2003. – С.9-84.

4. Hench L.L., West J.K. The Sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – V.90. – P. 33-72.

5. Zou H., Wu S., Shen J. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications // Chem. Rev. – 2008. – V.108. – P.3893–3957.

6. Sanchez C., Julia'n B., Belleville P., Popall M. Applications of hybrid organic–inorganic nanocomposites // J. Mater. Chem. – 2005. – V.15. – P.3559–3592.

7. Kumar A., Yadav N, Bhatt M., Mishra N.K., Chaudhary P., Singh R. Sol-gel derived nanomaterials and it's applications: A review // Res. J. Chem. Sci. – 2015. - V.5, N12. – P.98-105.

8. Pandey S., Mishra S.B. Sol-gel derived organic-inorganic hybrid materials: synthesis, characterizations and applications // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2011. - V.59. - P.73–94.

2. Золь-гель технологія отримання гібридних наноструктурованих матеріалів: фізико-хімічні основи золь-гель процесу, вплив умов синтезу на перебіг реакцій та структуру і властивості продуктів синтезу, їх класифікація.

1. Kim C.S. Hybrid and hierarchical composite materials Chapter 2. Organic-inorganic polymer hybrids: Synthetic strategies and applications / C.S. Kim, C. Randow, T. Sano. - Switzerland: Springer International Publishing, 2015, P.11-63.

2. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / London: Academic Press., Inc., 1990, 908 p.

3. Шилова О.А., Шилов В.В. Нанокompозитные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства. Применение. – Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології», Т.1, Вип.1. –Київ: Академперіодика, 2003. – С.9-84.

4. Hench L.L., West J.K. The Sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – V.90. – P. 33-72.

5. Zou H., Wu S., Shen J. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications // Chem. Rev. – 2008. – V.108. – P.3893–3957.

6. Sanchez C., Julia'n B., Belleville P., Popall M. Applications of hybrid organic-inorganic nanocomposites // J. Mater. Chem. – 2005. – V.15. – P.3559–3592.

7. Kumar A., Yadav N, Bhatt M., Mishra N.K., Chaudhary P., Singh R. Sol-gel derived nanomaterials and it's applications: A review // Res. J. Chem. Sci. – 2015. - V.5, N12. – P.98-105.

8. Pandey S., Mishra S.B. Sol-gel derived organic-inorganic hybrid materials: synthesis, characterizations and applications // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2011. - V.59. - P.73–94.

9. Danks A.E., Hall S.R., Schnepf Z. The evolution of 'sol-gel' chemistry as a technique for materials synthesis // Mater. Horiz. - 2016 - V.3. - P.91-112.

10. Помогайло А.Д. Гибридные полимер-неорганические нанокompозиты // Успехи химии. - 2000. - Т. 69. - С. 60-89.

3. Отримання наночастинок, покриттів, порошків, плівкових та пористих матеріалів золь-гель методом.

1. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / London: Academic Press., Inc., 1990, 908 p.

2. Шилова О.А., Шилов В.В. Нанокompозитные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства. Применение. – Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології», Т.1, Вип.1. –Київ: Академперіодика, 2003. – С.9-84.

3. Hench L.L., West J.K. The Sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – V.90. – P. 33-72.

4. Zou H., Wu S., Shen J. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications // Chem. Rev. – 2008. – V.108. – P.3893–3957.

5. Sanchez C., Julia'n B., Belleville P., Popall M. Applications of hybrid organic–inorganic nanocomposites // J. Mater. Chem. – 2005. – V.15. – P.3559–3592.

6. Kumar A., Yadav N, Bhatt M., Mishra N.K., Chaudhary P., Singh R. Sol-gel derived nanomaterials and it's applications: A review // Res. J. Chem. Sci. – 2015. - V.5, N12. – P.98-105.

7. Pandey S., Mishra S.B. Sol–gel derived organic–inorganic hybrid materials: synthesis, characterizations and applications // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2011. - V.59. - P.73–94.

8. Shevchenko V.V., Stryutsii A.V., Klimenko N.S. Polymeric organic-inorganic proton-exchange membranes for fuel cells produced by the sol-gel method // Teor. Exp. Chem. - 2011. - Vol.47, №2. - P. 67 -92.

4. Функціоналізовані гібридні наноматеріали різного призначення: синтез, методи введення функції, характеристика, структура, властивості.

1. Froehlich J.D., Young R., Nakamura T., Ohmori Y., Li S., Mochizuki A. Synthesis of multi-functional POSS emitters for OLED applications // Chem. Mater. - 2007. - Vol. 19. - P. 4991-4997.

2. Photoresponsive hybrid materials: synthesis and characterization of coumarin-dimer-bridged polysilsesquioxanes / Zhao L., Vaupel M., Loy D.A., Shea K.J. // Chem. Mater. - 2008. - Vol. 20. - P.1870-1876.

3. Schmidt H., Jonschker G., Goedicke S., Mennig M. The sol-gel process as a basic technology for nanoparticle-dispersed inorganic-organic composites // Journal of Sol-Gel Science and Technology. - 2000. - V.19. - P.39-51.

4. Sanchez C., Ribot F., Lebeau B. Molecular design of hybrid organic–inorganic nanocomposites synthesized via sol–gel chemistry // J. Mater. Chem. - 1999. - V. 9. - P. 35-44.

5. Shevchenko V.V., Stryutsii A.V., Klimenko N.S. Polymeric organic-inorganic proton-exchange membranes for fuel cells produced by the sol-gel method // Teor. Exp. Chem. - 2011. - Vol.47, №2. - P. 67 -92.

6. Shevchenko V.V., Gumennaya M.A. Synthesis and properties of anion-exchange membranes for fuel cells // Teor. Exp. Chem. - 2010. - Vol. 46. - P. 139-152.

7. Tanaka K., Ishiguro F., Chujo Y. POSS Ionic Liquid // J. Am. Chem. Soc. - 2010. - Vol. 132. - P. 17649–17651.

8. Sanchez C., Soler-Illia G.J. de A.A., Lalot T., Mayer C.R., Cabuil V. Designed hybrid organic-inorganic nanocomposites from functional nanobuilding blocks // Chem. Mater. - 2001. - V.13. - P. 3061-3083.

9. Wang X., Wang L., He X., Zhang Y., Chen L. A molecularly imprinted polymer-coated nanocomposite of magnetic nanoparticles for estrone recognition // *Talanta*. - 2009. - Vol.78. - P. 327–332.

10. Magnetic ionogels (MagIGs) based on iron oxide nanoparticles, poly(*n*-isopropylacrylamide), and the ionic liquid trihexyl(tetradecyl)phosphonium dicyanamide / Ziółkowski B., Bleek K., Twamley B., Fraser K.J., Byrne R., Diamond D., Taubert A. // *Eur. J. Inorg. Chem.* - 2012. - P. 5245–5251. DOI:10.1002/ejic.201200597.

Список літератури до модуля 2

1. Класифікація органо-неорганічних гібридних гідрогелів та основні принципи їх синтезу.

1. Ahmed E.M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review // *Journal of Advanced Research* – 2015. – Vol. 6. – P. 105–121.

2. P. Schexnailder, G. Schmidt Nanocomposite polymer hydrogels // *Colloid Polym Sci.* – 2009. – Vol. 287. – P.1–11.

3. Chujo Y., Tamaki R. New preparation methods for organic–inorganic polymer hybrids // *www.mrs.org/publications/bulletin*. - 2001. - P. 389-392.

4. Ogoshi T., Chujo Y. Organic–inorganic polymer hybrids prepared by the sol-gel method // *Composite Interfaces* – 2005. - Vol. 11, No. 8-9, P. 539–566.

5. Du J., Guo P., Xu S., Zhang C., Feng S., Cao L., Wu R., Wang J. Organic/inorganic nanocomposite hydrogels // *Fillers and reinforcements for advanced nanocomposites*, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100079-3.00021-1>.

6. Akhtar M.F., Hanif M., Ranjha N.M. Methods of synthesis of hydrogelsA review <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsps.2015.03.022>

2. Термодинаміка процесу сорбції гідрогелів. Теоретичні основи процесу сорбції - десорбції органо-неорганічних гідрогелів.

1. Ganji F., Vasheghani-Farahani S., Vasheghani-Farahani E. Theoretical description of hydrogel swelling: a review // *Iranian Polymer Journal* – 2010. – Vol. 19 (5). – P. 375-398.

2. De S.K., Aluru N.R., Johnson B., Crone W.C., Beebe D.J., Moore J. Equilibrium swelling and kinetics of pH-responsive hydrogels: models, experiments, and simulations // *Journal of microelectromechanical systems* – 2002. - Vol. 11, N. 5. – P.544-555.

3. Peppas N.A., Hilt J.Z., Khademhosseini A., Langer R. Hydrogels in biology and medicine: from molecular principles to bionanotechnology // *Adv. Mater.* – 2006. – Vol. 18. – P. 1345–1360.

3. Наповнені полімерні композитні гідрогелі.

1. Haraguchi K. Nanocomposite hydrogels // *Current Opinion in Solid State and Materials Science* – 2007. – Vol. 11. – P. 47–54.

2. Du J., Guo P., Xu S., Zhang C., Feng S., Cao L., Wu R., Wang J. Organic/inorganic nanocomposite hydrogels // Fillers and reinforcements for advanced nanocomposites, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100079-3.00021-1>.

3. Zhao L.Z., Zhou C.H., Wang J., Tong D.S., Yu W.H., Wang H. Recent advances in clay mineral-containing nanocomposite hydrogels // Soft matter – 2015. – Iss.48.

4. Karimi A., Daud W.M.A.W. Materials, preparation, and characterization of PVA/MMT nanocomposite hydrogels: A review // Polymer Composites – 2017. – Vol. 38, Iss. 6. – P. 1086–1102.

5. Zhao F., Yao D., Guo R., Deng L., Dong A., Zhang J. Composites of polymer hydrogels and nanoparticulate systems for biomedical and pharmaceutical applications // Nanomaterials 2015, 5, 2054-2130; doi:10.3390/nano5042054

4. Органо-неорганічні гідрогелі зі структурою взаємопроникних полімерних сіток та гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Аномальні міцнісні та сорбційні характеристики гідрогелів. Гідрогелі – суперсорбенти.

1. Chen Y., Xu W., Zeng G. The preparation and characteristic of robust inorganic/organic IPN nanocomposite hydrogels with fast response rate // J Mater Sci. – 2014. – Vol. 49. – P. 7360–7370.

2. Dragan E.S., Cazacu M., Nistor A. Ionic organic/inorganic materials. III. stimuli responsive hybrid hydrogels based on oligo(N,N-dimethylaminoethylmethacrylate) and chloroalkyl-functionalized siloxanes // Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry – 2009. - Vol. 47. – P. 6801–6813.

3. Peak C.W., Wilker J.J., Schmidt G. A review on tough and sticky hydrogels // Colloid Polym Sci. – 2013. – Vol. 291. – P. 2031–2047.

4. Kabiri K., Omidian H., Zohuriaan-Mehr M. J., Doroudiani S. Superabsorbent Hydrogel Composites and Nanocomposites: A Review // Polymer Composites — 2011. – p. 277-289.

5. Chen Q., Chen H., Zhua L., Zheng J. Fundamentals of double network hydrogels // J. Mater. Chem. B Cite this: DOI: 10.1039/c5tb00123d

6. Sun J.-Y., Zhao X., Illeperuma W.R.K., Chaudhuri O., Oh K.H., Mooney D.J., Vlassak J.J., Suo Z. Highly stretchable and tough hydrogels // doi:10.1038/nature11409

7. Tirumala V.R., Tominaga T., Lee S., Butler P.D., Lin E.K., Gong J.P., Wu W. Molecular model for toughening in double-network hydrogels // J. Phys. Chem. B. – 2008. – Vol. 112. – P. 8024–8031.

8. Nonoyama T., Gong J.P. Double-network hydrogel and its potential biomedical application: a review // J Engineering in Medicine - 2015, Vol. 229(12). – P. 853–863.

9. Brown H.R. A model of the fracture of double network gels // Macromolecules – 2007. – Vol. 40. – P. 3815-3818.

10. Nakajima T., Gong J.P. Double-Network Hydrogels: Soft and Tough IPN // Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials DOI 10.1007/978-3-642-36199-9_67-1

11. Gong J.P. Why are double network hydrogels so tough? // DOI: 10.1039/b924290b

5. Застосування органо-неорганічних гідрогелів. Гідрогелі біомедичного призначення.

1. Peppas N.A., Hilt J.Z., Khademhosseini A., Langer R. Hydrogels in biology and medicine: from molecular principles to bionanotechnology // *Adv. Mater.* – 2006. – Vol. 18. – P. 1345–1360.

2. Ogoshi T., Chujo Y. Organic–inorganic polymer hybrids prepared by the sol-gel method // *Composite Interfaces* – 2005. - Vol. 11, No. 8-9, P. 539–566.

3. Qiu Y., Park K. Environment-sensitive hydrogels for drug delivery // *Advanced Drug Delivery Reviews* – 2012. – Vol. 64. – P. 49–60.

4. Hoffman A.S. Hydrogels for biomedical applications // *Advanced Drug Delivery Reviews* - 2002. – Vol. 43. – P. 3–12.

5. Biondi M., Borzacchiello A., Mayol L., Ambrosio L. Nanoparticle-integrated hydrogels as multifunctional composite materials for biomedical applications // *Gels* – 2015. – Vol. 1. – P. 162-178; doi:10.3390/gels1020162

4. ФОРМА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ:

Екзамен.

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ:

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення
лекційних занять:

- відповіді на питання за лекційним курсом;
- усні завдання.

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення
семінарів та індивідуальних занять:

- усне опитування;
- участь в обговоренні дискусійних питань.