

Герасимов О. І., д. ф.-м. н., професор,

Курятников В. В., к. ф.-м. н., доцент

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (м. Одеса, Україна)

[gerasymovoleg@gmail.com](mailto:gerasymovoleg@gmail.com)

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ В  
ОНУ імені І. І. МЕЧНИКОВА ФАХІВЦІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
«ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»**

***Анотація:** Розглянуто міждисциплінарний концептуальний підхід та методологічні аспекти навчання у термінології компетентностей та результатів навчання, які забезпечують наповнення «ядра» освітньої програми підготовки фахівців зі спеціальності «Технології захисту навколишнього середовища» інженерно-фізичними принципами, методами та моделями. Міждисциплінарний концептуальний підхід у завданнях навчання дозволяє кількісно врахувати фізичні та інші характеристики процесів забруднення довкілля.*

***Ключові слова:** концепція навчання, технології захисту довкілля, міждисциплінарні принципи, інженерно-фізична складова.*

***Abstract.** The interdisciplinary conceptual approach and methodological aspects of training in the terminology of competences and learning outcomes, which shape the "core" of the educational program for training specialists in the specialty "Environmental protection technologies" with engineering and physical principles,*

*methods and models are considered. The interdisciplinary conceptual approach in learning tasks takes into account the peculiarities of pollution processes and the impact on the environment.*

**Key words:** *educational concept, environmental protection technologies, interdisciplinary principles, engineering and physical component.*

**Вступ.** Міждисциплінарний концептуальний підхід та основні методологічні принципи у розвитку сучасних технологій захисту навколишнього середовища містять:

- системність, яка орієнтована на вивчення природних об'єктів в умовах забруднення та впливу небезпечного зовнішнього випромінювання, включаючи звукове, теплове, електромагнітне та ядерне випромінювання;

- міждисциплінарність, яка орієнтована на застосування знань з різних дисциплін (таких, наприклад, як фізика, хімія, математичні методи, інженерні дисципліни, екологія) для всебічного вивчення різноманітних процесів, які лежать в основі систем та технологій захисту довкілля від зовнішніх впливів;

- моделювання, як метод формалізованого опису об'єктів за допомогою методів математичної фізики, класичної та прикладної математики.

Застосування методу системно-структурного аналізу в поєднанні з методом моделювання, побудова та розв'язання моделей процесів та явищ, які супроводжують дії інженерних та технологічних конструкцій і заходів, формують міждисциплінарний концептуальний підхід до навчального процесу. На цьому шляху залучення таких дисциплін як, наприклад, «Екологічна фізика», «Радіоекологія», «Фізика гранульованих систем», «Фізика дисперсних систем», «Інженерні основи технологій захисту довкілля», «Математичні методи моделювання» сприяють формуванню міждисциплінарного підходу в концепціях навчання у підготовці здобувачів за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (ТЗНС) і є актуальним.

Саме застосування міждисциплінарного підходу призвело до формування та детальної розробки як наукових напрямів досліджень, так і вирішення практичних задач у поєднанні із впровадженням у навчальний процес результатів досліджень нових технологічних матеріалів, зокрема, гранульованих систем [1,2]. Прикладом є теми виконуваних кваліфікаційних робіт на всіх рівнях вищої освіти від бакалаврського до доктора філософії, які відповідають кафедральній науковій тематиці з вивчення властивостей складних полідисперсних мікро-механічних систем та їх застосувань в технологіях захисту навколишнього середовища, такі, скажімо, як: «Застосування полідисперсних гранульованих матеріалів у конструкціях радіаційних захисних екранів», «Інженерно-фізичні принципи розрахунків апаратів із вільною міжфазною

границею у технологіях очищення суцільних фаз», «Електрофоретична технологія очистки поверхонь забруднених пилом та макро-молекулярними комплексами», «Використання електромагнітного випромінювання терагерцівського діапазону хвиль для виявлення домішкових компонентів у базових матрицях» та багато інших.

Багаторічні дослідження у напрямку радіаційного захисту дозволили створити навчально-методичний комплекс, який містить підручники і довідкову літературу (у тому числі і на англійській мові) та доповнити його навчальним демонстраційним комплексом ГАММАЛАБ, а також системою поточних вимірів радіаційного фону із виведенням даних у термінах амбієнтної дози на сайт університету.

На фундаментальному рівні ведеться розбудова теорії речовини у гранульованих фазах з урахуванням внутрішніх та зовнішніх параметрів існування. Запропонована технологія застосування таких матеріалів в якості захисних екрануючих конструкцій в задачах радіаційного захисту.

Запропонована технологія очистки поверхнево-забруднених мікро-частинковим пилом або макро-молекулярними сполуками матеріалів за допомогою електрофоретичного методу, яка може бути використана в технологіях тонкої пило-очистки в умовах зниженої гравітації, а також для боротьби із деякими корона-вірусними забрудненнями.

Розроблена теорія розсіяння електромагнітного випромінювання в терагерцівському діапазоні на гранульованих матеріалах і запропоновано застосування відповідної технології для неруйнівного детектування домішкових компонентів в базових матрицях різної природи.

Деталізована технологія дезактивації радіаційно забруднених об'єктів за допомогою пінної фракції новітнього матеріалу, структурованого у наномасштабі полімер-стабілізованого оксиду графену.

Нижче ми стисло висвітлимо лише деякі положення міждисциплінарної, інженерно-фізичної концепції навчання, основні методологічні принципи та зв'язки між освітніми компонентами навчання, які використовуються при підготовці за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища».

У зв'язку з реорганізацією Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ) викладання фізики і дисциплін спеціальності 183 ТЗНС [3] зазнало певних змін, що потребує зараз позначити межі можливих реконструкцій в методології і технології освітнього процесу.

Концепція освітнього процесу на кафедрі з часу, коли вона стала випускаючою зі спеціальності «Радіоекологія», базувалася на ідеях підготовки фахівців інженерно-фізичного та технологічного спрямування. При цьому

вивчення предмету «Радіоекологія» мало місце у вигляді як окремих компонент ОП спеціальності, так і програми післядипломної освіти [4].

**Системний аналіз концепції та керуючих методологічних принципів у підготовці фахівців з «Технологій захисту навколишнього середовища».**

Технологіям навчання, зокрема зі спеціальності ТЗНС, як технологіям взагалі, притаманні трансформація наукового знання в реальні об'єкти – технологічні алгоритми, програми та плани.

Існуюча система навчання включає освітню програму, навчальний план, комплекс нормативних документів, які регламентують освітній процес та кредитно-модульну систему навчання з її методичним забезпеченням, із лабораторною базою та базою практик.

Навчальний процес, як і взагалі реальні технологічні процеси, постійно змінюється та удосконалюється. Як і технологічні об'єкти, вони замінюються на більш ефективні, економічні, екологічно безпечні, що відповідає сучасним вимогам енергозбереження, безвідходного виробництва та економіки.

Виникають, наразі, наступні питання. Чи стосуються еволюційні процеси, як то реорганізація навчального закладу, системи принципів в технологіях навчання? Які удосконалення потрібні міждисциплінарній концепції навчання? Ці питання мають методологічний характер і відповідь на них шукатиме у системно-структурному аналізі навчального процесу.

Система навчання, як і освітня програма підготовки зі спеціальності 183, має віддзеркалювати складну систему об'єктів навколишнього середовища і елементів їх захисту. Віддзеркалювання природних процесів і об'єктів разом із складними зв'язками між ними в навчальних технологіях знаходить своє місце у методі аналогій, який супроводжує системний підхід і є невід'ємною його частиною. Властивості і відносини між об'єктами природної системи у методі аналогій виступають складовими елементами системи навчання.

Аналіз керуючих принципів у вивченні технологій захисту довілля логічно проводити в рамках системного підходу з використанням методів аналогів та моделювання на прикладах задач захисту довілля, зокрема, задач радіоекології і радіаційної безпеки, екологічного матеріалознавства тощо.

Першочергова задача – виділити головні керуючі принципи у технологіях захисту і, проводячи аналогії, проаналізувати, як вони діють в технологіях навчання, коли навколишнє середовище зіштовхнулося з новими загрозами, серед яких: COVID-19, надмірне забруднення довілля, руйнування застарілих енергетичних об'єктів, загрози виникнення аварійних станів на атомних електростанціях, особливо в умовах військового стану, та ін.

## **Розвиток інженерних систем та створення систем захисту довкілля.**

Одними з елементів системи, якою є навколишнє середовище, можна вважати самі природні об'єкти разом з джерелами загроз цим об'єктам, а іншими елементами – інженерні об'єкти захисту, наприклад, екрани для захисту від небезпечного випромінювання, або дамби від повеней. Тому в рамках такого концептуального підходу систему захисту довкілля можна розглядати як дві пов'язані між собою підсистеми – природну та штучну. Природна – це система об'єктів довкілля з джерелами загроз, наприклад, атмосферне повітря, система «грунт-рослинний покрив», водна система. Штучна – система інженерних об'єктів.

Прикладом штучної системи є ідеальна теплова машина Карно, яка складається тільки з трьох елементів: 1) нагрівач, 2) охолоджувач, 3) робоче тіло. Машина Карно – це зразок системно-структурного аналізу інженерної системи з врахуванням основних властивостей її елементів та взаємних зв'язків між ними.

Розвиток науки і техніки сприяє ускладненню інженерних систем появою і наявністю в них нових характерних елементів. В електротехніці – це електрогенератор, електродвигун, трансформатор. У радіотехніці та електроніці – це коливальний контур. В оптичних системах характерними елементами є лінзи, лазер. З ядерною фізикою пов'язані ядерні реактори, системи для утилізації та схову джерел іонізуючого випромінювання. В енергетиці це можуть бути різні джерела від токамаків і стеллараторів до альтернативних.

У теперішній час деякі функції взаємодії інженерної системи з людиною мають автоматизований характер. Це автоматизовані системи управління (АСУ). Особливе значення такі системи мають при роботі в умовах постійного контакту із збурюючим фактором, наприклад радіаційним опромінюванням, при експлуатації ядерних реакторів на атомних електростанціях.

Серед сучасних технологій захисту навколишнього середовища відмітимо технології очищення (атмосферного повітря, води, ґрунтів), технології дезактивації та реабілітації забруднених територій, технології схову, переробки та утилізації відходів, зокрема, радіоактивних джерел іонізуючого випромінювання, технології екранування. Новітні технології широко втілюються у життя разом із геоінформаційними технологіями, ІТ-технологіями, біотехнологіями, нанотехнологіями, технологіями комп'ютерного проектування, технологіями екологічного або радіаційного моніторингу та ін. До цього переліку останнім часом приєднався ще й штучний інтелект.

У навколишньому середовищі постійно відбуваються зміни внаслідок природних та антропогенних процесів. Зменшується озоновий шар атмосфери Землі, який є захистом від космічної радіації, спостерігається явище глобального потепління, зростає кількість комунікаційних і логістичних зв'язків,

збільшується інтенсивність небезпечних енергетичних випромінювань, вичерпуються деякі стратегічно важливі для існування людства ресурси. Достатньо, наприклад, вказати, що світові запаси урану, який використовується в якості палива для атомних станцій, оцінюються лише в декілька десятків років. Водночас стрімко зростає споживання корисних копалин, порушується природний баланс екосистем, зростає рівень забруднень відходами виробництв.

Зрозуміло, що всі ці явища є загрозами довкіллю, перелік яких можна продовжувати, особливо для України, де в результаті воєнних дій збільшуються викиди в атмосферу токсичних продуктів згоряння ракетного пального, забруднюються річки і затоки, Чорне море, руйнується родючий ґрунт. Забруднений ґрунт у місцях чисельних воронки від вибухів снарядів та ракет потрібно очистити від різних токсичних речовин.

Прикладом штучної інженерної системи є також система радіаційного моніторингу. Контроль параметрів довкілля здійснюється радіодозиметричними і спектрометричними методами та приладами. Гамма-спектрометр, як штучна система отримання даних по спектрам гамма-випромінювання, включає основні елементи, серед яких детектор випромінювання, підсилювач, аналізатор електричних імпульсів.

Потрібно розуміти, що поділ екологічних систем на природні та штучні до деякої межі є достатньо умовним. Наприклад, зона радіаційного забруднення навколо аварійної Чорнобильської АЕС включає природну систему із порушеним функціонуванням та штучні об'єкти, серед яких зруйнований реактор як джерело радіоактивного забруднення, саркофаг як об'єкт укриття.

Прикладом систем, які поєднують в собі елементи природного та штучного характеру, також можуть бути техногенно-підсилені джерела іонізуючого випромінювання. Це терикони біля вугільних шахт або підвальні споруди, у яких накопичується радон, що виходить із Землі.

### **Принципи системності в задачах захисту довкілля.**

Системний підхід передбачає розгляд об'єктів та технологічних процесів як системи елементів із різноманітними зв'язками між собою.

Навколишнє середовище, технології захисту якого є предметом вивчення, є складною системою. Загрози навколишньому середовищу мають природний характер (землетруси, вулканічні виверження, астероїди та ін.) або пов'язані з антропогенними факторами (забруднення у вигляді викидів в атмосферу та скидів у водойми, небезпечні енергетичні випромінювання). Вочевидь, що всі ці джерела небезпеки мають мульти-параметричний характер, і вивчення їх потребує знань з різних галузей, серед яких знання природничих наук (фізика, хімія, біологія) є невід'ємною або навіть системо-формуючою складовою. Методи викладання основ, скажімо, технологій захисту навколишнього

середовища, мають обов'язково стосуватися природних об'єктів, якими є повітря, вода, земля.

Системний підхід до розгляду інженерних систем пов'язаний із рядом принципів, що розкривають його сутність. Це принципи комплексності, цілісності, структурності та ін. Тільки послідовне дотримання цих принципів дає змогу вирішення основних інженерно-фізичних задач, зокрема, в технологіях захисту навколишнього середовища.

В рамках системного підходу розглянемо деякі з цих принципів стосовно задач захисту навколишнього середовища і, зокрема, радіоекологічних задач.

### **Комплексність.**

Принцип комплексності полягає в різноаспектних підходах до розгляду однієї і тієї ж системи, побудові альтернативних моделей однієї й тієї ж системи. З метою повноти охоплення всіх проблем і аспектів освітня програма підготовки фахівців спеціальності містить в собі варіативні освітні компоненти, які можуть обирати здобувачі вищої освіти за своїми інтересами. Серед таких варіативних компонент, наприклад, є «Методи нелінійної динаміки та аналізу систем навколишнього середовища», «Сучасні методи моделювання та чисельне моделювання фізичних процесів в навколишньому середовищі», «Спеціальні розділи фізичних процесів в геосферах», «Радіаційна безпека».

Вивчення технологій захисту, зокрема, від ядерного випромінювання, передбачає організацію безпечної системи виробництва ядерної енергії на атомних електростанціях, схов та переробку радіоактивних відходів, організацію радіаційної безпеки населення, дезактивацію та реабілітацію радіаційно забруднених територій, створення надійних радіаційних захисних екранів на основі новітніх високо-ефективних матеріалів.

### **Структурність.**

Принцип структурності полягає у тому, що елементи системи, знаходяться в ній не довільно, а утворюють певну, характерну для даної системи структуру, яка забезпечує взаємозв'язок і взаємозалежність між елементами системи. Освітня програма підготовки за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища» є функціональною структурою відкритого типу, елементи якої при збереженні принципу зв'язків можуть навіть частково замінюватися без помітної шкоди для цілого. Освітня програма спеціальності містить структурно-логічну схему послідовності викладання освітніх компонент.

Принцип структурності демонструють складні системи гамма-спектрометричного контролю, серед яких лабораторний навчальний комплекс ГАММАЛАБ. Це інформаційно-вимірювальні системи УНПРО і БОРДО, що дозволяють проводити одночасно вимірювання та обробку даних.

Створена та активно працює у постійному режимі сенсорна система контролю радіаційного фону на університетському кампусі із висвітленням даних вимірів у термінах амбієнтної дози на сайті університету.

### **Конструювання.**

Конструювання – один із принципів, який побудований на створенні нової системи на основі врахування властивостей і функцій її елементів. Принцип конструювання знаходиться у тісному зв'язку з принципом структурності і починається зі створення моделей.

Складні відкриті дисипативні системи мають найбільш складні властивості та відносини між складовими елементами, вони змінюють свої характерні властивості під дією зовнішніх впливів по каналах зворотного зв'язку та здібні проявляти ефекти самоорганізації. Це природні процеси, де здійснюється принцип конструювання. Цей принцип виконується і при створенні алгоритмів дій при ліквідації наслідків радіаційного забруднення.

У технологіях захисту довкілля для конструюванні систем очищення атмосферного повітря від пилу потрібно визначити розміри захисних пристроїв, якими є циклони, ротаційні пиловловлювачі, скрубери, визначити їх залежності від об'єму повітря та характеристик забруднення.

Для очищення води конструюють та виготовляють відстійники, освітлювачі, гідроциклони, відстійні центрифуги. На ефективність їх роботи впливають конструктивні параметри: діаметр і висота апарату та ін.

Для захисту від радіації конструюють захисні екрани, які можуть бути у вигляді, наприклад, шару гранул спеціальних композицій.

Зрозуміло, що принцип конструювання потребує спеціальних знань з матеріалознавства та спирається на створення та дослідження нових матеріалів.

Такими матеріалами у технологіях радіаційної безпеки можуть бути гранульовані матеріали, графен, графенова піна, унікальні властивості яких відкривають можливості використання їх у технологіях захисту від радіації в якості новітніх матеріалів на заміну традиційним.

З метою очищення поверхонь забруднених макро-молекулярними сполуками, у тому числі молекулами коронавірусу, була запропонована оригінальна технологія формування електро-форетичних струмів.

Згідно з ОПП зі спеціальності «Технології захисту навколишнього середовища» студенти вивчають предмет «Конструювання та інженерно-фізичні принципи систем захисту довкілля», у якому розглядаються питання конструювання технічних засобів захисту довкілля, заходів, спрямованих на зниження рівня забруднення довкілля, технологій та апаратів очищення об'єктів довкілля, сучасні інженерні задачі захисту довкілля.

В технологіях захисту довкілля цей принцип потребує знань моделювання, інженерно-фізичних знань створення систем захисту від небезпечних випромінювань, зокрема від радіації, конструювання захисних екранів. Моделювання вивчається на усіх освітніх рівнях і є одним з основних методів наукових досліджень кафедри, зокрема регіональних досліджень [5] забруднення Чорного моря при виносі забруднювальних речовин з водами Дніпро-Бузького лиману.

### **Цілісність.**

Принцип цілісності полягає у тому, що сукупності елементів системи проявляють себе як щось ціле та створюють цілісну систему.

Навчальний план, як система вивчення природного або технологічного процесу, має в собі повний перелік обов'язкових освітніх компонент, наявність яких забезпечує підготовку фахівців на окремому рівні вищої освіти. Розуміння принципу роботи вимірювального приладу є неможливим без вивчення методу контролю, який використовується у цьому приладі. Тому перед вивченням дисципліни «Системи та прилади контролю параметрів довкілля» студенти вивчають методи контролю параметрів довкілля та проходять навчальну практику «Методи діагностики параметрів довкілля».

З принципу цілісності витікає важлива особливість системного підходу, яка полягає в тому, що при інженерних розробках недостатньо обмежуватися аналізом властивостей окремих елементів системи та взаємодій між ними, а потрібно враховувати властивості всієї системи, як цілого. Всі елементи системи мають виконувати свої функції як окремо від інших, так і разом в цілому. Так, скажімо, радіаційна безпека ядерного реактора неможлива без аварійного електрогенератора, який підживлює електричні насоси води, що має охолоджувати реактор. Небезпечні спроби переведення реакторів на інший режим роботи спостерігаємо і зараз на Запорозькій АЕС, де радіаційна ситуація може вийти з під контролю та потребує втручання з боку МАГАТЕ.

### **Сумісність.**

Принцип сумісності полягає в тім, що система має бути побудована не з будь-яких елементів, а тільки з таких, властивості яких задовольняють вимогам сумісності та мають певні системні властивості. Це забезпечує їх взаємодію один з одним як частин єдиного цілого.

У освітній програмі підготовки фахівців спеціальності 183 освітні компоненти поєднані спільними метою і професійними задачами і відповідають світовому досвіду.

Компетентністний підхід у навчанні передбачає в ОП наявність загальних і фахових компетенцій Стандарту вищої освіти сумісно фаховими компетентностями за програмою.

## **Еволюція.**

Програмам підготовки фахівців з ТЗНС характерна наявність фундаментальної природничо-наукової складової (яка формується на базі результатів сучасних наукових досліджень), як прояв міждисциплінарної концепції та нових методів у викладанні. Підвищення якості навчання шляхом впровадження нових методів та технологій навчання і обумовлює еволюцію системи навчання. Нові наукові розробки вчасно впроваджуються у навчальний процес. Освітній процес та його методологічне забезпечення ґрунтуються на принципах та поняттях міждисциплінарного підходу, в якому елементи точних наук, таких як фізика, хімія, математичні методи логічно поєднуються із інженерно-екологічними на шляху розв'язання фахових задач захисту різних елементів довкілля.

## **Висновки**

1. Аналіз освітньої системи підготовки фахівців у галузі захисту навколишнього середовища свідчить про ефективність застосування міждисциплінарного концептуального підходу, який полягає у сумісному застосуванні в навчальному процесі інженерно-фізичних, фізичних та математичних методів опису і параметризації систем та процесів, які супроводжують технологічні засоби захисту довкілля.

2. Освітня система підготовки за спеціальністю ТЗНС заснована на виділенні загальних та професійних компетентностей із результатами навчання, має інженерно-фізичну і екологічну спрямованість, передбачає вільне володіння методами з різних галузей знань та сучасними технологіями.

3. Перспективою розвитку міждисциплінарної інженерно-фізичної концепції в освітній системі підготовки здобувачів вищої освіти є:

- посилення подальшої колективної міжфакультативної співпраці в області технологій захисту навколишнього середовища;

- розширення тематики наукового збірника «Фізика аеродисперсних систем» шляхом включення до нього тематичного розділу з технологій захисту навколишнього середовища та проведення послідовної роботи над визнанням його фаховим виданням категорії Б за спеціальністю 183 ТЗНС.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Gerasymov O.I., Khudyntsev M.M., Klymenkov O.A. New materials technologies in the tasks of the safety technologies: Monograph. Odesa, 2021. 78 p.

2. Gerasymov O.I., Andrianova I.S., Spivak A.Y., Sidletska L.M., Kuryatnikov V.V., Kilian A.M. Tightening (Compaction) of Bi-Component Micromechanical (Granular) System. *Science and Innovation*. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 79 – 88.

3. Герасимов О.І. Технології захисту навколишнього середовища: підручник. Одеса: ТЕС, 2019. 268 с.

4. Герасимов О.І., Курятников В.В., Кудашкіна Л.С., Співак А.Я., Кільян А.М. Методи організації радіаційної безпеки: навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2022. 183 с.

5. Герасимов О.І., Курятников В.В. Моделювання динаміки радіоактивних домішок в умовах річкових стоків в райони морського узбережжя. *Фізика аеродисперсних систем*. 2024. № 62. С. 130 – 149.