

ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, Ю.Ю. Лисенко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Вступ. В питаннях створення засобів електромагнітного неруйнівного контролю (ЕМНК) накопичено значний досвід, але і сьогодні формування та уточнення підходів до проектування засобів ЕМНК лишається актуальним. Цьому сприяє зростання рівня складності завдань контролю та уведення в сферу експлуатації нових конструкційних матеріалів, постійне удосконалення елементної бази та створення нових інфомаційно-вимірjuвальних технологій. В кожному окремому випадку специфіка геометрії та умов експлуатації об’єктів контролю (ОК), фізико-хімічні властивості матеріалу ОК, мета та завдання контролю перетворюють задачу проектування на унікальну інженерну розробку.

Загальні питання обґрунтування структур електронних систем різного призначення розглядалися в [1]. В роботі [2] порушувались окремі питання проектування систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі. У даній статті автори, спираючись на багатолітній досвід роботи на кафедрі приладів та систем неруйнівного контролю Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» поставили як мету визначити основні принципи та особливості проектування засобів ЕМНК, які необхідно враховувати під час підготовки фахівців з неруйнівного контролю (НК).

Основні принципи проектування засобів ЕМНК. В процесі створення засобів ЕМНК розробник повинен керуватись певними принципами, частина з яких є спільною для електронних систем різного роду [1].

Принцип забезпечення заданої вірогідності контролю. Це один з базових принципів проектування в ЕМНК. Вірогідність контролю визначається інструментальною і методичною складовими [3]. Збільшення першої досягається шляхом поліпшення метрологічних характеристик апаратно-програмних засобів НК. Підвищення методичної складової вірогідності можливе за рахунок зменшення числа неконтрольованих параметрів, збільшення розмірності отримуваної діагностичної інформації тощо. Зростання потреб у контролі складних і надскладних технічних об’єктів, що характеризуються розподілом параметрів та характеристик ОК в часі і просторі, підвищення складності завдань НК вимагає суттєвого збільшення потоків опрацьовуваної вимірjuвальної інформації. Це в свою чергу, обумовлює необхідність широкого застосування в НК новітніх інформаційних технологій, зокрема мережевих технологій. Значні перспективи для застосування в системах НК має IoT (Internet of Things) – глобальна мережа підключених до Інтернету пристроїв – сенсорних систем та датчиків разом із засобами передачі даних.

Принцип гомоморфності відображення інформації у фізичній та математичній моделі процесу контролю. Гомоморфізм – це відповідність між двома множинами об’єктів M та M' , за якої одна множина M є моделлю іншої – M' [4].

В НК множина M значень властивостей ОК гомоморфна з множиною M' параметрів та характеристик отримуваних інформаційних сигналів. Властива гомоморфізму не взаємооднозначність відображення (існує однозначність між об’єктами множин лише в одну сторону – від M до M') в загальному випадку дозволяє розв’язувати прямі завдання НК і ускладнює розв’язання обернених завдань. Нагадаємо, що завданням прямої задачі є відшукування наслідків відомих або заданих

причин (інформаційних сигналів як функції певних властивостей ОК), тобто "вздовж" причинно-наслідкових зв'язків. Обернені задачі полягають у відшуканні причин (властивостей ОК за відомими сигналами), тобто в напрямку "проти" причинно-наслідкових зв'язків. Прямі задачі виникають на етапі проектування, аналізу засобу ЕМНК, а обернені задачі – власне під час вимірювання чи контролю.

Принцип інформативності – полягає у отриманні необхідної для розв'язання певного завдання обсягу інформації про ОК. З метою порівняння інформаційних можливостей різних методів ЕМНК необхідно кількісно оцінювати отримувану інформацію. Процес НК в найпростішому випадку пов'язаний з вимірюванням значення однієї фізичної величини (y у більш складних випадках – сукупності фізичних величин), яка в заданому інтервалі значень $y \in [y_{\min}, y_{\max}]$, обмеженому мінімальним y_{\min} і максимальним y_{\max} значеннями, може набувати незліченне число значень. Тому об'єкт вимірювання формально можна уявити неперервною в цьому інтервалі випадковою величиною $\xi(\omega)$ з фізичною розмірністю $\dim y$, тобто як $\xi(\omega) \cdot \dim y$, де $\omega \in \Omega$ – елементарна випадкова подія з області подій Ω . Ігнорування цього факту приводить в задачах оцінювання кількості вимірювальної інформації до методологічних неузгодженостей та некоректних результатів.

Кількість отримуваної в досліді інформації I оцінюється виразом [5]

$$I = H_1 - H_2, \quad (1)$$

де H_1, H_2 – відповідно апіорна (до досліді) та апостеріорна ентропії.

У випадку оцінювання H_1, H_2 за логарифмічною мірою Р. Хартлі

$$I = \log_a N - \log_a n, \quad (2)$$

де a – основа логарифму, N, n – відповідно кількості значень, якими можуть бути відображені величини до і після досліді з урахуванням ступеня квантування $\Delta y_{\text{кв}}$. Наприклад, до досліді маємо $N = y_{\max} - y_{\min} / \Delta y_{\text{кв}}$.

Міра (2) є найбільш простою і ґрунтується на гіпотезі про рівномірний розподіл імовірності вимірюваної величини. Якщо ймовірності $P_i, i = \overline{1, N}$ різних наслідків досліді різні, користуються мірою К.-Е. Шеннона. В цьому разі апіорна невизначеність джерела інформації оцінюється виразом

$$H_1 = - \sum_{i=1}^N P_i \log_a P_i, \quad (3)$$

Якщо щільність імовірності $p(y)$ випадкової величини $\xi(\omega) \cdot \dim y$ задана, а похибка вимірювання обмежена інтервалом $[-0,5\Delta_{\Pi}, 0,5\Delta_{\Pi}]$, імовірність події $y \in [y_i - 0,5\Delta_{\Pi}, y_i + 0,5\Delta_{\Pi}]$ наближено визначається добутком $P_i \approx p(y_i) \cdot \Delta_{\Pi}$, а апіорна ентропія

$$H_1 = - \sum_{i=1}^N p(y_i) \Delta_{\Pi} \log_a [p(y_i) \Delta_{\Pi}], \quad (4)$$

Переходячи в (4) від суми до інтегралу маємо

$$H_1 = - \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} p(y) \log_a [p(y) \Delta_{\Pi}] dy, \quad (5)$$

Виконаємо формальний перехід до безрозмірної випадкової величини $\xi(\omega)$ розподіленої на $x = y / \dim y \in R$. Оскільки для випадкових величин $\xi(\omega)$ та $\xi(\omega) \cdot \dim y$ інтегральні функції розподілу ймовірності рівні – $F(x) = F(y)$, для відповідних щільностей імовірності маємо

$$p(y) = \frac{dF(y)}{dy} = \frac{F(x)}{dx} \cdot \frac{1}{\dim y} = \frac{p(x)}{\dim y}, \quad (6)$$

З урахуванням рівності $dy = dx \cdot \dim y$ у рівняння (5) представляється як

$$H_1 = - \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} p(x) \log_a \left[p(x) \frac{\Delta_{\Pi}}{\dim y} \right] dx = - \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} p(x) \log_a [p(x)] dx - \log_a \left[\frac{\Delta_{\Pi}}{\dim y} \right], \quad (7)$$

де $x_{\max} = y_{\max} / \dim y$, $x_{\min} = y_{\min} / \dim y$.

Перша складова в (7) є диференціальною ентропією, яка не залежить від похибки вимірювання і визначає інформаційні властивості досліджуваного фізичного об'єкта з урахуванням розмірності фізичної величини.

Апостеріорна ентропія визначається похибкою вимірювання фізичної величини. Крім того на інформативність контролю впливають чутливість, вірогідність та швидкодія засобу ЕМНК, його здатність отримувати та перероблювати необхідний і достатній потік інформації.

Принцип інваріантності – полягає у забезпеченні незалежності результату контролю чи вимірювання від зовнішніх та внутрішніх перешкоджаючих факторів. Сутність цього принципу ілюструє рисунок 1.

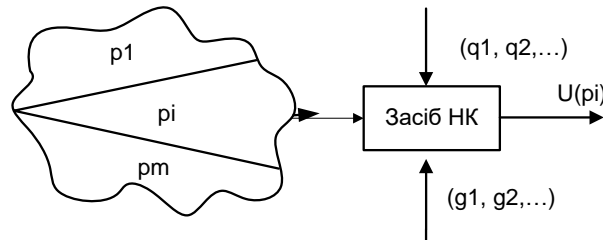


Рис. 1. Графічна ілюстрація сутності принципу інваріантності

На рисунку 1 позначено: p_i – властивості ОК, q_i – зовнішні впливаючі фактори (параметри середовища, зовнішні фізичні поля), g_i – внутрішні впливаючі фактори (шуми та дрейфи електронних блоків).

Принцип найменшого впливу на ОК. Взаємодія сенсора з ОК повинна відбуватись без відчутних змін властивостей ОК (фізичних, хімічних, механічних тощо).

Принцип багатофункціональності – полягає у максимально можливій та економічно виправданій уніфікації приладів ЕМНК, що розширює можливості його експлуатації для широкого діапазону змін контрольованих параметрів, номенклатури ОК та його контрольованих параметрів та характеристик.

Принцип замкненості життєвого циклу – полягає у прогнозованій реалізації всіх етапів життєвого циклу засобів ЕМНК – від розроблення технічного завдання до утилізації з унеможливленням шкідливого впливу засобу на довкілля.

Принцип надійності і метрологічної стабільності – полягає у досягненні відповідності розробленого нового засобу ЕМНК заданим показникам надійності та метрологічним характеристикам.

Принцип агрегативності (сумісності) – полягає у забезпеченні сполучення з іншими засобами та можливості створення з них систем. Сумісність засобів ЕМНК може розглядатись в таких аспектах: метрологічному; функціонально-інформаційному (у формі інтерфейсів); конструктивному (використання типових конструктивних елементів); енергетичному (сумісність джерел живлення); експлуатаційному (умови експлуатації).

Принцип технічної реалізованості – це відповідність проекту сучасному рівню розвитку науки і техніки.

Принцип техніко-економічної оптимальності – полягає в узгодженості витрат на всіх етапах життєвого циклу засобу і очікуваній якості отримуваних результатів (чим

вищі показники якості, тим більша вартість засобів ЕМНК і експлуатаційних витрат, які переносяться на ціну кінцевого продукту).

Принцип ергономічності – відповідність засобу ЕМНК умовам роботи в системі «людина – машина», тобто відповідність антропогенним, психофізичним, акустичним та оптичним характеристикам оператора.

Принцип автоматизації процесу НК – це можливість інтеграції засобу ЕМНК безпосередньо у виробничий процес, наприклад, шляхом поєднання в єдиний комплекс зі сканерами, роботами-маніпуляторами тощо.

Принцип об’єктивності контролю – за наслідками контролю повинна лишатись дефектограма, або протокол випробувань (вимірювань), який гарантує повторюваність та простежуваність отриманих результатів.

Перелічені принципи проектування в цілому є залежними: зміна рівня вимог за одним з них зазвичай тягне зміну вимог за іншими.

Теоретичний базис проектування нових засобів ЕМНК. Реалізація зазначених вище принципів проектування нових засобів ЕМНК ґрунтується на певному теоретичному базисі яким повинен володіти розробник сучасних засобів ЕМНК. Графічне уявлення про його структуру дає рисунку 2.

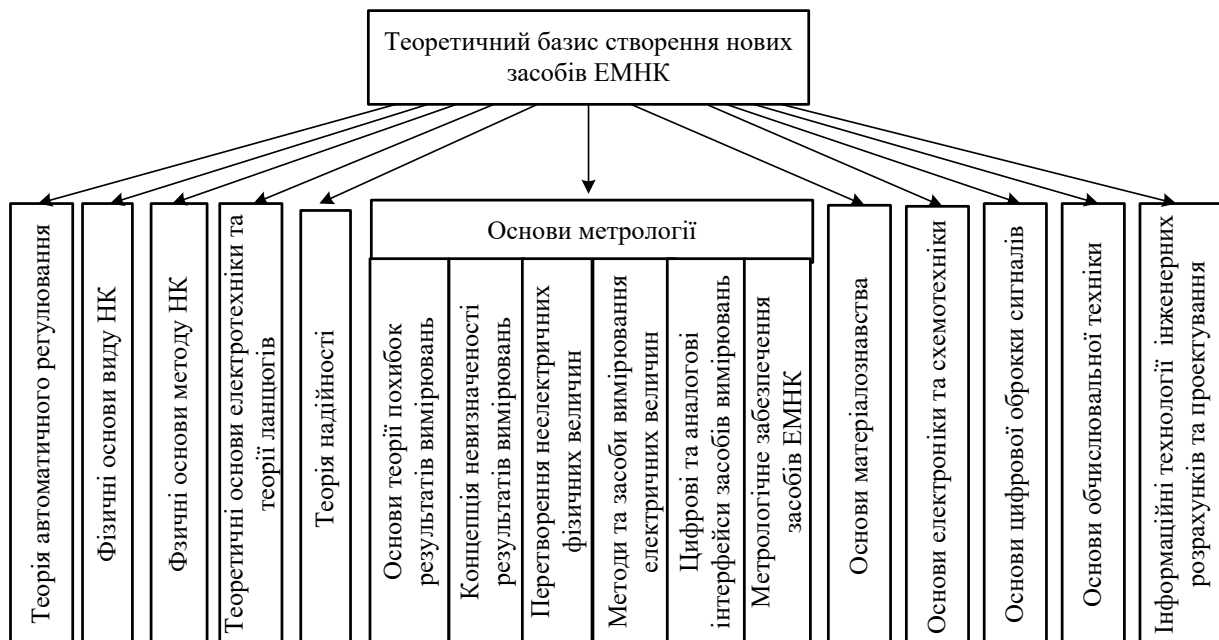


Рис. 2. Структура теоретичного базису розробки нових приладів ЕМНК

Інформаційна підтримка процесу проектування приладів ЕМНК. Важливим ресурсом проектування засобів ЕМНК є його інформаційне забезпечення, яке складається з науково-технічного, програмного, нормативно-технічного та проектно-технологічного.

Науково-технічне інформаційне забезпечення ґрунтується на досягненнях фундаментальних і прикладних технічних наук, і в першу чергу математики, фізики, інформатики, математичній статистиці, теорії надійності технічних систем, комп’ютерній інженерії тощо.

Потенціальні можливості сучасних засобів обчислювальної техніки можуть бути реалізовані різними варіантами програмного забезпечення, яке значною мірою сприяє розв’язку задач проектування без зміни апаратної частини обчислювальних систем і тим самим забезпечити економію коштів і часу на розробку нових і модернізацію існуючих засобів НК.

Нормативно-технічне забезпечення використовується на всіх етапах життєвого циклу засобів ЕМНК, але основну роль відіграє під час проектування, проведення випробувань, сертифікації, експлуатації, ремонту та модернізації засобів.

Проектно-технологічне інформаційне забезпечення базується на досвіді попередніх розробок як в цілому підприємства, так і фахівця-розробника.

Основні етапи проектування засобів ЕМНК. Процес проектування нових засобів ЕМНК для різних конкретних завдань НК має певні спільні риси і підпорядкований певній логіці, яка може бути виражена послідовністю виконання наступних етапів.

1. Складання технічного завдання (ТЗ), яке повинно містити такі дані: призначення; технічні характеристики; техніко-економічні вимоги; показники надійності; умови експлуатації; стадії розробки; спеціальні вимоги (елементна база, живлення тощо).

2. Обґрунтування технічної пропозиції. На цьому етапі виконують: підбір патентних матеріалів, аналіз відомих методів ЕМНК та їх технічних реалізацій, існуючих зразків апаратури; пропозиції найбільш прийнятних принципів функціонування, варіантів реалізації, що задовольняють ТЗ і відрізняються алгоритмами збирання і оброблення інформації, програмними засобами реалізації процесу опрацювання даних, видами інтерфейсу, вимогами до елементної бази тощо. Узагальнена класифікація характерних ознак приладів ЕМНК наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Узагальнена класифікація характерних ознак приладів ЕМНК

№	Класифікаційна ознака	Зміст та варіанти ознаки	
1	Форма подання вихідної інформації	Аналогові	Цифрові
2	За задачами НК	Вимірювальні прилади	Прилади контролю
3	Основні показники якості	Похибка вимірювання; швидкодія	Вірогідність контролю; чутливість
4	Інформативні параметри вихідного сигналу сенсора	$U, I, f, C, L, R, \dot{z}, \varphi, \tau, e.p.c$	
5	Тип сенсору (вхідний перетворювач)	$U/U, I/U, f/U, C/U, R/U, \dot{z}/U, \varphi/U, \tau/U, H/U, B/U, B/e.p.c., \mu/U$	
6	Тип структури	Прямого перетворення	З негативним зворотним зв'язком
7	Наявність засобів обчислювальної техніки	З МП, МК, ПК	Без МП, МК, ПК
8	Підтримка програмного переналаштування функцій та режимів роботи	Підтримують (віртуальні прилади)	Не підтримують
9	Режим роботи	Квазістатичні	Динамічні
10	Тип джерела живлення	Живлення від акумулятора	Живлення від силової (бортової) мережі
11	Необхідність пригнічення неінформативних параметрів ОК (перешкоджаючих факторів)	Так	Ні
12	Тип сенсору	Абсолютний	Диференціальний
13	Наявність вихідного інтерфейсу	Так	Ні
14	Умови експлуатації	Лабораторні. Цехові.	Польові

*) В таблиці позначено: U – напруга, I – струм, C – ємність, R – активний опір, \dot{z} – комплексний опір, L – індуктивність, f – частота періодичних сигналів, φ – фазовий зсув сигналів, τ – затримка сигналів, $e.p.c.$ – електрорушійна сила, B – магнітна індукція, H – напруженість магнітного поля, μ – абсолютна магнітна проникність речовини; МП – мікропроцесор, МК – мікроконтролер, ПК – персональний комп'ютер.

Зведені в таблиці 1 загальні дані дозволяють на перших етапах проектування обмежити множину можливих технічних рішень і визначити основні характерні ознаки нової розробки.

3. Аналіз та розрахунок системи «ОК – сенсор», результатом якого є розв’язання прямої задачі контролю і уточнення на цій основі рівняння перетворення, параметрів інформаційних сигналів та обґрунтування методу вимірювання (контролю) інформативного параметру електричного сигналу.

4. Розроблення, аналіз та розрахунок структурної/функціональної схеми засобу, основним змістом чого є формулювання частинних ТЗ на його окремі складові блоки.

5. Розроблення алгоритму роботи засобу.

6. Розрахунок схеми електричної принципіальної засобу.

7. Конструкторсько-технологічний розрахунок окремих сенсорів, сенсорних систем та допоміжного обладнання.

8. Метрологічний аналіз та розроблення метрологічного забезпечення нового засобу ЕМНК.

9. Розроблення ескізного проекту, тобто створення документації яка включає: схему електричну структурну засобу ЕМНК; схему електричну принципіальну блоку обробки сигналів; креслення, що містять принципіальні конструктивні рішення (складальне креслення датчика, деталювання тощо); алгоритм роботи засобу ЕМНК; робочу документацію (пояснювальну записку і т.і.).

В цілому процес проектування характеризується множинністю шляхів досягнення поставленої мети та необхідністю ітераційного уточнення проміжних результатів розрахунків. Для успішної реалізації проектів створення засобів ЕМНК необхідно керуватись системним підходом, який передбачає врахування і обґрунтованого використання всіх перелічених принципів проектування засобів ЕМНК.

Висновки. Не дивлячись на те, що в питаннях створення засобів електромагнітного неруйнівного контролю накопичено значний досвід, і сьогодні завдання формування та уточнення загальних підходів до проектування таких засобів лишається актуальним. Цьому сприяє зростання рівня складності завдань контролю, введення в сферу експлуатації нових конструкційних матеріалів, розвиток елементної бази, перетворювальної техніки та інформаційно-вимірювальних технологій. В кожному окремому випадку специфіка об’єкта контролю та умов його експлуатації, мета та завдання контролю перетворюють задачу проектування на унікальну інженерну розробку.

В процесі створення нових засобів ЕМНК розробник повинен керуватись певними загальними принципами. Розглянуто основні принципи проектування засобів ЕМНК до кола яких відносяться принципи об’єктивності та високої вірогідності контролю, гомоморфізму, інформативності, інваріантності, найменшого впливу на ОК, багатофункціональності, замкненості життєвого циклу, метрологічної стабільності, агрегативності, технічної реалізованості, техніко-економічної оптимальності, ергономічності, автоматизації процесу НК. Ці принципи проектування в цілому є залежними: зміна рівня вимог за одним з них обумовлює зміну вимог за іншими.

Окреслено теоретичний базис, яким повинен володіти розробник засобів ЕМНК для реалізації вказаних принципів їх проектування та склад інформаційного забезпечення процесу проектування, яке включає науково-технічну, програмну, нормативно-технічну та проектно-технологічну складові.

Зазначено, що зміст етапів проектування засобів ЕМНК та послідовність їх виконання підпорядковані певній логіці, що обумовлена конкретними особливостями завдання контролю. Наведено узагальнену класифікацію характерних ознак розроблюваних засобів ЕМНК, що дозволяє на перших етапах проектування обмежити множину можливих технічних рішень і визначити основні характерні ознаки нової розробки. В цілому процес проектування характеризується множинністю шляхів досягнення поставленої мети та

необхідністю багаторазового уточнення проміжних результатів і повторення частини розрахунків для досягнення більш повної відповідності поставленому завданню.

1. *Електронні системи: Навч. посібник /С.В. Денбновецький, О.В. Лецишин. – К.: НТУУ «КПІ», 2011.–288 с.*
2. *Маєвський С.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: Навч. посібник /С.М. Маєвський, В.П. Бабак, Л.М. Щербак. – К.: Либідь, 1993. –200 с.*
3. *Кухарчук Ю.В. Основи метрології та електричних вимірювань : Підручник /В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013.–538 с.*
4. *Математическая Энциклопедия / Глав. ред. И.М. Виноградов, Т 1.– М.: Советская Энциклопедия, 1977, т.1.–1152 с.*
5. *В.П. Бабак Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник /В.П.Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ре. Чл.-кор НАНУ В.П. Бабака.– К.: Ун-т новітніх технологій, 2017.–496 с.*

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ОСВІТНЬОГО ПРОСТОРУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

О.В. Лашко

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Вступ. Останнім часом в Україні та світі спостерігається тенденція переходу від авторитарної системи освіти до особистісно-орієнтованої. Все більше уваги приділяється дослідженню взаємовідносин між учнем та педагогом, студентом та викладачем як рівноправних учасників освітнього процесу. У 90-х роках минулого століття почався перехід від суб'єкт-об'єктного підходу в організації освітнього процесу, коли учень або студент виступав об'єктом навчання, до суб'єкт-суб'єктного, якому властиво ставлення до учня (студента) як до активного суб'єкта власного процесу навчання [1]. У першому випадку функцію навчання директивними методами здійснює вчитель (викладач), вибираючи методи і засоби навчання. Розвиток другого підходу триває і сьогодні. Він передбачає самоорганізацію студента з отримання компетенцій для подальшої професійної діяльності.

Вчені та практики все більше зосереджують свої зусилля навколо проблем розробки практичних аспектів трансформації системи вищої технічної освіти до такої форми, в якій вона буде здатна задовольняти потреби «замовників» - студента та роботодавця. При цьому особистісна орієнтованість наповнює все більші сфери життя сучасної молоді людини. Все більше уваги приділяється питанням самонавчання, відповідальності за результати власної діяльності, саморегуляції та самоорганізації [2]. Проблеми професійної підготовки фахівців з неруйнівного контролю у своїх роботах розкриває А.Г. Протасов. Зокрема, автор описує організаційно-педагогічні умови вдосконалення навчального процесу на основі компетентнісного підходу та пропонує технологію впровадження узагальненої динамічної моделі підготовки фахівців з НК [3,4].

Завдання дослідження. В процесі практичної діяльності з викладання в технічному вузі міста Києва та паралельно здобуваючи досвід психологічної допомоги,