

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

В.В Зіновкін

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ З ДИСЦИПЛІНИ

**«ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДНИХ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСІВ»**
(частина 1. Система знань і законів наукового дослідження
та їх тлумачення)

(для студентів всіх форм навчання)

спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма 14

«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень складних електромеханічних систем та комплексів» (частина 1. Система знань і законів наукового дослідження та їх тлумачення) для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма 14 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод». Фізико-технічний інститут, Електротехнічний факультет. / Укл. В.В. Зіновкін. - Запоріжжя. НУ «Запорізька політехніка», 2022. - 74 с.

Укладачі: В.В.Зіновкін, проф., докт.техн.наук.

Рецензент: Ю.О.Крисан, доц., канд. техн.наук.

Відповідальний за випуск: А.В.Пирожок, доц., канд. техн.наук.

Затверджено на засіданні кафедри ЕПА
Протокол № 11 від 10.06 2022 р.

Рекомендоване до видання НМК ЕТФ
Протокол № 6 від 23.06 2022 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Предмет і задачі наукового дослідження.....	6
1.1 Визначальне призначення наукового дослідження.....	6
1.2 Система знань і законівтермінів їх тлумачення	8
1.3 Методологічні основи та методи наукового дослідження.....	12
1.4 Терміни експериментального дослідження.....	15
1.5 Методи експериментального та теоретичного дослідження... ..	16
1.6 Визначальні етапи науково-дослідних робіт	19
1.7 Класифікація та призначення дослідження.....	22
1.8 Формування та змістнаукового дослідження.....	26
1.9 Наукові установи та наукові кадри України.....	27
1.10 Принципові основи магістерської наукової роботи.....	29
1.11 Формулювання мети і предмета наукового дослідження... ..	37
1.12 Подання та стиль наукової праці	38
1.13 Робота над друкованими джерелами	40
1.14 Організація і ефективність наукового дослідження	42
1.15 Етапм ефективності наукового дослідження	46
1.16 Теорія фізичної подоби	48
2. Теоретичні основи технічної електродинаміки	52
2.1 Рівняння електродинаміки для нерухомих у просторі систем	52
2.2 Диференційні рівняння електромагнітного поля	54
2.3 Формування додаткових втрат в електротехнічному обладнанні.....	57
2.4 Електромагнітні процеси в діелектриках	62
2.5 Векторний потенціал.....	63
2.6 Рівняння електродинаміки для повільно рухливих тіл.....	65
2.7 Інженерні методи лінеаризації	69
Перелік джерел посилення.....	73

ВСТУП

Дисципліна «Основи наукових досліджень складних електромеханічних систем та комплексів» сприяє студентам ознайомитись з методологічними основами, методами та способами організації і проведення наукових досліджень, систематизацією і представленням отриманих результатів, розвитку раціонального творчого мислення молодих наукових дослідників та оптимізації інженерних рішень відповідно до умов промислового підприємства.

При дослідженнях необхідно чітко представляти поставлене завдання в поєднанні з наступними чинниками: характер протікання фізичних процесів в об'єкті, що досліджується; номінальні параметри в динамічних та статичних станах; можливі наслідки перевищення номінальних параметрів та впливу на навколишнє середовище і оперативний персонал; взаємний зв'язок між збуджуючими зовнішніми електричними параметрами та електромагнітними, висовольтними, тепловими, електродинамічними та іншими процесами, які відбуваються в об'єкті, математичну модель та методи її постановки і вирішення; початкові та граничні умови в межах яких необхідно вирішити завдання. При чому необхідно вивчити структуру об'єкту, що досліджується, можливі експлуатаційні умови і номінальні режими навантаження, показники якості електричної енергії відповідно до вимог державних стандартів та нормативно-технічної документації, визначитись з певними методами наукового дослідження, математичною, фізичною, комп'ютерними і програмними та мікропроцесорними засобами автоматизації і моніторингу поточної інформації.

Такі методологічні підходи сприяють надбанню певного досвіду в організації науково-дослідної роботи, використанню методів наукового дослідження, встановленню логічних закономірностей між окремими електромагнітними та електромеханічними процесами, що дозволить молодим дослідникам і майбутнім фахівцям не тільки розкрити свій творчий потенціал в межах освітньо-кваліфікаційного рівня магістра, а й пройти непростий шлях від дослідника – початківця до молодого вченого.

В результаті вивчення даної дисципліни студент повинен засвоїти методологію та методику наукових досліджень, їх планування та організацію. На основі отриманих знань студент повинен уміти

відбирати та аналізувати необхідну інформацію за темою досліджень, формулювати мету та завдання дослідження, формувати і ініціювати нові наукові ідеї, знаходити власні розв'язання, узагальнювати, систематизувати та теоретично пояснювати наукові результати, оформлювати їх у вигляді наукових звітів, статей, доповідей. Таким чином, мета данного конспекту лекцій полягає в сприянні студентам, та молодим дослідникам, які навчаються за програмою освітньо-кваліфікаційного рівня магістра, успішного проведення наукового дослідження та підготовки і захисту дипломної роботи магістра.

Особливу увагу слід надавати чіткому формуванню практичної задачі, яка вимагає використання нових науково-технічних рішень, оптимізації багато параметричних електротехнологічних процесів в поєднанні з нестаціонарними режимами електромеханічних систем та об'єктів.

Курс лекцій включає наступні теоретичні і практичні етапи:

- Система знань і законів наукового дослідження та терміни їх тлумачення;

-

1 ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

В природі та у повсякденній діяльності людства постійно мають місце події та процеси, внаслідок яких формуються нові і більш удосконалені рішення та умови. Вони відбуваються по певним законам і в певній послідовності. Дуже велика кількість таких закономірностей вивчено і використовується в науці, техніці та промисловості. Однак значна кількість закономірностей залишається невивченою і знаходиться за межами людського розуміння. Розробка і використання більш удосконалених приладів та мікропроцесорних і програмних засобів автоматизації сприяють більш ретельному вивченню процесів і законів природи. Більш удосконалені науково-технічні розробки використовуються в сучасних технологічних процесах, електромеханічних системах і об'єктах, електротехнічному обладнанні та ін.

Характерною рисою сучасного наукового дослідження складних технічних об'єктів є те, що їм надається велика увага з метою покращення техніко-економічних показників в умовах реальної експлуатації та оптимізації конструкції і енергозаощаднання. Мета досягається шляхом набуття досвіду в поєднанні з аналізом самої наукової сутті фізичних процесів, пізнавальних функцій і накопичення практичного досвіду. Поряд з цим, оволодіння основними законами наукового дослідження сприяє розвитку логічного мислення та вирішенню різних питань, що трапляються в повсякденній діяльності людства.

В науковому дослідженні використовуються певні поняття та терміни, які сприяють логічному мисленню і розв'язанню поставлених завдань.

Розглянемо сучасні вимоги до наукового дослідження та надамо їм певні тлумачення, що використовуються науковою спільнотою.

1.1 Визначальне призначення наукового дослідження

Останнім часом в світовій науково-технічній спільноті суттєво ускладнюються технічне обладнання в різних областях діяльності, переважно, на підставі удосконалення програмного і мікропроцесорних систем, які мають місце в металургійній і хімічній промисловості, наукових і проектних організаціях, медицині і

обслуговувані різних сфер людської діяльності та ін. Найбільш системно і показово розвиваються мікропроцесорні пристрої та програмні засоби автоматизації в систематизації отриманих результатів та їх обміном між об'єктами різного наукового і технічного призначення.

До першого рівня науково-практичних задач слід віднести цільові комплексні програми розвитку і реалізації найбільш ефективних енергозберігаючих наукових розробок, що сприяє підвищенню технологій і якості продукції, яка виробляється.

До другого рівня відносяться перспективні наукові рішення, які сприяють розвитку принципово нових видів техніки і технологій з послідовним впровадженням отриманих результатів в промисловості.

Зростаючі вимоги до покращення техніко-економічних показників електротехнічного обладнання та електромеханічних систем шляхом визначення оптимізації та вирішення інших процесів, що покращують життєдіяльність людства, призвели до формування особливого напрямку наукового пізнання «науки про науку» (наукового пізнання).

Розвиток нового покоління мікропроцесорних та програмних засобів автоматизації, інформаційно-вимірювальних цифрових пристроїв і систем упереджує, формує та сприяє динаміці зростання вимог і можливостей наукового дослідження. Особливе значення ці питання набувають в складних електромеханічних системах і об'єктах, при удосконаленні і оптимізації принципово нових конструктивних рішень. Принциповою особливістю мікропроцесорних, програмних і вимірювальних засобів полягає в тому, що в них програмна частина входить до складу вимірювальних ланцюгів з послідуною автоматизованою систематизацією отриманих результатів в поєднанні з експериментальними, математичними, фізичними, директивними та справочними показниками певних параметрів та поточного комп'ютерного моделювання. Важливого значення набувають питання систематизації поточної інформації та візуалізації певних фізичних процесів, що виконуються дистанційно. При цьому в алгоритмах цих мікропроцесорних засобів використовуються нові методологічні підходи та фізико-математичні методи, кількісного аналізу та оптимізації визначальних параметрів, характеристик можливих похибок результатів вимірювання.

Слід відзначити, що рівень формалізації алгоритмів при моделюванні повинен бути значно більшим в порівнянні з розрахунковими аналітичними співвідношеннями, інженерними методами або математичними моделями. При цьому використовуються певні терміни та науково-технічні поняття, які суттєво сприяють вирішенню поставлених завдань різного призначення і зформувались на протязі існування цивілізації.

Коротко розглянемо основні наукові терміни та поняття і надамо їм певного тлумачення.

1.2 Система знань і законів та терміни їх тлумачення

При науковому дослідженні доцільно досягти мети відображення певних фізичних процесів, що відбуваються в об'єкті дослідження, складних електромеханічних системах та іншому електротехнічному обладнанні. Результати таких досліджень можливо використовувати для модернізації існуючого та розробки нового оптимального технічного вирішення поставленої мети. З метою однозначного тлумачення наукового процесу та пізнання взаємних зв'язків між електромагнітними та електромеханічними процесами, що відбуваються в просторі об'єкта, доцільно дотримуватись певних методологічних підходів і використання відповідної термінології. Це сприяє виконанню певного науково-технічного завдання в логічній послідовності відповідно до протікання фізичних процесів в об'єкті, що досліджується, та взаємному розумінню отриманих результатів.

Дослідження носять теоретичний, практичний і комбінований характер. Процес наукового інженерного дослідження здійснюється послідовно по наступним етапам:

- виникнення наукової або практичної ідеї у необхідності розробки нового у пристрою, технологічного процесу, модернізації існуючого з метою покращення техніко-економічних показників, встановлення причинно-наслідкових факторів аварійності та ін.;

- формування використання певних понять і суджень на підставі аналізу існуючих знань і підходів, методів, вирішення задач і проблем;

- узагальнення наукових факторів і характерних признаков та рис задачі;

- постановка гіпотези формування рішення задачі або науково-практичної проблеми;
- обґрунтування правильності робочої гіпотези і судження;
- аналіз результатів, вимірювання дослідження відносно задачі або проблеми, що вирішується;
- формування визначальних висновків;
- розробка практичних пропозицій використання отриманих знань в промисловості або навчальному процесі та ін.;
- авторський нагляд практичної реалізації розробки по показникам технічних вимог, технічних умов, надійності і нормативно-технічної документації в межах вимог Державних стандартів.

Коротко розглянемо визначальні наукові поняття та надамо їм відповідні тлумачення.

Наука – це система знань об'єктивних законів природи, суспільства, мислення з її закономірними зв'язками між відповідними фізичними параметрами в постійному розвитку в результаті спеціальної цілеспрямованої діяльності людей. З одного боку науку можливо розглядати як специфічну форму суспільної свідомості, що ґрунтується на системі знань, як процес пізнання закономірностей об'єктивного світу, як процес “виробництва” знань та їх використання. З іншого боку, незважаючи на відносну незалежність від матеріального виробництва, наука виникає, розвивається та знаходить практичне використання в конкретних матеріальних формах та умовах як органічна складова суспільної діяльності.

Наука класифікується по напрямкам і областям дослідження та дозволяє встановлювати взаємні аналітичні зв'язки між окремим параметрами певного процесу у реальних, технічних, економічних і філософських напрямках.

В теперішній час наука проходить стадію диференціації і одночасно набуває характерних рис інтеграції. В основу дослідження науково-технічної проблеми використовуються відповідні методи і методологічні підходи. Вони дозволяють отримати нові знання, встановити логічні закономірності протікання процесу, що досліджується та відповідність його класичним законам і аксіомам.

Мета науки полягає в наступному:

- пізнанні певних законів та закономірностей між окремими параметрами фізичних процесів в певних умовах та об'єктах;

- встановлення певних закономірностей між сукупністю процесів різної фізичної природи в складних багато параметричних технічних або наукових об'єктах;

- встановлення законів розвитку природи різних фізичних процесів та суспільства, впливу на природу певного процесу на основі використання нових знань для отримання корисних для практики та суспільства результатів.

Наукова діяльність представляє собою інтелектуальну творчу роботу, що спрямована на одержання і використання нових знань і природи подальшого розвитку з метою упередження небажаних або несприятливих результатів та пошуку оптимального вирішення поставленої мети.

Наукова робота це цілеспрямована і досить відповідальна та насичена діяльність, яка виконується з метою одержання певного наукового результату на підставі розроблених моделей та використанні певних відомих фізико-математичних методів і законів. При цьому отримуються певні нові результати, встановлюються певні аналітичні закономірності між параметрами різної фізичної природи і процесами. На підставі нових наукових результатів удосконалюються існуючі та розробляються більш економічні технічні рішення і рекомендації. Сучасне наукове дослідження, як основна форма наукової роботи, намагається досягти суті явищ та процесів, що вивчаються, на основі цілісного підходу до об'єкта, що вивчається, розгляду його у статичному і динамічному стані та розвитку. Вивчати певні процеси в науковому сенсі означає бути науково об'єктивним, не відкидати факти, якщо їх важко пояснити чи знайти їм практичне застосування. Важливо не тільки встановити якийсь новий результат та закономірності, а й надати йому пояснення з позицій сучасної науки, з'ясувати його загальнопізнавальне, теоретичне та практичне значення. Процес наукового вивчення є процесом накопичення, вивчення та систематизації певних результатів. Накопичення наукових результатів під час дослідження є творчим процесом, який ґрунтується на об'єктивному ставленні вченого до дослідження на підставі його або поставленої колективної ідеї.

Ідея представляє собою певний результат («продукт») розумової діяльності науковця, що відображає об'єктивну форму протікання дійсних процесів в об'єкті, що підлягає дослідженням, обґрунтованого усвідомлення вирішення поставленої мети, перспективи використання

отриманих результатів, пізнання та практичного впровадження або реконструкції дійсного технічного об'єкту. Нову ідею доцільно розглядати не як заміну існуючого уявлення про об'єкт шляхом об'єктивного аналізу і встановлення необхідних удосконалень, а з певним обґрунтуванням. При цьому необхідно досягти якісного покращення наукового представлення, що знаходились поза межами сприйняття почуттями інформації шляхом перевірених рішень та існуючих положень науки, що визначає певну парадигму. Отримання знань відбувається за схемою парадигма-парадокс-нова парадигма, а розвиток науки в загальному випадку є зміною парадигм, методів і стереотипів мислення. Факти становляться частиною наукових знань тільки за умови їх систематизації та узагальнення.

Розглянемо визначальні абстракції та поняття (визначення), що є важливими структурними термінами в науковому дослідженні.

Категорії слід розглядати як найбільш узагальнені і широкі поняття (визначення), найбільш загальні абстракції наукового представлення проблеми або науково-технічного завдання, що визначаються на підставі «Технічного завдання» та «Технічних вимог» до об'єкта дослідження.

Принципи, постулати, аксіоми представляють собою вихідні положення в будь-якій галузі науки, які є початковою формою постановки та розробки певного наукового дослідження, систематизації знань та встановлення нових закономірностей.

Закон це форма відповідного співвідношення категорій для відображення найбільш суттєвих процесів, стійких зв'язків у природі, суспільстві, мисленні, що повторюються в певних умовах.

Теорія представляє собою найвищу форму узагальнення та систематизації певних знань. Вона являє собою формулювання певних закономірностей на основі узагальненого досвіду, наукових принципів та методів. При цьому вони дозволяють пізнати наявні процеси та явища, узагальнити їх, проаналізувати їх вплив на формування різних факторів, та дозволяє запропонувати рекомендації щодо їх практичного використання. Доцільно відзначити, що процес цільової та загально ідейної обробки первинного наукового представлення, уточнення, зміни, доповнення та розвитку здійснюється з використанням різних методів наукового пізнання.

1.3 Методологічні основи та методи наукового дослідження

В основу наукових досліджень покладені методологія і методи. При плануванні наукових і експериментальних досліджень в першу чергу визначаються з методологічним підходом і, на їх основі, вибирається певний метод, або методи. Вони повинні відповідати певним можливостям отримання відповідних результатів конкретного об'єкта або складної системи, що повина досліджуватись (електротехнічний, електромеханічна система, техпроцес та ін.) При цьому використовуються певні наукові терміни, сутність яких доцільно розуміти та дотримуватись в процесі наукового дослідження.

Розглянемо визначальні терміни, надамо їм наукове тлумачення та доцільність використання.

Методологія - це вчення про структуру, принципи основи побудови відповідних моделей (математичних, фізичних, комп'ютерних, хімічних та ін.), форм і способів, в їх сукупності і логічній організації, дослідження пізнання фізичної природи об'єкта, що досліджується.

Науковий метод опирається на знання відповідних закономірностей, тобто на теорію даної предметної області. Так, наприклад, дослідження електромагнітних процесів в електроприводах полягають в розробці методів розрахунку бігучого електромагнітного поля у просторі електричної машини. На підставі отриманих результатів встановлюються певні залежності між електричним і магнітним полем з урахуванням їх розповсюдження в ізоляційних, конструкційних та магнітних конструкціях, які виготовлено із електротехнічної сталі та інших матеріалів. На наступному етапі встановлюються певні залежності між електромагнітними і електромеханічними процесами в електроприводі з урахуванням відповідних електричних і механічних режимів навантаження.

У зв'язку з різницею в ступені спільності, в характері теоретичного висновку і в області застосування тих чи інших методів наукових досліджень необхідно розрізняти різні методології наукових досліджень. З цієї точки зору різні технічні прийоми, і операції, характерні й специфічні для досить вузької сфери наукових досліджень і що носять іноді емпіричний характер, утворюють нижчий рівень методології науки, співпадаючий з методикою.

На наступному, більш високому рівні методології ми ще не виходимо із кожної окремої області спеціальної науки – фізики, хімії, біології, соціології і т.п., так як, наприклад, метод мічених атомів (радіоактивних індикаторів), або умовних рефлексів, обмежені об'єктивно якісною специфікою, закономірностями і властивостями відповідної предметної області. Особливістю цього рівня методології являється та обставина, що свідомий характер використання відповідних методів не обмежується знанням того, як і де їх застосовувати, але полягає також у розумінні їх теоретичних основ.

Теорія набуває методологічного характеру, виконує методологічну функцію і стає не тільки знаряддям пояснення даного і передбаченням нового, а також засобом пошуку і відкриття нових властивостей, більш глибоких закономірностей.

Наступний рівень методології характеризується розробкою досить загальних методів наукового дослідження, використання яких виходить за рамки тієї чи іншої наукової дисципліни і опирається на існування закономірностей, загальних для різних предметних областей. Відкриття таких закономірностей призводить до створення відповідної теорії, яка стає теоретичною основою (теоретичним базисом) більш загальних, міждисциплінарних методів. До числа таких методів відносяться деякі кібернетичні методи, семіотичні методи, деякі методи математики і математичної фізики, електродинаміки та ін. На цьому рівні методологія ще не носить філософського характеру. Однак вже тут виникають філософські питання, що пов'язані, головним чином, з ґносеологічним аналізом тих чи інших фундаментальних понять, з оцінкою пізнавального значення і межі застосування відповідних методів, з виясненням міждисциплінарних взаємовідносин.

Метод це сукупність наукових прийомів, які використовуються для досягнення поставленої мети. Термін «метод» визначено від грецького слова «...» - впродовж» і «...».- шлях» і означає рух впродовж (вірного) шляху. Таким чином, грецьке слово «мова», «вчення», визначають поняття «методологія» як навчання про метод або як теорію метода. Тому метод – це спосіб досягнення певної мети шляхом рішення конкретної задачі на підставі сукупності прийомів, або логічних операцій з метою практичного використання або теоретичного пізнання дійсних процесів.

У кожній області науки, розумової або практичної діяльності використовуються свої методи. Вони відрізняються один від іншого принциповими підходами взаємодії певних процесів (електромагнітних та електромеханічних процесів), принципами роботи та призначення, використання при вирішенні практичних завдань. В якості прикладу можливо розглянути електропривод прокатного стану або при переробленні нафти, хімічній промисловості, верстатів обробки металів та ін. Ці напрямки промисловості характеризуються тим, що їх електротехнічне обладнання спотворює електричні режими при навантаженні. Внаслідок чого в обладнанні має місце перерозподіл електромагнітних навантажень активних деталей та вузлів, що призводить до скорочення термінів надійності та аварійних виходів із ладу. З метою підвищення надійності розробляються нові моделі та виконуються дослідження впливу перевищення та спотворення струмів на електромагнітні процеси в обладнанні.

Слід відзначити, що існують методи, що використовуються у всіх наукових напрямках без виключення, хоча і в різних формах і модифікаціях. Їх можливо представити в узагальненій формі шляхом нормування. В таких випадках можливо отримати певні математичні залежності між визначальними параметрами різної фізичної природи. Наприклад, залежності кутової швидкості двигуна від механічного навантаження, електродинамічних зусиль від форми струму в збуджуючій електромагнітне поле системі, основного потоку електромагнітної індукції від напруги в магнітній системі. При використанні таких узагальнених моделей отримані результати дослідження можливо перенести до конкретних об'єктів шляхом використання напівемпіричних коефіцієнтів. Їх суть полягає в тому, що залежності між визначальними параметрами зберігаються, а чисельні значення зростають або зменшуються в залежності від потужності і конструкції об'єкта. Такі наукові підходи відносяться до загальних методів наукового дослідження. Вони використовуються в якості предмету методології теоретичного і експериментального дослідження і сприяють забезпеченню технічної надійності в умовах реальної експлуатації електромеханічної системи у відповідності до вимог державних стандартів та іншої нормативно-технічної документації.

Метод доцільно сприймати як сукупність певних прийомів та операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності що підпорядкованих розв'язанню конкретного завдання. Різниця між методом і теорією має функціональний характер і пояснюється наступним: метод формується як теоретичний результат попереднього дослідження і виступає як вихідний пункт та умова майбутніх досліджень. При виконанні кожного наукового дослідження можна виділити два рівні:

- теоретичний, що призначений для досягнення синтезу знань, наприклад, у формі наукової теорії;

- емпіричний, на якому відбувається накопичення результатів та закономірностей при певних умовах, що додержуються незмінними (постійними величинами) при експериментальних дослідженнях.

Відповідно до цього загальні методи пізнання умовно поділяються на наступні три групи:

- методи емпіричного дослідження;
- методи, що призначені для використання на емпіричному та теоретичному рівнях;
- методи, що призначені для теоретичного дослідження.

1.4 Терміни наукового дослідження

При емпіричному дослідженні використовуються такі поняття як спостереження, порівняння, вимірювання, експеримент та ін. Таким чином, доцільно надати певні тлумачення цих понять та термінів.

Спостереження слід розглядати як систематичне цілеспрямоване отримання поточної певної інформації з метою вивчення об'єкта, яке дає змогу отримати первинні результати у вигляді сукупності емпіричних даних, що відображають функціонування певного процесу (електротехнічного обладнання або електромеханічної системи) в певних умовах роботи.

Порівняння використовуються з метою встановлення подібності або відмінностей предметів та явищ, знаходження загальних властивостей, притаманних кільком об'єктам. Причому, порівнюватись можуть тільки явища яким притаманні деякі об'єктивні спільності, а порівняння має здійснюватись за суттєвими рисами та ознаками, щодо конкретного завдання.

Первинна інформація отримується в результаті безпосереднього порівняння, а вторинна – в результаті обробки первинних даних.

Вимірювання представляє собою визначення числового значення певної фізичної величини за допомогою спеціального обладнання та апаратури і притаманних їй (фізичній величині) одиниці виміру (розмірності). Вимірювання передбачає наявність об'єкта вимірювання, еталона, спеціального призначення приладів, методу і схеми вимірювання, що відповідають вимогам державних стандартів до точності і достовірності.

Експеримент досить відповідальний процес вивчення об'єкта шляхом активного і цілеспрямованого впливу на нього створених штучних умов та впливів (або використанню природних умов). При цьому отримуються необхідні властивості об'єкта (електротехнічного обладнання або електромеханічної системи) з метою виявлення та отримання нових результатів. Експеримент проводять при спробі виявлення раніше невідомих властивостей об'єкта, при перевірці правильності теоретичних викладень, інженерних розрахунків, проектного взірця та ін. при демонстрації певного явища або процесу.

1.5 Методи емпіричного та теоретичного дослідження.

Методи що застосовуються на емпіричному та теоретичному рівнях дослідження призначені для отримання певної інформації в залежності від наявності відповідних засобів. При цьому використовуються відповідні підходи та умовності, що полягають в наступному.

Абстрагування розглядається як певний підхід у думці дослідника або науковця, що представляє собою умовну модель об'єкта вільну від несуттєвих властивостей, зв'язків, відношень другорядних процесів, предметів, а виділення декількох найважливіших для дослідника рис.

На першому рівні абстрагування дозволяється виділити найважливіше у явищах та встановити факт незалежності (чи незначної залежності) досліджуваних явищ від певних факторів.

На другому рівні абстрагування дозволяється один об'єкт замінити іншим, простішим, який виступає як модель першого.

Таким чином, можливо послідовно встановити найбільш впливові залежності між параметрами об'єкта, що досліджується, та оцінити

ступінь впливу другорядних чинників. В якості прикладу можливо привести вплив порушення показників якості електричної енергії на електротехнічне обладнання загального призначення. Суть полягає в тому, що на практиці вимірювальні прилади реєструють діючі значення напруги та струму в електротехнологіях. При цьому електротехнології призводять до суттєвих несинусоїдальностей та несиметрії навантаження обладнання. При рівних значеннях діючих параметрів наявність вищих гармонік призводить до зростання додаткових втрат та перегріву неактивних вузлів і деталей, що призводить до скорочення термінів надійної роботи обладнання. В якості іншого прикладу можливо розглянути вплив несиметрії струму в трифазних системах живлення дугових сталетопних печей, приводів прокатних станів, перетворювачів та ін.

Аналіз і синтез – взаємопов’язані методи, які відповідно дають змогу поділити предмети дослідження на складові частини, або ж об’єднати окремі частини чи риси предмета в єдине ціле.

Аналіз можливо виконувати при дослідженні методів певного призначення з метою встановлення можливості його використання для вирішення певного наукового або практичного завдання.

Синтез дозволяє розробити нове певне рішення шляхом складання нового використовуючи (складаючи, синтезуючи) раніше відомі частини, що притаманні процесу, що досліджується.

Індукція та дедукція представляють собою взаємо протилежні методи пізнання. Індуктивний метод – це перехід від часткового до загального, а дедуктивний метод – це використання загальних наукових положень для дослідження конкретних явищ.

Моделювання – це метод пізнання на основі використання моделі як засобу дослідження явищ і процесів природи, фізичних процесів в електротехнічному обладнанні, складних електромеханічних системах та ін. Моделі – це такі аналоги, що замінюють об’єкт пізнання і використовуються в якості джерела інформації щодо нього (об’єкта). Вони характеризуються суттєвою подібністю до оригіналу і несуттєвими розбіжностями. Моделі поділяються на матеріальні (фізично втілені у певному дослідженні, фізичні або масштабні) і ідеальні (наочні засоби, креслення, схема, комп’ютерна програма і модель, електролітична вана, напівпровідниковий папір тощо). Структура методу моделювання містить постановку завдання, створення або вибір моделі,

дослідження моделі, перенесення отриманих результатів (знань) від моделі (копія) на оригінал (реальний об'єкт, що проектується або підлягає реконструкції).

Ідеалізація представляє собою мислене конструювання певного фізичного об'єкта, процесу, середовища, які не існують в природі або на практиці. Ідеалізація використовується з метою позбавлення реального об'єкта, що досліджується, притаманних йому сукупності властивостей та фізичних параметрів, що не суттєво впливають на об'єкт шляхом надання новому об'єкту певних нереальних і гіпотетичних властивостей в обмежених умовах. Будь-яка ідеалізація правомірна лише в певних межах. В якості прикладу можливо розглянути ідеалізовану електричну машину яку при певних умовах можливо розглядати в якості потужного трансформатора (нерухомі системи збудження електромагнітного поля розсіювання) або в якості електричних двигунів (бігуче електромагнітне поле) при незначних умовах (постійного струму, асинхронний, синхронний, кроковий та ін.)

Формалізація це метод вивчення різноманітних об'єктів та фізичних процесів шляхом відображення їхньої структури (формальної) у певній знаковій формі за допомогою штучних мов або підходів (наприклад, мовою математики, програмування). Цей метод забезпечує узагальненість підходу до розв'язання певних проблем, стислість та чіткість символічного опису, однозначність символіки, формування знакової (математичної) моделі об'єктів та заміни ними реальних об'єктів пізнання. Отриманні результати дослідження їх доцільно досконало проаналізувати перед впровадженням на практиці оскільки в процесі формалізації можливо знехтувати незначним параметром, який при певних умовах може призвести до суттєвих негативних наслідків (дослідження трифазної системи збудження електромагнітного поля розсіювання виконуються при додержанні симетрії струмів та синусоїдальності. На практиці такі умови не виконуються, що призводить до зростання додаткових втрат електричної енергії, формуванню урівноважуючих потоків і струмів, втратам електромагнітної стійкості, пошкодженням ізоляції на окремих стрижнях магнітної системи (в той же час інші в нормі). Для запобігання таких випадків при інженерних розрахунках використовуються напівемпіричні коефіцієнти використання яких при

проектуванні призводить до деякого запасу електромагнітного навантаження.

Аксіоматичний метод представляє собою побудову наукової теорії, за якою деякі твердження приймаються без доведення і доказу, а всі інші виводяться з них відповідно до певних логічних правил. Цей метод доцільно використовувати досить кваліфікованому науково-технічному персоналу оскільки потребує надбання логістики протікання фізичних процесів в електротехнічних об'єктах.

Гіпотеза та припущення – це форми осмислення фактичного матеріалу дослідження, форми переходу від фактів до законів. Гіпотеза – це науково обгрунтовані припущення, які висунуті для пояснення будь-якого явища і після перевірки можуть бути вірними чи хибними. Гіпотези носять імовірнісний характер, на їх основі відбувається систематизація раніше накопичених знань і здійснюється пошук нових наукових результатів.

Системний підхід полягає у комплексному дослідженні великих та складних об'єктів, дослідження їх як єдиного цілого із узгодженим функціонуванням усіх елементів і частин. При цьому підході часто застосовують поняття декомпозиції. Декомпозиція представляє собою розподілення об'єкта (системи) на підсистеми нижчого рівня, які досліджуються автономно з обов'язковим урахуванням подальшого узгодження цілей кожної підсистеми із загальною метою системи. По суті декомпозиція є операцією аналізу або знаходження умов і меж функціонування складної системи.

Теорія (як метод) розглядається як система знань, яка описує і пояснює сукупність явищ певної частки дійсності і зводить відкриті в цій галузі закони до єдиного об'єднувального початку. Теорія будується на результатах, що отримані на емпіричному рівні досліджень, коли результати впорядковуються, вписуються у струнку систему, що об'єднана загальною ідеєю, уточнюються на основі введених абстракцій, ідеалізацій і припущень.

1.6 Визначальні етапи науково-дослідних робіт

Якість проведення наукового дослідження відбувається в залежності від кваліфікації науковця та володіння ним відповідного теоретичного матеріалу та надбання певного практичного досвіду.

Виконання наукового дослідження доцільно представити у вигляді наступної логічної послідовності:

- обґрунтування актуальності обраної теми;
- формування мети і конкретних завдань дослідження;
- складання схеми об'єкта і предмета дослідження;
- вибір методів (методики) проведення досліджень;
- аналіз можливих похибок та використання вимірювальних приладів, реєстрації, візуалізації, поточної інформації та ін.;
- опис та реєстрація процесу дослідження з наведенням поточної інформації сукупності параметрів різної фізичної природи;
- систематизація та аналіз результатів теоретичного та експериментального дослідження;
- визначення впливу можливих похибок на отримані результати;
- об'єктивне тлумачення результатів з точки зору узгодженості з науковими положеннями і практичним використанням;
- формулювання висновків і оцінка достовірності отриманих результатів;
- розробка «Технічного завдання» та «Технічних вимог» до модернізації існуючого або розробки нового обладнання чи об'єкта.

Організаційна система наукового дослідження містить в собі наступні рівні або певні системи: галузь науки, науковий напрям, проблема, комплексна тема, розділ, етап теми, безпосередня робота, обґрунтування та захист отриманих результатів.

Загалом, виділення найпростішої складової визначається мірою абстракції (конкретизації) поставленої мети дослідження, яка залежить від невизначеності майбутніх результатів. Ступінь конкретизації та тривалість виконання наукового дослідження визначаються певними ознаками в двовимірному просторі при визначенні наукового завдання, комплексної теми або проблеми.

Визначальною ознакою в системі понять, яка характеризує первинну цілісність (завершеність) наукового дослідження, є тема.

Тема – це стисле формування самостійного специфічного майбутнього дослідження, що спрямоване на вирішення конкретного сформульованого наукового завдання. Тема виконується певним науковим колективом, який спеціалізується в даній галузі знань.

Терміни виконання окремих етапів та теми в цілому встановлюються певними організаційними документами.

Кожна тема складається з етапів, які є самостійними логічно взаємопов'язаними елементами наукового дослідження в цілому.

Етапи в загальному випадку проводяться послідовно, паралельно, послідовно-паралельно. Великі і складні теми можливо об'єднувати у окремі розділи, які, проте, не мають самостійного значення у відриві від основної теми. Планування наукових досліджень проводиться відповідно до розділів та етапів теми.

Елементарна робота – це конкретна одинична (теоретична, експериментальна, огляд та систематизація існуючих джерел та ін.) робота, яка закріплена за конкретним виконавцем за часом та місцем виконання.

Комплексна тема представляє собою самостійне дослідження за конкретно сформульованим науковим напрямом (питанням), яке вирішується в межах декількох галузей науки та техніки, або при взаємному використанні, декількох галузей знань.

Проблема сприймається як вищий рівень науково-дослідної роботи, представляє собою первинну загальну постановку задачі, яка ще зовсім ніким не була вирішена. Вона представляє собою велике автономне дослідження, що містить сукупність окремих тем, що спрямовані на вирішення принципових теоретичних і практичних питань науки і техніки (в тому числі і комплексних тем).

Науковий напрямок розглядається як сфера наукових досліджень, яка усталено (стійко) сформувалась і містить деяку кількість дослідницьких проблем одного розділу науки чи галузі застосування.

Науково-дослідні роботи (НДР) класифікуються по різним ознакам в залежності від використання та запиту промисловості (виробництва). В залежності від цільового спрямування вони поділяються на наступні:

- роботи, що спрямовані на створення нових процесів, машин, конструкцій, технологічних ліній, пристроїв та ін., використовуються для підвищення ефективності виробництва, надійності обладнання;
- роботи, які спрямовані на підвищення ефективності організації виробництва без створення нових засобів праці;
- теоретичні роботи в галузі суспільних, гуманітарних і т.п. наук, які використовуються для вдосконалення суспільних відносин, підвищення рівня взаємних відносин працівників та технічного і оперативного персоналу та ін.

В залежності від джерел фінансування НДР поділяються на держбюджетні, які фінансуються за рахунок коштів державного бюджету, та госпдоговірні, що фінансуються у відповідності до укладених договорів між організаціями, підприємствами, проектними інститутами та ін.

Замовники наукового дослідження мають право використовувати отримані результати НДР в певній галузі, відповідно до юридичних домовленостей.

НДР представляють собою наукові роботи, що спрямовані на використання результатів прикладних досліджень для конкретного втілення науково-технічних елементів в конкретних розробках обладнання, технологій, процесів та ін. Мета розробок полягає у впровадженні прикладних (іноді й теоретичних) досліджень в технічні засоби. Тому такі розробки носять назву ДКР – дослідно – конструкторські роботи, або ОКР (опитно-конструкторська розробка). Така класифікація дозволяє визначити і ієрархічну структуру науки та сприяє виявленню складності і рівня дослідження. При цьому мета дослідження в своєму діалектичному розвитку постійно звужується за рахунок її конкретизації. Це пояснюється тим, що відбувається уточнення задач на основі вже проведених досліджень.

Таким чином, наукові дослідження за часом і в просторі проходять через декілька етапів розвитку, які відображаються в специфічних особливостях кожного типу науково-дослідного дослідження. Наукові дослідження можливо охарактеризувати по певним ознакам в залежності від комбінації певних знань.

1.7 Класифікація та призначення дослідження

Розглянуті вище класифікація та тлумачення специфічних термінів сприяє розгляду суті фундаментальних та прикладних досліджень. Коротко розглянемо специфіку і спрямованість таких досліджень. За цільовим спрямуванням НДР поділяють на фундаментальні, пошукові, прикладні, практичні.

Фундаментальні дослідження полягають в отриманні результатів, які представляють основу для нових теоретичних, прикладних, пошукових досліджень і практичних розробок. Вони відрізняються якісно новим рівнем досліджень, високим внутрішнім науковим змістом та ефектом, які визначають формування нового напрямку в

розвитку науки і техніки. Вони представляють собою науково-теоретичні, або експериментальні дослідження, що спрямовані на одержання нових знань, або певних закономірностей функціонування певного обладнання, або електромеханічної системи в динаміці та статичі, та взаємних зв'язків між визначальними технічними і фізичними параметрами.

Метою фундаментальних досліджень є відкриття нових закономірностей, пов'язаних між фізичними процесами, отримання сукупності нових наукових результатів, які становлять основу для уточнення надійності функціонування існуючого обладнання з метою використання в інших умовах роботи, або проведення інших досліджень.

Отримані результати можуть представлятись у вигляді публікацій, доповідей, повідомлень, науково-технічних звітів, технічних умов та технічних вимог для розробки принципово нового об'єкта, електротехнічного обладнання та електромеханічних систем та ін. Доцільно відзначити, що на початковому етапі дослідження більш високого рівня можливі суттєві невизначеності, які потребують певного часу і використання та розробки нових методологічних підходів і методів досліджень. В таких випадках виконуються пошукові дослідження, внаслідок яких визначаються шляхи вирішення та напрямки подальшої більш складної наукової проблеми.

Пошукові дослідження можуть бути використані в подальших прикладних, нових формах та змісту пошукових дослідженнях і розробках більш високого науково-практичного рівня подальших нових досліджень. Вони відзначаються меншим загальнонауковий ефектом в порівнянні з фундаментальними, а також відносно високим рівнем невизначеності на початку досліджень. Пошукові роботи ґрунтуються на існуючих фундаментальних теоріях і спрямовані на вдосконалення теоретичних підходів і методологій в певних нових межах.

Прикладні дослідження відзначаються конкретизацією науково-технічного спрямування, що є основою для розвитку конкретного дослідження з метою встановлення певних залежностей між визначальними параметрами конкретного обладнання в межах конкретних массо-габаритних та просторових показників. Відносно низький рівень невизначеності на початку таких досліджень сприяє досягненню поставленої мети шляхом розробки макетних, фізичних

моделей та зразків, схем, інженерних методик, алгоритмів, випробувальних стендів та ін. Тобто отримується практичний результат, який використовується для вдосконалення проектного взірця нового обладнання. При цьому термін проведення таких досліджень обмежений термінами вирішення поставленої науково-технічної проблеми, або технічної розробки із значно вищими показниками та умовами функціонування. Їх доцільно розглядати як наукову діяльність, що спрямована на одержання і використання отриманих знань для практичного використання (мети). На підставі цих досліджень розробляються нові методи, створюється нове обладнання, технології, матеріали, способи виробництва, розвитку конкретної галузі виробництва.

Специфічні науково-технічні дослідження. Поряд із наведеним вище доцільно виділити специфічні науково-технічні дослідження в яких використовуються комбіновані відомі теоретичні положення з метою впровадження у складних електромеханічних системах та об'єктах із значними покращеними техніко-економічними показниками та оптимізованими конструкціями.

Слід відзначити, що технічним розробкам притаманний певний матеріальний, конструктивний та техніко-економічний кінцевий результат. Із технічної точки зору така розробка повинна бути суттєво кращою в порівнянні із існуючими та базуватися на отриманих патентах, ліцензіях, методах, схемах, принципах роботи та ін. Вони передбачають конкретні впровадження у виробництво в певні терміни та умови.

Доцільно відзначити, що будь-яка фундаментальна, пошукова науково-дослідна робота (НДР) проводиться відповідно до визначеної логічної послідовності: - формування теми, формулювання мети та задач дослідження, теоретичні дослідження, експериментальні дослідження, аналіз та оформлення наукових досліджень, впровадження та визначення ефективності досліджень.

Формулювання теми дослідження полягає у загальному ознайомленні з проблемою, попередньому ознайомленні із відомими літературними джерелами і класифікацією найважливіших напрямків існуючих результатів за данним напрямком дослідження. В подальшому робота полягає в формулюванні теми, складанні анотації з коротким планом досліджень, розробці або корегуванні технічного завдання та технічних умов, розробці загального календарного плану,

попередньому визначенні очікуваного техніко-економічного ефекту. При отриманні незадовільних показників здійснюється пошук більш оптимального техніко-економічного рішення.

Формулювання мети та задач дослідження включає наступні етапи, що виконуються в логічній послідовності:

- підбір та вивчення літературних джерел;
- аналіз, співставлення та критика наявної інформації за напрямом досліджень;
- складання власних висновків та судження по кожному проаналізованому джерелу;
- узагальнення наявної інформації та огляд стану проблеми чи задачі за темою або напрямком;
- формулювання методичних висновків по огляду інформації, мети та задач дослідження;
- розробка методологічних основ і методів дослідження в залежності від спрямування;
- панування впровадження отриманих результатів, або шляхів доповнення з метою розповсюдження на інші об'єкти.

При цьому доцільно враховувати розподіл теоретичних і експериментальних робіт.

Теоретичні дослідження базуються на:

- вивченні фізичної сутності процесів та явищ, що відбуваються у просторі певного обладнання;
- формулювання гіпотез;
- вибір та обґрунтування моделей;
- отримання аналітичних виразів та залежностей;
- теоретичний аналіз отриманих виразів;
- конкретизація використання певних методів в залежності від використання в об'єкті дослідження.

Експериментальні дослідження передбачають:

- розробку мети та завдання, планування експерименту;
- розробку методики проведення експерименту;
- вибір засобів вимірювання і моделювання, та формування збуджуючих чинників;
- обґрунтування способів вимірювання;
- конструювання та виготовлення макетів, стендів та ін.;
- проведення експериментів;
- обробка результатів, їх систематизація та аналіз.

Аналіз та оформлення результатів наукових досліджень полягає в наступному:

- в аналізі і систематизації;
- порівнянні результатів експерименту з теоретичними;
- уточненні теоретичних моделей або експеримента;
- оцінка достовірності отриманих результатів та похибок;
- формування залежностей між визначальними параметрами;
- перетворення гіпотез в теорію;
- формулювання наукових та практичних висновків;
- складання науково – технічного звіту;
- ретельне і критичне рецензування;
- підготовка доповіді для ознайомлення наукової спільноти із отриманими результатами та прилюдний їх захист.

1.8 Формування напрямку та змісту наукового дослідження

Впровадження та визначення ефективності досліджень виконується відповідно до розробленого плану НДР (Науково-дослідна робота), або ДНР (Державна наукова робота), або ОКР (Опитно-конструкторська розробка), або технічне проектування (ТП) містить наступні етапи:

- формулювання теми, мети та задач досліджень, а також складання Технічного завдання (ТЗ) та Технічних вимог (ТВ);
- вивчення літературних джерел та відомих технічних рішень;
- проведення постановочних і уточнюючих досліджень (при необхідності);
- підготовка до технічного проектування зразка об'єкта, що досліджується;
- розробка логістики виконання робіт.

Технічне проектування полягає в наступному:

- розробці варіантів технічного проекту, розрахунків, розробці креслень, алгоритмічного та програмного забезпечення, виготовлення окремих вузлів, блоків, їх дослідження;
- розробці та узгодженні технічного проекту, техніко-економічного обґрунтування проекту.

Робоче проектування виконується шляхом розробки робочого проекту відповідно до наступних етапів:

- виготовлення дослідного зразка відповідно до технічної документації;
- аналіз і контроль робочого процесу;
- розробка методів перевірки технологічних процесів, виготовлення та збирання деталей, вузлів, блоків;
- перевірка, доведення та регулювання зразка;
- розробка методик використання зразка для досліджень;
- стендові та виробничі випробування;
- приймально-здавальні випробування.

При неузгодженості окремих параметрів, що передбачені проектною документацією, виконуються роботи по доопрацюванню зразка, що досліджується. Після доопрацювання дослідного (Опитного) зразка він передається замовнику для проведення подальших робіт, досліджень, креслення.

1.9 Наукові установи та наукові кадри України

Згідно Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» суб'єктами наукової діяльності є вчені, наукові працівники, науково-педагогічні працівники, а також наукові установи, наукові організації, вищі навчальні заклади 3-4 рівнів акредитації, громадські організації у науковій і науково-технічній діяльності.

Національна академія наук України є однією з вищих наукових організацій України. Вона організує і здійснює фундаментальні і прикладні дослідження з найважливіших проблем природничих, гуманітарних і технічних наук, координує здійснення фундаментальних досліджень в наукових установах та організаціях.

Галузеві академії наук координують, організують та проводять дослідження у відповідних галузях науки. До них відносяться Українська академія аграрних наук, Академія медичних наук України, Академія педагогічних наук України, Академія правових наук України, Академія мистецтв України та ін.

Вищі навчальні заклади 3-4 рівнів акредитації, окрім навчального процесу, виконують наукову і науково-технічну роботу. Вона є невід'ємною складовою частиною навчального процесу вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації. Основним структурним підрозділом вузів, для проведення наукових досліджень, є кафедри.

Окрім того можуть створюватись наукові, навчально-наукові, науково-дослідні інститути; наукові центри; наукові лабораторії; конструкторські бюро та ін.. Важливу роль відіграють студентські науково-технічні організації.

Проектно-конструкторські інститути та наукові підрозділи спеціального призначення виконують, як наукові дослідження, так і проектування, розробку та випробування певних видів обладнання (електротехнічного обладнання та електромеханічних систем). Склад таких закладів залежить від складності поставлених завдань, об'ємів виконання проектів та фінансування.

До наукових працівників відносяться особи з вищою освітою, які виконують науково-дослідну, науково-педагогічну, дослідно-конструкторську, проектно-конструкторську, проектно-технологічну, пошукову роботу та/(або) організовують зазначені види робіт у наукових установах, організаціях, вищих навчальних закладах 3-4 рівнів акредитації, лабораторіях підприємств.

Наукові ступені розповсюджуються на наукових працівників вищої кваліфікації. В Україні встановлено два наукових ступеня – доктор філософії (кандидат наук) і доктор наук. Наукові ступені присуджуються вченим після успішного прилюдного захисту дисертації, яка є результатом їх самостійної науково-дослідної роботи.

Вчені звання – професор, доцент, старший науковий співробітник присвоюють особам, які займають відповідні, що зазначені званням, посади та успішно виконують встановлені для цих посад обов'язки. Впершу чергу, враховуються результати науково-дослідної та науково-педагогічної діяльності.

Аспірантура та докторантура є основними формами підготовки наукових кадрів. Аспірантура і докторантура відкривається при вищих навчальних закладах третього або четвертого рівнів акредитації і прирівнених до них закладах після дипломної освіти, у наукових установах, які мають висококваліфіковані науково-педагогічні та наукові кадри, сучасну науково-дослідну, експериментальну та матеріальну базу.

Підготовка аспірантів здійснюється з відривом від виробництва 3 роки та без відриву від виробництва 4 роки, а докторантура з відривом від виробництва 3 роки.

Здобувачі наукових ступенів можуть працювати над дисертацією поза аспірантурою та докторантурою.

Питання присудження наукових ступенів доктора і (доктора філософії) кандидата наук, присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника належить до компетенції Вищої атестаційної комісії (ВАК) України.

Питання присвоєння вчених звань доцента та професора вирішує Міністерство освіти і науки України.

1.10 Принципові основи магістерської наукової роботи

Наукова робота магістрів представляє собою досить відповідальну та творчу працю, яка потребує надбання певних знань, творчого натхнення та наполегливості. При вирішенні поставленої мети необхідно чітко представляти фізичні процеси, що протікають у просторі розробляемого обладнання, або електромеханічної системи, або математичній моделі. При цьому доцільно аналізувати взаємні зв'язки між визначальними параметрами різної фізичної природи та їх відповідність класичним законам фізики та математичним залежностям.

Коротко розглянеми послідовність проведення наукового дослідження магістерського рівня.

Вибір теми дослідження – це один з найвідповідальніших етапів наукової діяльності магістра (дослідника). Від правильності виконання якого в значній мірі залежить успішне виконання науково-дослідної роботи. При цьому доцільно творчо розрізняти можливі напрямки тем дослідження. Вони розподіляються на теми які спрямовані на розвиток проблеми, над якими працює певний науковий колектив; ініціативні теми, замовні теми.

Найкраще працювати над вирішенням теми першої групи, оскільки вони сприяють творчій свободі наукового дослідження, але можуть потребувати значно більшого часу для досягнення кінцевого результату. Тому необхідно чітко визначитись з можливими похибками та їх відповідності інженерним завданням, початковими і граничними умовами математичної моделі, ступенем використання мікропроцесорних та програмних засобів і фізичних моделей та ін.

Ініціативні теми зазвичай виникають унаслідок або доброї наукової підготовки, або ж обмеженої кваліфікації та наукового кругозору дослідника. Тому при виборі ініціативної теми важливо

реально оцінити ситуацію, щоб не поставити під загрозу успішне виконання наукових досліджень.

Замовлені теми найчастіше пов'язані з основними планами науково-дослідних робіт у певній галузі, установи, науковому колективі. Замовні теми переважно виконуються з метою вирішення певного практичного питання або модернізації обладнання для використання в нових умовах експлуатації. При їх вирішенні використовуються існуючі методики, які потребують уточнення шляхом введення непевемпіричних коефіцієнтів, або узгодженості відповідно до об'єкта дослідження.

При обранні теми дослідження основними критеріями повинні бути актуальність, новизна і перспективність, наявність теоретичної бази, можливість виконання теми у даній установі, зв'язок її з конкретними господарськими планами і довгостроковими програмами, можливості отримання від впровадження результатів дослідження технічного, економічного і соціального ефекту.

Обґрунтування актуальності теми – це початковий етап будь-якого дослідження. Вміння дослідника обрати тему, правильно її розуміти й оцінювати з точки зору своєчасності та соціального значення характеризують його наукову зрілість і професійність. При обґрунтуванні актуальності доцільно сформулювати відповідь на питання: «Якій галузі виробництва чи знань і з якою метою необхідні запропоновані наукові результати?». Для цього потрібно чітко сформулювати сутність проблеми (задачі), з чого впливає актуальність теми.

Проблема в науці – це суперечлива ситуація, яка потребує свого сучасного вирішення. Вона виникає тоді, коли старе знання вже виявило свою неспроможність, а нове ще не набуло розвиненої форми. В якості прикладу можливо розглянути умови роботи трансформаторного обладнання та електроприводів в технологіях металургійної промисловості, де якість електричної енергії перевищує нормовані державними стандартами показники. При цьому суттєво зростають додаткові втрати в електротехнічному обладнанні, що живить електротехнології та призводить до скорочення термінів надійності. Тому саме вибір проблеми в значній мірі визначає як стратегію дослідження в цілому, так і напрямок наукового пошуку.

Сформулювати проблему означає показати вміння відокремити головне від другорядного, виявити те, що вже відомо і що досі

невідомо науці з предмета дослідження. Тобто, обґрунтування актуальності та доцільності дослідження, з метою розвитку відповідної галузі науки чи виробництва, потребує творчого мислення та логічного представлення вирішення проблеми. При цьому необхідно визначити шляхи вирішення на підставі критичного аналізу та порівняння з відомими розв'язаннями наукових проблем, або практичними задачами.

Новизна ідеї, а отже, і теми в цілому відображає ознаки, які характеризують науково-практичну суть отриманих результатів вв цілому та проведення досліджень з поняттям «вперше». Це поняття означає певну обмеженість отриманих результатів до їх публікації. Для багатьох галузей науки новизна виявляється у наявності вперше сформульованих і змістовно обґрунтованих теоретичних положень, розроблених принципів, методів та рекомендацій. Новими можуть бути ті положення дослідження, котрі сприяють подальшому розвитку науки або окремих її напрямків.

За змістом отримані знання, серед відомих наукових результатів, доцільно розрізнати за наступними рівнями новизни:

- перетворення відомих знань, докорінна їх зміна, що характеризуються принципово новими в даній галузі знаннями, які не просто доповнюють відомі положення, а представляють собою самостійне вирішення проблеми або задачі;

- розширення, або доповнення відомих даних, що призводить до нового результату, який розширює відомі теоретичні або практичні положення, додає до них нові елементи, доповнює знання в даній галузі без зміни їх суті;

- уточнення, конкретизація відомих даних, поширення відомих результатів на новий клас об'єктів, систем при умові наявності нового результату, який уточнює відоме, конкретизує окремі положення, що стосуються поодиноких випадків, а відомі методи чи способи можуть бути розвинені й поширені на новий клас об'єктів, систем, явищ.

Практичне значення обраної теми залежить від характерних рис та напрямку конкретного наукового дослідження. Воно може реалізуватись в наступних напрямках:

- у впровадженні отриманих результатів дослідження у промисловості;

- використанні наукових результатів у навчальному процесі закладів освіти;

- участі в розробленні державних і регіональних програм розвитку певної галузі народного господарства;
- використанні результатів для підготовки нових нормативних і методичних документів, корегуванні;
- розробці, доповненню та корегуванні нормативних вимог та окремих положень державних стандартів та нормативно-технічної документації.

Наукові дослідження проводяться у відповідності до складеного плану робіт в певні терміни виконання окремих питань. Впродовж усього часу виконання науково-дослідної роботи можуть бути складені плани кількох видів в залежності від складності і формування окремих питань.

Наукова робота починається з ретельного формування, тобто задуму подальшого наукового дослідження. На цьому етапі складається попередній робочий план, який тільки в головних рисах дає характеристику об'єкта дослідження і в подальшому він безумовно буде розвиватись і уточнюватись. Важливим тут є конкретизація основного завдання, яке необхідно вирішити з метою оптимізації, отримання нового науково-технічного рішення та ін. Планувати наукове дослідження доцільно таким чином, щоб в подальшому суттєво зменшити корегування та зміни. Робочий план має довільну форму. Досить ефективно скористатись формою «плану-рубрикатора», який складається з переліку окремих рубрик, які логічно пов'язані між собою і послідовно доповнюють дослідження даної теми. Такий план використовується на перших етапах роботи з метою окреслення різних варіантів вирішення завдання, та сприятиме досягненню поставленої мети.

На наступних стадіях роботи доцільно складати «план-проспект», який представляє собою реферативне викладення розміщених у логічному порядку окремих питань, за якими надалі буде систематизовано увесь напрацьований матеріал. З урахуванням специфіки творчого процесу спочатку до плану дослідження вноситься все, що можливо передбачити і на перший погляд не буде впливати на результати. Систематичне доповнення новими даними дозволяє довести такий план до заключної структурно-фактологічної схеми наукового дослідження. При цьому доцільно визначитись з обмеженнями продовження наукового дослідження, оскільки отримані результати можуть призвести до бажання переглянути методи і

результати, що отримано раніше. Як кажуть науковці: «Треба набратись сміливості вчасно зупинитись». В іншому випадку постійно буде виникати бажання отримати більш значущі результати в порівнянні із отриманими. В таких випадках доцільно завершити поточні дослідження і скласти план нових досліджень з залученням зацікавлених фахівців. При такому плануванні науково-дослідної роботи відбувається усвідомлення логічної послідовності виконання запланованих досліджень. Організаційна послідовність виконання завдання передбачає його завершеність в залежності від певних умов та наявних можливостей. Логічна послідовність сприяє розкриттю наукової суті завдання. При цьому важливо в будь-якій роботі знаходити головне, вирішальне, те, на чому необхідно зосередити в даний час всю увагу. Такий методологічний підхід допомагає досліднику встановити визначальну мету в своїй роботі, сформулювати головне завдання, обрати потрібні методи та знайти найзручніші шляхи і терміни для виконання кожного етапу роботи.

При плануванні окремих етапів досліджень доцільно одночасно планувати й підготовку до друку публікацій, в яких оприлюднюється отриманий науковий результат.

Етап дослідження вважається виконаним якісно тільки тоді, коли за його результатами можна підготувати статтю для авторитетного фахового видання. Важливе значення набуває можливість відтворення експерименту або моделі іншими науковцями. При цьому, матеріал публікації можливо присвятити наступним питанням:

- огляду поточного стану проблеми, визначенню її місця і значення, формування мети і шляхів вирішення подальшого дослідження (оглядову статтю);

- постановці і конкретизації завдання дослідження та вибору і обґрунтуванню методу його розв'язання. На цьому етапі доцільно підготувати до фахового видання статтю, в якій розкривається актуальність завдання, його фізична й математична суть і постановки, обґрунтовується запропонований метод розв'язання;

- розробленню та інтерпретації методу розв'язання наукового завдання, приклад його розв'язання або вдосконаленням вже відомого методу, а також з аналізом практичного використання;

- експериментальним дослідженням із чітким висвітленням опису, методики, схеми, алгоритму і аналізом результатів експерименту;

- впровадженню результатів усього циклу досліджень, та характерних рис використання та функціонування обладнання, або електромеханічної системи, або фізичної та математичної моделі.

Поряд з цим, результати кожного із етапів дослідження доцільно доповідати на відповідних наукових семінарах та конференціях з публікацією тез чи основних матеріалів доповідей. Це необхідно для ознайомлення наукової спільноти з отриманими результатами дослідження та їх сприйняття, що є свідченням апробації результатів і пріоритету наукових розроблень.

Готувати публікації слід ретельно оскільки ступінь їх представлення науковій спільноті свідчить про набуття автором певного наукового досвіду і зростання авторитету автора отриманих результатів наукового дослідження.

Кожне наукове дослідження, після вибору теми (розроблення ідеї), починається з детального ознайомлення, вивчення та критичного осмислення вже опублікованих за даною темою літературних джерел. Ознайомлення з опублікованими науковими працями варто починати зі «швидкого» читання, яке повинно відповісти на питання, чи варто уважно вивчати дану публікацію. Після перегляду всіх наявних на даний момент літературних джерел можна приступати до «повільного» читання, тобто до глибшого їх вивчення. При читанні відібраного матеріалу доцільно робити детальні помітки, бо заздалегідь не завжди відомо, що з цього матеріалу може знадобитись, а повторний пошук призведе до зайвої втрати часу. При цьому велике значення має обробка і систематизація записів по мірі їх накопичення.

Систематизувати та зберігати записи рекомендується відповідно до початкового плану досліджень з подальшим уточненням та вилученням зайвого. Подальша обробка матеріалу проводиться з метою визначення повноти зібраної інформації. Для визначення повноти отриманої інформації, та визначення повноти і стану наукової проблеми, що розробляється, слід переглянути всі джерела, зміст яких пов'язаний з даною темою наукового дослідження.

До них належать матеріали, що надруковані в різних вітчизняних і закордонних виданнях, надруковані видання у вигляді звітів про НДР, дисертації, депоновані рукописи, електронні та інтернет - видання, офіційні матеріали. Пошук необхідної інформації може проводитись у ручному чи автоматизованому режимах. Доцільно проводити пошук за ключовими словами, або ж за допомогою

інформаційно-пошукової мови – семантичної (сміслової) системи символів та правил їх поєднання.

Для всіх публікацій використовується введена універсальна десятинна класифікація інформаційної наукової документації під шифром «УДК». Вона дозволяє розрізняти всі галузі наукових знань на 10 розділів, кожен з яких поділяється на 10 підрозділів, а підрозділ – на 10 невеликих частин. Кожна частина може мати необхідний ступінь деталізації. Структура УДК складається із груп основних індексів, а групи поділяються на підгрупи загальних та спеціальних визначальників. Кожен індекс УДК має додаткове розділення, наприклад, УДК 625 – транспортне будівництво, а УДК 625.122 – спорудження та ущільнення земляного полотна доріг.

Метою вивчення літературних джерел є відбір, накопичення та систематизація наукових фактів за темою відповідного дослідження. Слід відзначити, що відбір наукових фактів представляє собою певний творчий процес, який потребує цілеспрямованої праці. Наукові факти є складовими елементами основи наукового знання, на підставі яких визначаються закономірності певних явищ, процесів і будуються теорії та виводяться закони. Вони характеризуються наступними властивостями: новизна, точність, об'єктивність і достовірність.

Новизна наукового результату відображає принципово новий, невідомий досі досліднику предмет, явище чи процес.

Точність наукового факту визначається об'єктивними методами і характеризує сукупність найсуттєвіших прикмет предметів, явищ, процесів, а також їх кількісних та якісних показників.

Наукова об'єктивність означає, що факти не можна відкидати тільки тому, що їх важко пояснити чи знайти їм практичне використання, або негативне ставлення до автора, або наукового колектива. А достовірність наукового результату базується на його безумовному реальному існуванні, яке підтверджується при побудові аналогічних ситуацій, моделей та ін. і можливо його відтворити.

Достовірність наукових результатів в значній мірі залежить від достовірності використаних джерел, їх цільового призначення і характеру їх інформативності. Офіційне видання, опубліковане від імені державних або громадських організацій, установ і відомств, містить матеріали, точність яких викликає найменше сумнівів.

Огляд літературних джерел використовується з метою:

- ознайомлення з матеріалами за темою наукового дослідження, його класифікації, вивчення найбільш наближених результатів досліджень, основних фундаментальних праць, найсуттєвіших результатів та їх наближеність до обранного напрямку дослідження;

- виявлення та уточнення напрямів досліджень, які викликають найбільший науковий інтерес та факти, що недостатньо досліджені та могли б бути досліджені в даній науково-дослідній роботі;

- формулювання напрямків дослідження, визначення їх мети та завдань, характерних рис методів та основних розділів науково-дослідної роботи, та використання з метою уточнення плану наукового дослідження;

- отримання вихідного матеріалу для виконання певної частини наукової роботи, складання переліку використаних у роботі літературних джерел.

Безпосередньо в тексті науково-дослідної роботи огляд літератури можна структурувати за наступними ознаками:

- загальна характеристика галузі досліджень, значення останньої в науці та промисловості, актуальність завдань, які стоять перед даною галуззю;

- класифікація основних напрямків досліджень у даній галузі;

- визначення напрямків, які практично використовуються, і таких, які знаходяться у стадії розроблення;

- відображення різних точок зору на розв'язання наукової чи науково-практичної проблеми;

- детальний виклад результатів досліджень за кожним розділом класифікації;

- опис використаних методів, математичного апарату, експериментальних схем, результатів теоретичних та експериментальних досліджень;

- критичний аналіз цих матеріалів з пропозиціями та зауваженнями щодо доробки та використання в подальших роботах;

- у кінці кожного розділу класифікації формуються висновки та пропозиції щодо об'єднання деяких із них, доповнення своїм баченням вирішення певної проблеми, подальшого пошуку;

- підсумки наявних досліджень, перелік основних невирішених завдань;

- на завершення огляду формуються основні напрямки даних наукових досліджень, систематизуються результати за характерними рисами, обґрунтовується їх актуальність;

- формулювання кінцевої мети досліджень та послідовність задач, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

Огляд літературних джерел приводиться не за авторами публікацій, а за завданням дослідження. Ретельно підготовлений огляд літературних джерел з критичним аналізом та формуванням подальшого дослідження або розвитку доцільно опублікувати як самостійну статтю.

1.11 Формулювання мети і предмета наукового дослідження

Від формулювання наукової проблеми на підставі критичного огляду літературних джерел і доведення, що частина проблеми, яка є темою даних наукових досліджень потребує подальшого розвитку і не висвітлена у наукових джерелах, необхідно перейти до формулювання мети дослідження і зазначення конкретних завдань, які вирішуватимуться відповідно до поставленої мети.

Мета дослідження представляє заплановане отримання певного результату, який необхідно досягти, бути логічним і конструктивним, спрямованим на розробку оптимального варіанту об'єкта досліджень, електротехнічного обладнання або складної електромеханічної системи. Новизна визначається шляхом порівняння з існуючими взірцями, більш ефективними показниками в процесі функціонування в певних умовах експлуатації. Ступінь досягнення поставленої мети повинно чітко визначатись у висновках науково-дослідної роботи. Не доцільно формулювати мету з використанням термінів «Дослідження...», «Вивчення...», тому що вони вказують на спосіб досягнення мети, а не на саму суть досягнення мети. Мета роботи повинна відображати назву науково-дослідної роботи, або сформульованої теми дослідження і повинна чітко вказувати, що саме досягається даним дослідженням.

Для досягнення поставленої мети, в науково-дослідній роботі, потрібно вирішити конкретні завдання (задачі), які визначаються у формі переліку наступних термінів: - вивчити..., описати..., встановити..., визначити..., виявити...та ін. Формулювати такі завдання необхідно дуже ретельно, оскільки описання їх вирішення і

становить зміст певних розділів науково-дослідної роботи. Заголовки таких розділів визначаються саме з формулювання завдань наукового дослідження. Для однієї наукової роботи кількість завдань наукового дослідження може знаходитись в межах від 3 до 8.

В наукових дослідженнях необхідно розрізняти такі категорії наукового пізнання, як об'єкт і предмет дослідження. Вони співвідносяться між собою як загальне і часткове. З метою визначеності розглянемо більш ретельно ці терміни та їх значимість при виконанні наукового дослідження.

Об'єкт дослідження доцільно сприймати як певний процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і призначене для його вивчення при вирішенні наукової задачі.

Предмет дослідження міститься в межах об'єкта і виділяється як його частина, на яку спрямована основна увага дослідника і розглядається в якості окремої частини об'єкта дослідження, що характеризує його якість, галузь, ступінь використання та впровадження. Предмет визначає конкретність теми, її характерні риси та сутність наукового дослідження.

1.12 Подання та стиль наукової праці

Для наукової праці важливим є не тільки актуальність теми, теоретична наукова цінність та практична ефективність отриманих результатів, а й рівень загально методичної підготовки дослідника, що відображається в представленні, поданні та стилі викладення напрацьованого матеріалу.

Порядок подання наукових матеріалів повинен найпереконливіше розкривати задум дослідника, шляхи вирішення, а їх розміщення повинно відповідати внутрішньому логічному зв'язку етапів дослідження. Традиційно склалась певна композиція наукової праці. Вона складається із наступних основних розділів:

- змісту;
- переліку умовних позначень, символів та їх тлумачення, одиниць, виміру фізичних величин та параметрів, скорочень і термінів;
- вступу;
- розділів основної частини;
- загальних висновків;
- переліку використаних джерел (бібліографії);

- додатків.

У вступі обґрунтовується актуальність обраної теми, мета і зміст поставлених задач, формулюються об'єкт і предмет досліджень, зазначаються обрані для досліджень методи, визначаються теоретична цінність і практична значущість отриманих результатів.

У розділах основної частини детально розглядається методика і техніка дослідження, узагальнюються результати. Зміст розділів повинен відповідати темі наукового дослідження та повністю її розкривати. При цьому всі не суттєві, або досить насичені для розв'язання наукового завдання матеріали виносяться у додатки. Не варто також викладати в розділах основної частини тривіальні проміжні визначення та обчислення. В кінці кожного розділу необхідно сформулювати короткі висновки та взаємно їх пов'язати.

Висновки до розділів теоретичної частини повинні містити:

- коротку суть результату з цифрами і фактами;
- формулювання новизни результату;
- обґрунтування достовірності результату;
- пояснення практичної цінності результату.

Висновки до розділів експериментальної частини повинні містити:

- коротку суть експерименту з відображенням мети, умов та ін.;
- коротку суть отриманого результату з цифрами і фактами;
- характеристику новизни отриманого результату;
- аналіз відповідності теоретичних і експериментальних даних;
- практичну цінність отриманого результату.

Загальні висновки наукової праці відображають конкретну роль закінченого наукового дослідження в формі послідовного, логічно стрункого та структурованого викладення отриманих підсумкових результатів та їх співвідношення із загальною метою і конкретним завданням, що поставлені та сформульовані у вступі. Висновки не можна підмінювати механічним складанням висновків за розділами основної частини, адже вони формулюють все те нове, суттєве, що становить кінцеві результати дослідження, в послідовності, яка визначається логікою побудови дослідження.

Бібліографічний список використаної літератури представляє важливу частину наукової праці, яка відтворює самостійну творчу роботу дослідника, його кваліфікацію, вміння вирішувати поставлені наукові завдання. Дослідник зобов'язаний посилатись на джерела, з

котрих у його роботі використано матеріали, окремі результати, ідеї чи висновки для розроблення шляхів вирішення власних задач. Рекомендується робити посилання на останні видання творів, більш ранні видання можна зазначити лише в тих випадках, коли наявний в них матеріал не увійшов до останнього видання. Список використаних джерел доцільно розміщувати в порядку згадування їх у тексті за наскрізною нумерацією. Не рекомендується вводити до списку джерел ті праці, на які немає посилань в тексті, тобто вони фактично не були використані, а також енциклопедії, науково-популярні книги, газети.

Бібліографічний опис джерел складається відповідно до чинних стандартів із бібліотечної та видавничої справи.

1.13 Робота над друкованими джерелами

Нові наукові результати та положення, які мають важливе теоретичне та практичне значення, необхідно висвітлити у вигляді наукових публікацій та доповідей на конференціях, семінарах. Опублікувати матеріали досліджень – це означає зробити їх надбанням інших фахівців для використання в їхній роботі. Тому матеріали для публікації повинні бути написані просто і зрозуміло для їх ефективного сприйняття. Публікація повинна бути вчасною, бо вона надає пріоритет в авторстві і практично не обмежену аудиторію.

До наукових друкованих робіт належать монографії, статті, матеріали та тези доповідей.

Монографія – це науковий твір, в якому викладено результати багатобічного дослідження окремої проблеми чи теми, виконаний одним чи декількома авторами. Вона може містити як нові, так і вже відомі наукові результати та технічні рішення.

Стаття, за звичай, присвячується викладанню отриманих нових результатів дослідження при вирішенні конкретного завдання, що має наукове та/(або) практичне значення.

Матеріали доповідей представляють собою оприлюднення нових результатів дослідження, які публікуються у вигляді стислої наукової статті.

Тези доповіді публікуються у вигляді анотації і представляють собою стислий зміст основних матеріалів і результатів дослідження.

План статті за результатами певного дослідження рекомендується викладати обсягом 7-8 сторінок друкованого тексту.

Якщо отримані результати перевищують приведені рекомендації, то матеріал дослідження доцільно розбити на окремі визначальні обсяги.

За звичай, рекомендується наступний план написання статей:

- вступ присвячується постановці проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними напрямками досліджень у відповідній галузі від 5 до -10 рядків;

- вихідні передумови і обґрунтування невирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття на підставі критичного огляду останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор. Вони повинні займати приблизно від 1/3 до 1/2 сторінки;

- формулювання мети статті рекомендується викладати до 12 рядків, а за змістом відображати матеріали, що впливають з постановки загальної проблеми і огляду раніше виконаних досліджень;

- викладення безпосередньо матеріалу досліджень, за звичай, здійснюється на 5-6 сторінках, при цьому обмежений обсяг потребує виділення головного у матеріалах дослідження з підтвердженням формулювання мети дослідження;

- короткий опис методів, методик, моделей, наукових підходів, основних положень дослідження;

- коротке та досить змістовне і одночасно обґрунтоване викладення та аналіз отриманих результатів;

- висновки, з даного дослідження, стисло відображають отримані результати дослідження і рекомендації та перспективи подальшого розвитку або використання отриманих результатів у цьому напрямку.

Більшість наукових джерел, журналів та збірників наукових праць для авторів публікують вимоги до структури та оформлення статей.

Методика підготовки доповідей на наукових конференціях дещо відрізняється, хоча план доповіді – аналогічний плану статті. Зміни у формі та змісті подання матеріалу обумовлені специфікою усного мовлення, а також тим, що значна частина матеріалу викладена на плакатах, мікропроцесорних засобах, слайдах. На плакати, за звичай, виносяться математичні моделі, умови вирішення математичних рівнянь, постановки завдання, методи розв'язання, алгоритми, структурні системи, схеми експериментальних установок, результати у табличній чи графічній формах, короткі висновки. У зв'язку з цим матеріали доповіді подаються як коментарі до представленого

ілюстративного матеріалу, тому обсяг доповіді звичайно менший від обсягу статі.

1.14 Організація і ефективність наукового дослідження

На всіх етапах розвитку цивілізації люди завжди намагалися усвідомити складні шляхи свого існування в поєднанні з природними явищами, які впливали на їх побут і намагались передбачити їх в майбутньому. Тому поступово формувалися шляхи наукового пізнання та досягнення певної мети свого кращого існування шляхом використання природних явищ та процесів на свою користь та найкращого (оптимального) їх перерозподілу в залежності від потреб.

Таким чином стали формуватися методологічні основи і стихійно емпіричні підходи (методи) наукового пізнання різних природних явищ на підставі нагляду і послідуєчого складання певних аналітичних і математичних залежностей та моделей. По мірі накопичування певних знань і залежностей між окремими явищами стали розроблятися відповідні методи спеціального наукового пізнання у їх різноманітні і взаємних впливів. В подальшому з'явилися більш удосконалені методи, пристрої, моделі, мікропроцесорні і програмні засоби вирішення складних математичних інтегродиференційних рівнянь і моделей, а також засоби автоматизованого управління технологічними процесами і електромеханічними об'єктами. Таким чином, реалізація таких підходів означала не тільки обґрунтування багатофункціональних методів і практичних задач на підставі тієї чи іншої теорії, але і осмислення в складності сукупності їх множини і взаємних впливів.

Слід відзначити, що вирішення питань наукового дослідження потребують досить великих зусиль і наполегливості в поєднанні з глибокими знаннями, чітким розумінням протікання фізичних процесів та їх взаємних впливів. Поряз наведеним дослідник повинен вміти розробляти певні методи, схеми і програми теоретичного і експериментального дослідження, а також володіти навичками систематизації, обробки та представлення отриманої інформації відповідно до певної електромеханічної системи або об'єкту. Як відзначалось раніше термін «метод» походить від сукупності грецьких слів «>» - впродовж і «>» - шлях, він означає буквально рух в напрямку правильного вибраного шляху. Тому необхідно досконало

володіти певними методами проведення дослідження в будь якій області в поєднанні із засобами, що використовуються з метою досягнення поставленої мети.

Термін «методологія» походить від грецького слова «», що означає «промова», «вчення» в нашому розумінні його слід тлумачити як вчення про методи як теорія методу. В різних сферах діяльності існують свої методи, які відрізняються від методів в інших напрямках. Тому в області використання тих чи інших методів дослідження слід розрізняти рівні і використовувати певний методологічний підхід. Виходячи з цього слід розрізняти ступінь узагальнення, теоретичного обґрунтування, використання певної термінології і фізичних законів, шляхів побудови математичних і фізичних моделей, формування технічних вимог до об'єкта, що розробляється, або функціонує при номінальних параметрах навантаження та ін. З метою більшої визначеності у використанні отриманих теоретичних результатів доцільно використовувати емпіричні залежності. Але слід відзначити, що вони відносяться до нижчого рівня методології науки не дивлячи на те, що на практиці вони використовуються в якості повної і достовірної інформації.

Науковий метод базується на знаннях відповідних закономірностей в певній предметній області дослідження. Теорія набуває не тільки методологічного характеру, а і вказує напрямок пошуку вирішення задачі, а також передбачення нового і відкриття раніше не відомих закономірностей, більш глибокої суті фізичних та інших процесів.

Наступний рівень методології полягає в розробці узагальнених методів наукового пізнання (дослідження) які можливо використовувати за межами тієї чи іншої предметної області. На підставі цього розробляються відповідні, більш удосконалені, теорії, які використовуються в якості базисних більш узагальнених між предметних напрямків. В якості прикладу можливо привести кібернетичні методи, мікропроцесорні і програмні методи дослідження, моделювання і управління, математичні методи в економіці, техніко-економічних напрямках та ін. Тому не доцільно вважати, що узагальнені методи представляють собою предмет спеціального наукового дослідження, обґрунтування і розробки теорії моделювання в математиці, фізиці, статистиці та ін.

Слід відзначити, що використання любого метода, що дозволяє досягти певної мети, базується на накопичених знаннях і результатах попередніх досліджень. Особливої ефективності набуває свідоме використання методів одного напрямку в іншому. Так, хімічний склад Сонця та окремих небесних зірок встановлено шляхом використання методу спектрального аналізу. Він дозволяє по спектральному складу випромінювання визначити певний хімічний склад. Спектральний склад трансформаторної олії дозволяє встановити не тільки наявність домішок, а і їх кількісні показники. Напрямки руху зірок визначаються шляхом використання ефекту Допплера. Періодичний закон хімічних елементів дозволив передбачити невідомі раніше елементи та синтез нових атомних ядер та елементарних частинок. Г.Ф. Гегель розглядав пізнання нового як діалектичний процес самопізнання ідеї своєї суті – процес поступово здійснюється і розвивається в історії, релігії, науці та ін. Гегель пояснював, що метод, як діалектичний рух думки, через представлення і перемагання протиріччя до абсолютного знання. Найбільш наглядно це має місце в теорії фізичної подоби електромагнітних процесів в моделі і оригіналі електромеханічних об'єктів і систем.

Теоретичною основою фізичної подоби є модельний експеримент. Вона формує умови, при яких електромеханічні системи вважаються подібними і можливість розповсюдження окремих результатів на інші об'єкти. Наприклад, аналогічні електромагнітні процеси протікають в трансформаторному обладнанні, електричних двигунах, обмежуючих реакторах, індукторах та індукційних та стетопних печах, порошкової електрометалургії та ін.

Основоположником цієї теорії можливо вважати Г.Г. Галілея. Він вперше виконав дослідження механічного руху і сформував думку про закономірність залежностей між параметрами різної фізичної природи. В сучасному тлумаченні подоба механічних систем не обмежується їх геометричною подобою (пропорційністю), а й враховує відповідні співвідношення, які пов'язують геометричні розміри, електромагнітні та механічні процеси, фізичні сталі матеріалів (опори, проникність, діелектричні властивості, умови зменшення зовнішніх впливів, обмеження електромагнітних потоків та ін.). Необхідність до фізичного моделювання спонукається низкою об'єктивних умов і особливостей об'єкту, що досліджується.

Внаслідок чого проведення прямого експерименту практично не є можливим.

Проведення фізичного моделювання доцільно виконувати в наступних випадках:

- коли об'єкт дослідження, або електромеханічна система віддалена і потребує термінової модернізації (внаслідок порушення електродинамічної стійкості, зростання втрат холостого ходу, часткових розрядів в порожнині обладнання та ін.), встановлення причин і наслідків аварій, що мали місце в минулому;

- коли об'єкт має дуже великі масо-габаритні показники, або віддалений в просторі (електрометалургійні комплекси, дослідження руху і функціонування орбітальних та інших космічних об'єктів, оборонного обладнання та ін.);

- коли об'єктом дослідження є персонал з метою забезпечення безпеки життєдіяльності і здоров'я;

- коли об'єкт дуже складний конструктивно і його прямі дослідження провести практично не можливо (електростанції, приводи прокатних станів, дугові сталетопні печі, в складі яких обов'язково використовуються електромеханічні системи).

Для модельного експерименту характерні наступні підходи:

- перехід від натурного електромеханічного об'єкта до моделі (побудова моделі, розробка певних деталей і механізмів проведення експериментального дослідження, формування умов використання отриманих результатів, систематизація та відповідність поставленій меті);

- експериментальне дослідження електромагнітних та електромеханічних процесів і фізичних явищ (проведення експериментального дослідження, формування умов використання отриманих результатів, систематизація та відповідність поставленій меті);

- перехід від моделі до об'єкту, що розробляється на підставі критеріальних співвідношень за допомогою яких отримані на моделі результати приводяться (перераховуються) до оригіналу, на підставі яких уточнюються окремі конструктивні варіанти та питання досягнення оптимального конструктивного рішення).

1.15 Теорія фізичної подоби

Теорія фізичної подоби полягає в дослідженні сукупності процесів різної фізичної природи в моделі певного електромеханічного об'єкту, які є не тільки фізично (механічно, геометрично, кінематично, або динамічно подібними) але повинні додержуватись співвідношення між певними (однаковими) параметрами. Параметри, що характеризують динаміку протікання процесів в обладнанні, що досліджується, в їх сукупності (при лінійній задачі), повинні дорівнювати одиниці. Наприклад у двох електромеханічних системах які позначимо G^o і G^m , що означає оригінал і фізична модель, відповідно, постійними подоби будуть відношення обертових швидкостей, частот збуджуючого струму, мас, геометричних розмірів та ін. При цьому ці постійні повинні знаходитись в певних закономірних співвідношеннях, виключаючи випадкову комбінацію. Такі співвідношення називають критеріями подоби. Так, критерій електромеханічної подоби зручно представити в наступному вигляді:

$$F = f l / m v^2 = \text{idem},$$

де $f = f^m / f^o$ - електромеханічні зусилля;

- $l = l^m / l^o$ - геометричні розміри;

- $m = m^m / m^o$ - маси;

- $v = v^m / v^o$ - швидкості у відповідних електромеханічних системах.

Ці критерії базуються на другому законі Ньютона, який відображає об'єктивний закон природи. Слід відзначити, що фізичне моделювання потребує дуже обережного і кваліфікованого підходу експериментального характеру. Справа в тому, що для отримання достовірної інформації необхідно використовувати певні спеціалізовані прилади та мати досить кваліфікований персонал і володіти основними положеннями метрології. В деяких випадках просто не можливо виконати фізичну модель певного оригіналу. Поряд з цим, виготовлення моделі потребує багато часу та досить великих коштів.

В теорії фізичної подоби використовуються спеціалізовані пристрої, що призначені для формування певних режимів та їх характерних рис та прилади. Пристрій, який з одного боку може

взаємодіяти з об'єктом та створювати певні випробувальні режими, а з другого допускає неточність, яка є достатньою для класичного опису певного процесу і, як наслідок, не потребує використання подальших досліджень і наглядів за процесами, що досліджуються. Необхідність враховувати різницю між вимірювальним приладом і об'єктом, що досліджується, та характером їх взаємодії призводить до певних похибок.

Відносно питання використання вимірювальних приладів в експерименті слід відзначити наступне.

По перше, не можливо ототожнювати прилад із спостерігачем, з об'єктом, що досліджується, з іншими об'єктами та системами, не дивлячи на те, що він (прилад) сконструйований для отримання пізнавальної інформації.

По друге, прилад завжди взаємодіє з об'єктом, що досліджується, тому не слід у всіх без винятку випадках відволікатися від цього. Тому на скільки питання взаємної дії впливає на отримання достовірної інформації слід враховувати конкретно, в залежності від природи, характеру і фізичної суті взаємного впливу окремих параметрів.

Наприклад, для дослідження потоків в магнітній системі використовуються електронні прилади середнього значення напруги, тому максимальне значення магнітного потоку пропорційне середньому значенню напруги, що прикладена до електромеханічної системи. Доволі часто для вирішення цього питання використовують прилади діючого або амплітудного значення. При аналізі отримані результати вимірювання не узгоджуються з отриманими на стадії проектування і інженерними розрахунками. При сталеплавильній промисловості температурні режими розплаву пропорційні активній потужності, а в електролізі – середньому значенню напруги.

Не дивлячи на те, що наука метрологія визначає і теоретично обґрунтовує поняття вимірювання і доволі чітко сформульовано, так що тільки потрібно використовувати, на практиці не все так просто. Вимірювання відноситься до кількісних методів дослідження. Їх мета полягає в тому, щоб найбільш повно відобразити в науковому дослідженні об'єктивні кількісні відношення певних фізичних величин і параметрів.

Таким чином, експеримент представляє собою одне ціле практичної дії і теоретичної дії мислення. Проведення експерименту не являється самостійною метою. Він завжди проводиться з метою

отримання пошукової інформації, встановлення певних факторів, перевірки гіпотези, пізнання фізичного процесу або шляхи вирішення певної проблеми. Мета експерименту – вирішення певних пізнавальних задач, теоретичної проблеми, пошуку відповіді на поставлені питання.

1.16 Етапи ефективності наукового дослідження

Повний цикл науково-дослідницької роботи складається з чотирьох основних етапів - від замовлення (практики) через аналіз і синтез до застосування (використання на практиці), які складаються із наступних етапів:

1. Складання завдання (Технічного завдання) и визначення умов реалізації (Технічних вимог) в яких вказуються певні режими, конкретні параметри навантаження об'єкта, допустимі перевантаження, умови роботи, вплив інших чинників та ін.

2. Аналіз методами класичної електродинаміки, що включає підрозділ вихідного завдання на елементи, які дозволяють проводити теоретичний аналіз із використанням відомих методів та спрощених розрахункових моделей.

3. Знаходження узагальненої функціональної залежності (функції, математичної моделі), що описує взаємні зв'язки між електромагнітними та електромеханічними параметрами електромеханічної системи (в динамічних і статичних станах).

4 Встановлення початкових та граничних умов в межах яких необхідно виконати дослідження.

5. Вибір постійних коефіцієнтів, при яких знайдена математична модель або функція задовольняє початковим і граничним умовам таким чином, що математично описує фізичне явище, що досліджується.

6. Знаходження напівемпіричних коефіцієнтів, які сприяють наближенню отриманих електромагнітних параметрів на математичній моделі до реального електромеханічного об'єкта.

7. Експериментальній перевірці теоретичних положень та спрощень відповідно до методів технічної електродинаміки, напівемпіричних коефіцієнтів та верифікації кінцевих результатів, що отримано.

8. Представлення отриманого математичного рішення у спрощеному вигляді, що можливе для використання на практиці (інженерні формули, графіки, залежності між окремими параметрами та ін.).

9. Синтез отриманих результатів в якому включаються: проектування, виготовлення прототипа (головного взірця) об'єкта, або пристрою, або опису практичного (інженерного) метода, або оптимізації результатів.

10. Реалізація впровадження отриманих результатів шляхом використання отриманих результатів, рекомендацій та пропозицій із одночасною оцінкою техніко-економічної ефективності та можливості використання при виконанні наступних науково-практичних завдань та досягнення більшої точності.

Кожен із приведених етапів характеризується певними характерними рисами, але при технічних дослідженнях притаманним для них є критерій ефективності проведення дослідження.

Дослідницькі роботи, як і кожна сторона технічної діяльності, повинні задовольняти принципу економічності зусиль та витрат. Проведення роботи необхідно планувати таким чином, щоб вона складала одне ціле, яке складається із можливо більш дешевих та скорочених циклів. При цьому не слід забувати про отримання достовірних результатів. Особливо доцільно не вдаватись до дуже ретельного та розширеного розгляду етапу аналізу, тому що дуже легко впасти в детальний малопродуктивний розгляд другорядних результатів, які майже не впливають на визначальні.

Таким чином доцільно дотримуватись наступної послідовності виконання наукового дослідження: -Практика→ Формування завдання → Експеримент → Аналіз → Синтез → Впровадження → Корегування → Практика → Узагальнення (наступні наближення до інших класів напруги, потужності, масо-габаритних показників та ін.). Перехід до аналізу наступного, більш вищого етапу дослідження, необхідно виконувати після апробації і детального розгляду нижчого рівня.

Рентабельність наступного удосконалення обумовлена аналізом коштів попереднього, наближеного циклу дослідження та кошторису можливого ризику (СР), який може мати місце при впровадженні наближеного рішення.

Визначальні етапи ефективності науково-практичного дослідження приведено на рис. 1.1.

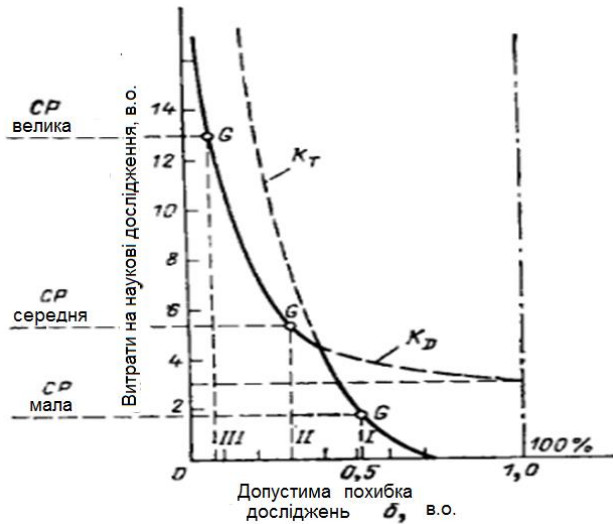


Рисунок 1.1 – Визначальні етапи ефективності наукового дослідження

Доцільно мати на увазі, що кошторис удосконалення може суттєво зростати (див.рис.1.1). При цьому, кошти при наблизненні до 100%-ної теоретичної точності зростають більше експериментального дослідження і моделювання в порівнянні із такою, що задовольняє практиці. При допустимій похибці (б) кошти (K_m) теоретичних досліджень можливо апроксимувати наступною функцією:

$$K_m = \frac{A}{\delta^2} - B \geq 0$$

При оцінюючих перерахунках із великою допустимою похибкою кошти (K_δ) приймають незначні показники. Доцільно мати на увазі, що при вирішенні більшості практичних задач, навіть чисто теоретичним шляхом і малою похибкою розрахунків, в складних електромеханічних об'єктах і обладнанні практично неможливо. Це пояснюється тим, що введення великої кількості, навіть простих, моделей призводить до досить складних та трудомістких

довгострокових розрахунків і встановити від якого параметра зростає похибка практично не можливо. Таким чином при плануванні дослідження необхідно розробити принципові основи узагальнення об'єкта, що досліджується, шляхом видалення другорядних чинників, які не суттєво впливають на функціонування об'єкта. Наприклад, при дослідженні потужного трансформатора не доцільно на першому етапі досліджувати вплив системи шунтування активних деталей та вузлів на епюри поля розсіювання у порожнині бака.

Кошторис експериментального дослідження, навіть при виконанні найпростіших етапів моделювання, потребує певних початкових витрат на обладнання, пристрої, апаратуру. Криву витрат коштів при експериментальному дослідженні можливо представити в наступному вигляді:

$$K_m = \frac{C}{\delta} + D$$

Постійні доцільно оцінити при плануванні конкретного науково-технічного завдання, або наукового дослідження. Вбачається, що при виконанні окремих практичних завдань можливо бути доцільним проведення дослідження вище границі рентабельності (G). Ця границя визначається показником (CP) (рис. 1.1). В цьому випадку кошти використовуються на перебудову невдалого, на першому етапі проектування, об'єкта. Очевидно, що витрати на дослідження повинні бути тим більші, чим тривалішими будуть дослідження (CP).

Таким чином, видно, що починаючи від деякого рівня точності визначення параметрів дослідження (біля 20 - 25%) доцільно розглядати можливість переходу теоретичного дослідження до експериментального на більш вдосконалених і тонких фізичних моделях. Перехід границі рентабельності (G) в повній мірі обумовлено при початкових дослідженнях, а також при роботах, які пов'язані із підвищенням кваліфікації наукових працівників.

Розглянувши основні терміни наукового дослідження та надавши їм певного тлумачення і визначивши визначальні етапи доцільно розглянути основні закони технічної електродинаміки. Вони базуються на законах Максвелла і використовуються при дослідженнях електромагнітних процесів в електротехнічних, електромеханічних та інших об'єктах.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

Із теоретичної точки зору у макросистемах, до яких на практиці відносяться електромеханічні об'єкти та електротехнічне обладнання, всі фізичні явища мають польовий характер. Тому основою конструкційних (інженерних) електромагнітних розрахунків являються закони макроелектродинаміки, які, в свою чергу, базуються на класичних рівняннях Максвелла. В залежності від прийнятої системи координат можливо користатись рівняннями Максвелла для систем, як нерухомих у просторі (трансформатори, реактори, перетворювачі та ін.), так і такі, що знаходяться в руховому стані (електричні двигуни, літальні об'єкти, вентилятори та ін.) із лінійною швидкістю. Тотожність таких способів розглянемо нижче.

2.1 Рівняння електродинаміки для нерухомих у просторі систем

Розглянемо визначальні рівняння електродинаміки, що використовуються для вирішення науково-практичних завдань та наукових досліджень для нерухомих у просторі систем. Для електромагнітного поля вони мають наступну форму:

$$\operatorname{rot} H = J \text{ або } \nabla \cdot H = J ; \quad (2.1)$$

$$\operatorname{rot} E = -dB/dt \text{ або } \nabla \cdot E = -dB/dt ; \quad (2.2)$$

$$\operatorname{div} B = 0 \text{ або } \nabla \cdot B = 0 ; \quad (2.3)$$

$$\operatorname{div} D \text{ або } \nabla \cdot D = p ; \quad (2.4)$$

$$B = \mu H ; \quad (2.5)$$

$$J = \gamma E + \frac{Dd}{dt} \quad (2.6)$$

Щільність енергії, (Дж/м),

$$W = \int_O^D E \cdot dD + \int_{B0}^B H \cdot dB \quad (2.7)$$

Енергія електромагнітного поля, (Дж),

$$W_m = \frac{1}{2} J \cdot A d \nabla = \frac{1}{2} L i^2 \quad (2.8)$$

Узагальнений вектор щільності потужності використовується при вирішенні задач перетворення енергії електромагнітного поля в інші види енергії - механічну, теплову, випромінювання та ін., котрі можуть бути корисними для певних технологічних процесів, побуту, (електричні машини, електроприводи, трансформатори, електротермія) або неприйнятними (втрати потужності, перегріву деталей, систем збудження електромагнітного поля (обмоток), температурні пошкодження ізоляції).

В електричних машинах і обладнанні існує необхідність одночасно досліджувати різні види енергії, тому, на підставі законів збереження енергії, а також теорем Пойнтінга і Умова розглянемо теорему про узагальнений вектор (Т) щільності відповідних фізичних полів. Повна потужність (P_u), що надходить до замкненого простору (V) із поверхнею (а) (або така, що виходить із цього простору), дорівнює інтегралу від нормальної складової узагальненого вектора щільності (Г) по всій замкненій поверхні

$$P_z = \oint_{a(V)} T \cdot da \quad (2.9)$$

де узагальнений вектор. ВА/м або Вт/м.

$$T = S + U + q_f + q_N + q_{SB} + M + E_e + I + S_{ch} + \dots \quad (2.9a)$$

При цьому $S = EH$ - вектор Пойнтінга для синусоїдального, змінюючогося в часі поля, має наступні комплексні складові:

$$\begin{aligned}
 S_x &= \frac{1}{2}(E_{my}H_{mz} - E_{mz}H_{my}) \\
 S_y &= \frac{1}{2}(E_{mz}H_{mx} - E_{mx}H_{mz}) \\
 S_t &= \frac{1}{2}(E_{nx}H_{me} - E_{my}H_{ms})
 \end{aligned} \tag{2.96}$$

де q_f, q_N, q_{SB} — вектори щільності потоку теплової потужності, що віддається безпосередньо за рахунок теплопровідності (закон Фур'є);

q_f — така, що віддається шляхом конвекції (закон Ньютона);

q_N — вектор щільності потоку теплової потужності, що віддається безпосередньо від поверхні теплового джерела шляхом випромінювання (закон Стефана — Больцмана);

M — вектор щільності потоку світлової потужності, що випромінюється із поверхні відповідного джерела;

E_e — вектор щільності потоку світлової потужності, що падає на поверхню відповідного джерела (інтенсивність поглинання);

I — вектор щільності акустичної потужності (інтенсивність звуку, шума);

q_{SB} — вектор щільності потоку електрохімічної потужності (екзо та ізо фізичні процеси).

Потужність (P_z) окрім корисної та втрат може мати складову приросту потужності, що включає потужність акумуляції (накопичення). Вона може дорівнювати приросту енергії теплової, механічної, кінетичної та потенціальної енергії, електричного та магнітного поля, електрохімічних процесів (аккумулятор, ізо та екзо термічні процеси) та простору $V(a)$ (див. електродинаміка сполучених середовищ).

2.2 Диференційні рівняння електромагнітного поля

Диференційні рівняння електромагнітного поля (2.1) - (2.7) мають відповідні рішення які базуються на перетворенні їх до форм, в якій зберігається тільки одна із величин (H) або (E). Для ізотропних ($\mu_x = \mu_y = \mu_z = \mu; e_x = e_y = e_z = e; \gamma_x = \gamma_y = \gamma_z = \gamma$ та лінійних ($n=\text{const}; e=\text{const}; Y=\text{const}$) середовищ перше рівняння Макс-

велла (2.1) можливо перетворити шляхом підстановки (2.2) до наступної форми:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} H = (\gamma + \varepsilon \frac{\partial}{\partial t}) \operatorname{rot} E = -\mu \gamma \frac{dH}{dy} - \frac{d^2 H}{dt^2} \quad (2.10)$$

Враховуючи тотожність векторної операції, а також відсутність сторонніх джерел на шляху (епюрах) поля (2.5), отримуємо диференційне рівняння в часткових похідних, що описує магнітне поле у неідеальному діелектрику (Ізоляції електричних машин і обладнання та ін.),

$$\nabla^2 H = \mu \gamma \frac{dH}{dy} - \mu \varepsilon \frac{d^2 H}{dt^2} \quad (2.11)$$

Це диференційне рівняння набуває особливого значення при дослідженні електромагнітних процесів в електротехнічному обладнанні та електромеханічних системах. Така увага полягає в тому, що перша складова представляє собою струм провідності (номінальні в системах збудження електромагнітного поля (обмотках) обладнання), а друге – струм зміщення, що має місце у діелектриках (ізоляції). Аналогічно можливо отримати диференційне рівняння для інтенсивності електричного поля при відсутності вільних зарядів на шляху його розповсюдження ($\operatorname{div} D = 0$). Оскільки в промисловості і повсякденному побуті мають місце різні струми, яким притаманні свої характерні риси, то для синусоїдального магнітного і електричного поля можливо скористатись наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} H_m &= H_m e^{f\omega t}; \\ H_m &= |H_m| e^{f\varphi H}; \\ E_m &= E_m e^{f\omega t}; \\ E_m &= |E_m| e^{f\varphi H}. \end{aligned} \quad (2.11a)$$

В поєднанні із (2.8) та (2.10).

У лінійних середовищах, для провідників щільністю струмів зміщення ($\frac{dD}{dt}$) можливо (в залежності від потрібної точності) знехтувати в порівнянні із щільністю струмів провідимості (γE), і тоді при додержанні умови $\mu = \text{const}$ и $\epsilon = \text{const}$ рівняння (2.8) та (2.9) перетворюються до наступної операторної форми:

$$\begin{aligned}\nabla^2 &= \frac{\mu \gamma d}{dt}; \\ \nabla^2 E &= \frac{\mu \gamma dH}{dt};\end{aligned}\quad (2.12)$$

Доцільно відзначити, що рівняння (2.12) одночасно описує дифузію поля в провіднику в динамічних режимах, тому їх іноді називають дифузійними рівняннями.

Для синусоїдального поля (2.11a) рівняння (2.12) можливо представити в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}\nabla^2 &= a H_m^2; \\ E_m &= a^2 E_m,\end{aligned}\quad (2.13)$$

при цьому

$$a = \sqrt{j\omega\mu\gamma} = (1+j)k = \sqrt{2}ke^{\frac{x}{4}}\quad (2.14)$$

Рішення (2.13) для плоскої поляризованої хвилі електромагнітного поля для рішення науково-практичних задач зручно використовувати в наступному представленні:

$$H_m = A_1 e^{az} + A_2 e^{-az}\quad (2.15)$$

Оскільки електротехнічне обладнання та складні електромеханічні системи представляють собою певні конструктивні об'єкти які укомплектовані певними вузлами та активними деталями, що, в свою

чергу, складаються із провідникових (конструкційна і електротехнічна сталь, мідні і алюмінієві обмоточні провідники) та ізоляційних (ізоляція, пресуючі вузли, трансформаторна олія, повітря) матеріалів, то доцільно розглянути конкретні електромагнітні процеси.

Необхідно відзначити, що для вирішення науково-практичного завдання важливим є представлення (в голові дослідника) певної конструкції обладнання та динаміки протікання фізичних процесів і їх взаємного впливу.

2.3 Формування додаткових втрат в електротехнічному обладнанні

В активних деталях конструкції електротехнічного обладнання формуються так звані «додаткові втрати» електричної енергії. Розглянемо яким чином формуються додаткові втрати електричної енергії в деталях конструкції електротехнічного обладнання. При цьому доцільно відзначити, що в електротехнічному обладнанні розглядаються електромагнітні поля, що змінюються в часі по синусоїдальному закону. На практиці мають місце збуджуючі струми, що змінюються в часі по різкозмінним законам, які доволі часто суттєво відрізняються від синусоїдальних. Це призводить до суттєвих похибок при отриманні результатів дослідження додаткових втрат. Тому, при вирішенні таких завдань на першому етапі доцільно обмежитись зпрощеними моделями, а потім врахувати вплив інших чинників. Розглянемо фізичний процес формування додаткових втрат.

При падінні електромагнітного поля ($H(z \rightarrow \infty) \neq \infty$) на металеві конструкції в нормальному напрямку вона поступово (рис.2.1.) затухає і змінюється по величині відповідно до наступного закону: (яке можливо отримати шляхом перетворення (2.15)

$$\begin{aligned} H_m &= H_{ms} e^{-az}; \\ E_m &= \frac{a}{\gamma} H_{ms} e^{-az}; \\ J_m &= a H_{ms} e^{-az}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

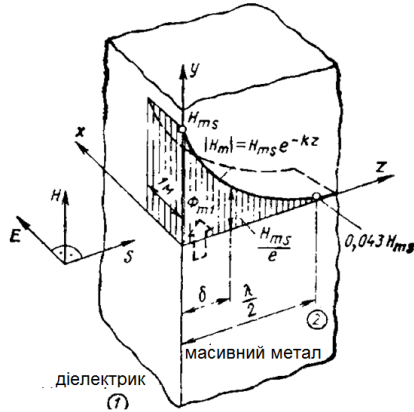


Рисунок 2.1 – Проникнення плоскої електромагнітної хвилі в провідниковий (металевий) напівпростір

Потік на одиницю довжини (Вб/м) металевої конструкції розраховується шляхом врахування магнітної проникності і електричної провідності і представляється у вигляді наступного рівняння:

$$\Phi_{mx} = \int_0^{\infty} \mu H_{ms} e^{-az} dz = \frac{\mu}{a} H_{ms} (1-j) \sqrt{\frac{\mu}{2\omega\gamma}} H_{ms} \quad (2.17)$$

в поєднанні із

$$H_{ms} = (1+j) \sqrt{\frac{\omega\gamma}{2\mu}} \Phi_{m1} \quad (2.18)$$

Оскільки електромагнітні процеси в металі відбуваються в тонкій поверхневій області, то при дослідженні використовується термін «поверхневий напівпростір». Потужність, що формується в металевому напівпросторі (процес розглядається в межах ізоляційного (повітря) та провідникового (металевому) простору, скориставшись теоремою Пойнтинга, отримуємо

$$p = \oint_a S da \quad \text{або} \quad P_z = \oint_a P + jQ = S da, \quad (2.19)$$

При цьому для синусоїдальної плоскої хвилі вектор Пойнтинга доцільно представити в зручному, для використання в інженерних розрахунках, вигляді

$$S_z(z) = \frac{1}{2} (E_{mx} H_{my}) = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu}{2\gamma}} \frac{|H_{ms}|^2}{2} e^{-zkz} \quad (1.20)$$

Звідки видно, що при ($z=0$) вектор представляє щільність повної потужності, ($\frac{BA}{i^2}$), що надходить до напівпростору від системи збудження електромагнітного поля,

$$S_z = P_1 + jQ_1 = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu}{2\gamma}} \frac{|H_{ms}|^2}{2} \quad (2.21)$$

У такому вигляді рівняння (2.21) відображає проникнення електромагнітної хвилі до нескінченно малих значень, які приймають дуже малі чисельні значення в порівнянні з такими, що на поверхні. Як правило, ними нехтують. Тому на практиці і в наукових дослідженнях використовується поняття «еквівалентної глибини проникнення електромагнітного поля». Еквівалентна глибина проникнення електромагнітного поля в провідниковий напівпростір характеризується тим, що амплітуда поля (H_m) зменшується в нормальному напрямку в (e) раз, Глибина проникнення електромагнітного поля в металевий напівпростір розраховується за наступним рівнянням:

$$\delta = \frac{1}{k} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} \quad (2.22)$$

Таким чином еквівалентна глибина проникнення електромагнітного поля в провідниковий напівпростір представляє собою певну товщину поверхневого шар (слоя). Цей напівпростір має наступне фізичне тлумачення - для постійного струму він представляє собою такий опір (R_1) який має місце у провіднику для змінного струму внаслідок прояву поверхневого ефекта. На практиці і

в інженерних розрахунках такий фізичний процес називають «настилом потоку» маючи на увазі, що магнітний потік протікає в тонкому поверхневому металевому напівпросторі, а не по товщі металу.

Максимальне значення струму в провідниковому напівпросторі, що приходить на 1 м довжини, називають в електричних машинах лінійним навантаженням (A_r) або поверхневою лінійною щільністю (J_r) поверхневого струму, який можливо представити у формі, аналогічній (2.17)

$$I_m = A_m = J_{m\text{нов}} = \int_0^{\infty} J_{ms} e^{-az} dz = \frac{J_{ms}}{a} = (1-j) \frac{J_{ms}}{2} \delta$$

Або

$$|I_m| = |A_m| = |J_{m\text{нов}}| = \frac{J_{ms}}{\sqrt{2}} \delta \quad (2.23)$$

Таким чином, можливо вважати, що у певному слої (б) щільність струму постійна і її максимальне значення визначається виразом

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}} J_{ms} \right).$$

Аналогічно можливо розглядати фізичну величину металевого напівпростору для одиничного потоку ($|\Phi_{m1}|$) (2.17), а також потоку

($|\Phi_m| = \frac{B_z}{\sqrt{2}} \delta$) враховуючи, що індукція в слої (б) постійна і

складає значення, що задовольняє умові ($\frac{1}{\sqrt{2}} B_{ms}$).

Комплексний одиничний магнітний опір, (Γ_n^{-1}), що приходить на 1м в напрямку осей (x) і (y), (Ом.) (див. рис. 2.1.), для магнітного потоку (Φ_{m1}) визначається наступним рівнянням:

$$R_{\mu l z} = \frac{H_{ms}}{\Phi_{m1}} = R_{\mu 1} + jR_{\mu 1 b} = (1 - j) \frac{1}{\mu \delta}$$

де $R_{\mu 1}$ означає магнітний опір провідникового матеріалу;

$R_{\mu 1 b}$ обумовлено дією (впливом, реакцією) вихрових струмів.

Одиничний опір (Ом) для струму (I_{m1}) доцільно використовувати у наступному представленні:

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = Z \frac{E_{ms}}{H_{ms}} = \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{1 + j}{\gamma \delta} \quad (2.24)$$

Повний опір (Z_1) представляє собою також і хвильовий опір, який доцільно використовувати при наукових дослідженнях і інженерних розрахунках у наступній формі:

$$Z_{mem} = \frac{E_m}{H_m} = \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{1 + j}{\gamma \delta} = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu}{2\gamma}} = \sqrt{\frac{\omega \mu}{\gamma}} e^{j\frac{\pi}{4}} \quad (2.25)$$

Довжину хвилі в металевих конструкціях зручно розраховувати скориставшись наступними співвідношеннями:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \delta = 2\pi \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} = 2\sqrt{\frac{\pi}{f \mu \gamma}} \quad (2.26)$$

Швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі у металевих конструкціях доцільно знаходити і досліджувати відповідно наступному рівнянню:

$$v = \lambda f = \frac{\omega}{k} = \omega \delta = 2\pi \sqrt{\frac{2}{\mu \gamma}} = 2\sqrt{\frac{\pi f}{\mu \gamma}} \quad (2.27)$$

Таким чином можливо досліджувати швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі у металевих конструкціях в залежності від частоти, магнітної проникності та електричної провідності.

2.4 Електромагнітні процеси в діелектриках

В електричних машинах діелектрики використовуються з метою ізоляції активних вузлів і активних деталей конструкції. На практиці в якості діелектриків використовується паперова ізоляція, трансформаторна олія та ін. Для діелектриків ($\gamma=0$) із (2.8) та (2.9) отримуємо наступні хвильові рівняння:

$$\begin{aligned}\nabla^2 H &= \frac{1}{\nu^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}, \\ \nabla^2 E &= \frac{1}{\nu^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}\end{aligned}\quad (2.28)$$

при цьому швидкість електромагнітної хвилі в діелектриках і в повітрі відповідно дорівнюють одне одному.

$$\begin{aligned}\nu &= \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \\ \nu &= c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\end{aligned}\quad (2.29)$$

Повний хвильовий опір в діелектриках визначається рівнянням

$$Z = \frac{E_{na\partial}}{H_{na\partial}} = \frac{E_{omp}}{H_{omp}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \mu\nu. \quad (2.30)$$

Для повітря

$$Z_{\text{воз}} = \sqrt{\frac{\omega_0}{\varepsilon_0}} = 377 \text{ Ом};$$

$$\text{для трансформаторної олії } Z_{mac} = 243 \text{ Ом} \quad (2.31)$$

Довжина хвилі в повітрі при промисловій частоті $f = 50$ Гц дорівнює

$$\lambda_{50} = \frac{c}{f} = 6000 \text{ км.} \quad (2.32)$$

Таким чином, діелектрики сприяють певному електромагнітному розмежуванню активних та неактивних деталей та вузлів в просторі (габаритах) певного електротехнічного обладнання в залежності від класу напруги відповідно до вимог Державних стандартів та нормативно-технічної документації.

2.5 Векторний потенціал

Векторний потенціал використовується при дослідженнях електромагнітного поля в просторі електротехнічного обладнання різного призначення. Всі види електромагнітних полів можливо досліджувати скориставшись наступним рівнянням магнітного векторного потенціалу:

$$B = \text{rot} A \quad (2.33)$$

Тоді, для миттєвих значень полів, що змінюються в часі по періодичному синусоїдальному закону електричне поле визначається наступними рівняннями:

$$E = -\frac{dA}{dt} - \text{grad} V ;$$

$$E_m = -j\omega A_m, \quad (2.34)$$

Приймаючи до уваги, що $\text{div} A = 0$, можливо визначити значення векторного потенціалу в обладнанні в залежності від магнітної

проникності матеріалів, які використано при виготовленні скориставшись наступною формулою:

$$\Delta A = -\mu J (J = \nabla E) ; \quad (2.35)$$

$$\Delta A = \mu \frac{dA}{dt}$$

Або
$$\Delta A_m = a^2 A_m - \mu J_{cm} , \quad (2.36)$$

а також

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{J dV}{r} ,$$

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{J_{cm} e^{-ar}}{r} dV ,$$

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \oint_i \frac{idl}{r} \quad (2.37)$$

де J_{cm} - щільність стороннього струму;

Γ – відстань від елемента dV провідника із струмом до точки, в якій визначається векторний потенціал A .

Векторний потенціал може складатись із дуже складних рівнянь в залежності від необхідності врахування взаємного впливу окремих деталей та комплектуючих, схем магнітного шунтування активних деталей та вузлів та ін.

При дослідженні електромагнітних процесів доцільно враховувати механізм створення (збудження) електромагнітного поля та його розповсюдження (епюр) в просторі обладнання. Так, наприклад, в електричних машинах слід розглядати бігуче електромагнітне поле на відзнаку від такого, що має місце в потужних трансформаторах. У високочастотних та імпульсних трансформаторах розрахункові формули набувають більш складної форми. В таких

випадках доцільно скористатись відповідними математичними моделями з врахуванням специфіки протікання фізичних процесів.

2.6 Рівняння електродинаміки для повільно рухливих фізичних тіл

Нагадаємо, що повільно рухливі середовища характеризуються умовою ($u \ll c$ (світло)). Якщо система координат, яка пов'язана із спостерігачем, розміщена таким чином, що проходить відносно руху фізичного тіла, що досліджується із швидкістю (v) відносно початкової системи координат (рис.2.2), то в кожній точці (x, y, z) всередині тіла, що досліджується, індукція (D) або (B) буде функцією координат (x, y, z) цієї точки, а також часу (t).

Для електричного поля (рис. 2.2) в правій частині рівняння (2.8) знаходиться величина ($D=D(x,y,z,t)$), при цьому внаслідок переміщення положення точки, що розглядається, в часі вона (D) відповідно змінюється т.ч. ($x=x(t); y=y(t); z=z(t)$). Приватну похідну ($\frac{dD}{dt}$) в (2.8) доцільно, в такому випадку, замінити повною похідною складної функції

$$\frac{dD(x,y,z,t)}{dt} = \frac{dD}{dx} \frac{dx}{dt} + \frac{dD}{dy} \frac{dy}{dt} + \frac{dD}{dz} \frac{dz}{dt} + \frac{dD}{dt} \quad (2.38)$$

Співмножники $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$ являються відповідними

векторами швидкості тіла $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$ - тому вони є складовими оператора grad.

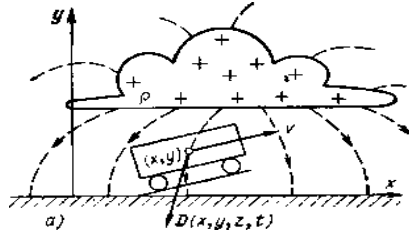


Рисунок 2.2 – Рух фізичного тіла із швидкістю в електричному полі
(ρ – щільність заряду)

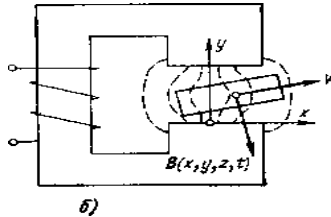


Рисунок 2.3 – Рух фізичного тіла із швидкістю в магнітному полі
(ρ – щільність заряду)

На підставі (2.38) швидкість руху можливо записати у наступному вигляді:

$$\frac{dD}{dt} = (v \cdot \text{grad})D + \frac{dD}{dt} \quad (2.39)$$

Із тотожності векторного числення маємо

$$\text{rot}(vD) = v \text{div} D - D \text{div} v + (D \text{grad})v - (v \text{grad})D \quad (2.40)$$

И в результаті отримуємо

$$(v \text{grad})D = v \text{div} D - \text{rot}(vD) - D \text{div} v + (D \text{grad})v$$

Приймаючи до уваги (2.6), а також

$$\text{div} v = 0,$$

та

$$\frac{d}{dx} = \frac{d}{dy} = \frac{d}{dz} = 0$$

Отримуємо

$$\frac{d}{dt} D(x, y, z, t) = \nu \rho + \text{rot}(D\nu) + \frac{dD}{dt} \quad (2.41)$$

Для магнітного поля відповідно до (рис. 2.3) аналогічно попередньому випадку, вводячи в (2.4) функцію $B = B(x, y, z, t)$ отримуємо відповідне рівняння, яке є аналогічним (2.40). Враховуючи (2.5), отримуємо

$$\frac{d}{dt} B(x, y, z, t) = \frac{dB}{dt} + \text{rot}(B \cdot \nu) \quad (2.42)$$

Якщо поле не змінюється в часі ($dB/dt=0$), то із (2.42) та (2.4) отримуємо

$$\text{rot}E = -\text{rot}(B\nu) \text{ или } E = B\nu - \text{grad}v \quad (2.43)$$

(оскільки $\text{rot grad } U = 0$.)

Якщо потенціалне поле відсутнє ($V=0$), то

$$E = B\nu \text{ або } J = \gamma(\nu B). \quad (2.44)$$

Загальні рівняння електродинаміки для фізичних тіл, що знаходяться в русі із швидкістю ($V \leq C$), приймають наступну форму запису:

$$J = \gamma E + \frac{Dd}{dt}$$

$$\operatorname{rot} H = J ; \quad (2.45)$$

$$\operatorname{rot} E = -dB/dt - \operatorname{rot}(Bv) ; \quad (2.46)$$

$$\operatorname{div} B = 0 ; \quad (2.47)$$

$$\operatorname{div} D \geq p ; \quad (2.48)$$

$$B = | \mu D | = \varepsilon E \quad (2.49)$$

$$J = \gamma E + \frac{dD}{dt} + J_{cm} + \rho v + \operatorname{rot}(D \cdot v) \quad (2.50)$$

При наукових дослідженнях доцільно звернути увагу на те, що в (2.50) входять складові (γE – щільність струму провідності, який індуктується в середовищі, що досліджується, внаслідок змінення індукції в часі та безпосереднього руху тіла в магнітному полі. Якщо розділити цей струм на струм трансформації та струм обертовий то отримуємо аналітичний зв'язок між електричним полем і індукцією

$$\operatorname{rot} E = -\frac{dB}{dt}$$

$$J = (\gamma E + \frac{dD}{dt} + \gamma B) + J_{cm} + \rho v + (\operatorname{rot} Dv) \quad (2.51)$$

де $\frac{dD}{dt}$ - щільність струму діелектричного зміщення;

$\gamma(vB)$ - щільність струму провідності, що індуктується у провідниковому середовищі, яке переміщується в просторі із швидкістю (v) відносно початкової системи координат (наприклад, відносно індукції (B);

$J_{cm} = \gamma E_{cm}$ - щільність стороннього струму, що підводиться зовні (струм в системі збудження електромагнітного поля

електротехнічного обладнання) або обумовлено сторонніми електрорухливими силами неелектромагнітного походження (ЕДС термоелектричні, дифузійні, ефект Холла, трансформації та ін.);

$pv = v \operatorname{div} D$ - щільність струму конвенкції, та обумовленого переміщенням електричного поля або поляризованого діелектрика (рис. 2.2).

2.7 Інженерні методи ліанеризації

Висока точність аналітичних розрахунків рівнянь технічної електродинаміки доволі часто на практиці вбачається економічно не доцільною та не доцільною внаслідок того, похибки розрахунків не перевищують похибок, що мають місце на практиці (необґрунтовано). Тому, як правило, вводяться певні зпрощення та використовуються наближенні методи і напівемпіричні коефіцієнти. До них відносяться зменшення кількості координат (Циліндрична та просторова замінюється плоскою декартовою) числа координат, заміна сферичних або циліндричних систем координат лінійними системами, кусковою ліанеризацією магнітної проникності конструкційної тв. електротехнічної сталі, визначення граничних умов на підставі метода зеркальних відображень, апроксимації значно простішими функціональними залежностями, напівемпіричними корегуючими коефіцієнтами, чисельні методи, моделювання в електролітичних ваннах та напівпровідниковому папері, методи симуляції (комп'ютерні), та ін.

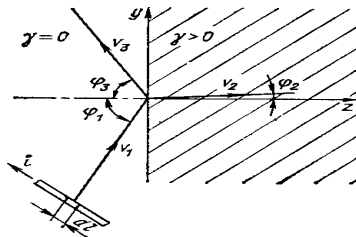


Рисунок 2.4 – Проникнення і відображення електромагнітної хвилі від поверхні металевого фізичного тіла

Зменшення кількості координат та заміна циліндричної системи координат лінійною системою використовуються з метою зпрощення

науково-практичного завдання, скорочення термінів проектування та розробки електротехнічного обладнання. При цьому необхідною умовою є додержання достовірності отриманих результатів. Якщо електромагнітна хвиля, що падає під кутом (φ_1) (рис. 2.4) на металеву поверхню, проникає в середину під кутом (φ_2), то її можливо описати наступним рівнянням:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (2.52)$$

Приймаючи $v_1 = C$ і $v_2 = v_{fe}$, то при промисловій частоті 50 Гц, $\gamma = 7 \cdot 10^6$ См/м, згідно приведеним вище дослідженням, складає 10^9 . Це означає, що незалежно від кута падіння із сторони діелектрика електромагнітна хвиля в металі практично завжди розповсюджується перпендикулярно до поверхні.

В металі плоска синусоїдальна хвиля змінюється згідно як показано на (рис.2.4). Аналіз показує, що уже на глибині ($\frac{\lambda}{4}$) потужність електромагнітної хвилі (1.20) зменшується до 4,3, а на глибині ($\frac{\lambda}{2}$) - до 0,185% відносно поверхневого значення. Таким чином, коли товщина і радіус кривизни масивного металевго елемента більші в порівнянні із ($\frac{\lambda}{2}$), то такий елемент можливо розглядати в якості металевго напівпростору, на поверхню якого падає плоска хвиля в перпендикулярному напрямку (див. рис. 2.1).

Лінеаризація магнітної проникності сталі широко використовується при інженерних розрахунках та проектуванні електротехнічного обладнання. Точний розрахунок електромагнітного поля в сталених тілах ускладнюється внаслідок нелінійної характеристики намагнічування електротехнічної сталі. В конструкційних сталях має місце нелінійна залежність магнітної проникності від магнітного поля.

Для масивних сталених елементів можливо використати в першому наближенні рівняння лінійної теорії шляхом використання напівемпіричних коефіцієнтів.

$$\mu_p = a_p^2 \mu_s (a_p = 1.3 - 1.5 \approx 1.4) \quad (2.53)$$

для комплексної частини

$$\mu_p = a_p^2 \mu_s (a_p = 0.8 - 0.9 \approx 0.85) \quad (2.54)$$

З метою отримання наближених аналітичних рішень можливо скористатись одним із множини методів, що опубліковані в наукових періодичних джерелах. В якості прикладу розглянемо апроксимуючі вирази по Нейману.

$$\begin{aligned} B_m &= cH^{\frac{1}{n^m}} \\ cH_m^{1-n} &= cH_m^n \end{aligned} \quad (2.55)$$

де c — коефіцієнт, що визначається в залежності від конкретних кривих намагнічування сталі.

При цьому, показник ступення (n) приймає різні значення для індукції (B), що перевищують значення допустимі. Можливо використовувати наступне рівняння:

$$\sqrt{\mu_r} H^2 = c_1 H + c_2 H^2 \quad (2.56)$$

Для конструкційної сталі при $0 \leq H \leq 180 \cdot 10^2 \text{ А/м}$

$$\frac{l}{VT} = A_l = A_t V^{H_t} \quad (2.57)$$

Для конструкційної сталі в межах $50 \text{ А/м} < H < 200 \cdot 10^2 \text{ А/м}$

$$A_1 = 14 \left(\frac{A}{mT} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad A_2 = 0,13 T^{-1}$$

Таблиця 2.1 – Показники степенів в рівняннях апроксимуючих магнітну проникність сталей

Сорт сталі	Слабі поля		Сильні поля	
	B , Тл, менше	n	B , Тл, більше	n
Пермалой	0,35	0,32	0,7	20
Електролітичне залізо	0,55	0,45	1,3	14
Трансформа-торна сталь	0,90	0,55	1,2	10
Мяка сталь	0,60	0,55	1,3	9,5
Тверда сталь	0,90	0,68	1.1	7,5

Для конструкційних сталей при оціночних інженерних розрахунках

$$H = c(\sqrt{\mu_r H})^n, \quad (2.58)$$

де $c = 1,05 \cdot 10^{-2}$, $\sqrt[n]{\frac{m}{A}}$, $n = 1,77$

Останнім часом отримано велику кількість аналітичних залежностей, використання яких залежить від необхідної точності отриманих результатів та конкретики задачі, що вирішується.

При більш досконалому дослідженні доцільно скористатись працями [6 - 15] викладачів кафедри «Електропривод і автоматизація промислових установок» НУ «Запорізька політехніка»/

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сиротин Н.Н., Коровкин Ю.М. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа/ Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
3. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовича и И. Стигана. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1979. – 832 с.
4. Bouraou N., Marchuk P., Tyapchenko A. Condition Monitoring Diagnosis Method of Aircraft Engine Rotating Details // 15th World Conf. On Non-Destructive Testing, Rome, 15 – 21 Octob. 2000. – Italy: IC NDT, 2000. – P.27.
5. Авдудевский, Б.В. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Текст / Ред. сов. Б.В. Авдудевский В.С., Гнеденко и др. Текст / Математические методы в теории надежности и эффективности. Под ред. Б.В. Гнеденко. // - М.: Машиностроение, 1987. т.2– 280 с.
6. Zinovkin V. Research of electromagnetic parameters of complex electromechanical system under hardly varying loads Variable Load / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 267-272, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160022.
7. Zinovkin v.v. research of the non-sinusoidal loads impact on the operability of tap-changers contacts / V.V.Zinovkin, O.V. Blyzniakov // Електротехніка та електроенергетика. науковий журнал. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – № 2. – С. 41- 43.
8. Зиновкин В.В. Исследование влияния искажений статорного напряжения асинхронного электропривода с выходными силовыми фильтрами / В.В. Зиновкин, В.И. Бондаренко, А.В. Соломаха // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15., Т.2. – 382 с. – С.37-45.
9. Зиновкин, В.В. Исследование условий сходимости оптимизационного функционала многопараметрического технологического процесса приготовления магнетитовых огнеупорных изделий / В.В. Зиновкин , В.О. Мирный //

Радиоелектроника, інформатика, управління. ЗНТУ: - Запоріжжя, 2015 - №3(34) - С.88-95.

10. Zinovkin V. Research of non-stationary electromagnetic processes in synchronous electric drive / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan // "2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, 2017, pp. 148-151, doi: 10.1109/MEES.2017.8248874.

11. Zinovkin V., "Physical simulation of electromagnetic phenomena in transformer equipment under strongly varying loads," / V. Zinovkin, , O. Blyzniakov and J. Vasilieva //2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, 2017, pp. 312-315. doi: 10.1109/MEES.2017.8248919.

12. Zinovkin V., Blyzniakov O., Vasilieva Je. Non-stationary Electromagnetic Processes in power-Intensive Electrical Facilities with Highly Varying Loads / V. Zinovkin, , O. Blyzniakov and J. Vasilieva //2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), September 23-25, 2019 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, pp. 362-365. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896620.

13. Zinovkin V/ Simulation of Static Stability of Synchronous Electric Drive at Hardly Variable Load / V. Zinovkin, M.Antonov, I. Krysan //2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), September 23-25, 2019 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, pp. 86 - 89. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896368.

14. Zinovkin V. Research of electromagnetic parameters of complex electromechanical system under hardly varying loadsVariable Load / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan, 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 267-272, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160022.

15. Zinovkin V.V. Research of the non-sinusoidal loads impact on the operability of tap-changers contacts / V.V.Zinovkin, O.V. Blyzniakov // Електротехніка та електроенергетика. науковий журнал. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – № 2. – С