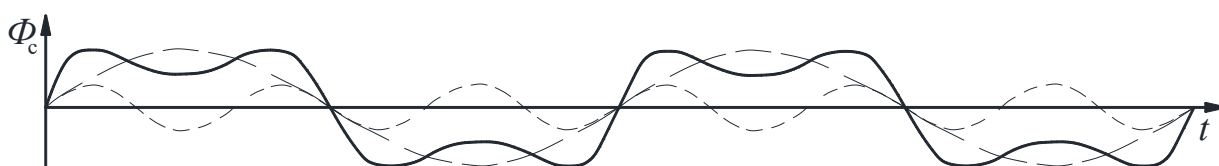


А. А. Ставинський, Р. А. Ставинський, О. А. Авдєєва, О. М. Циганов

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ВИНАХІДНИЦЬКИХ, ПОЛЬОВИХ ТА ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

МОНОГРАФІЯ



МИКОЛАЇВ 2025

УДК 621.3:001.89:167

C77

Авторський колектив:

А. А. Ставинський, Р. А. Ставинський, О. А. Авдєєва, О. М. Циганов.

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету протокол № 4 від "18" 04 2025р.

Редактор:

Ставинський А.А. – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти:

Вовченко А.І. – д-р техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки, член-кореспондент НАН України, директор Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України.

Рябенський В.М. – д-р техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри електроніки, електротехніки та телекомунікацій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Ставинський А. А., Ставинський Р. А., Авдєєва О. А., Циганов О. М.

C77 Основи наукових досліджень і приклади рішення винахідницьких, польових та оптимізаційних задач електромеханіки : монографія / за ред. А. А. Ставинського. Миколаїв : МНАУ, 2025. 135 с.

В монографії викладено загальні основи постановки і вимог виконання наукових досліджень, а також приклади та пропозиції інноваційного рішення деяких проблемних питань електромеханіки. Наведено теоретичні основи і приклади польових електромагнітних розрахунків та структурно-параметричної оптимізації трансформаторів, реакторів і асинхронних двигунів.

УДК 621.3:001.89:167

© Миколаївський національний аграрний університет, 2025

© А. А. Ставинський, Р. А. Ставинський,
О. А. Авдєєва, О. М. Циганов, 2025

ЗМІСТ

УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ.....	9
ВСТУП.....	10
Частина перша	
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1. НАУКА І ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС	
1.1. Основні ознаки, головна функція науки і значення науково-технічної творчості.....	12
1.2. Наукові поняття і термінологія.....	13
1.3. Закономірності і тенденції історичного розвитку техніки та електромеханіки	15
1.4. Основні можливості підвищення ефективності науки і науково-технічного прогресу, науково-інженерне мислення.....	18
2. КВАЛІФІКАЦІЙНІ І ЯКІСНІ ОЗНАКИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1. Різновиди і особливості дослідницьких задач	20
2.2. Різновиди і аналіз науково-технічної інформації, формулювання теми наукового дослідження.....	22
2.3. Перспективність, мета, новизна і достовірність наукових результатів.....	25
2.4. Вимоги до назви, вступу і поняття об'єкту та предмету дослідження.....	27
3. ЗМІСТ СКЛАДОВИХ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	
3.1. Структура вступу.....	29
3.2. Аналіз стану об'єкта, постановка і визначення методів рішення задачі дослідження.....	30
3.3. Композиція основного змісту наукового звіту (дисертації).....	32
3.4. Обґрунтування головного результату та вимоги до висновків роботи	33
4. ЕФЕКТИВНІСТЬ І МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
4.1. Втілення і критерії ефективності наукових досліджень.....	36
4.2. Шляхи підвищення результативності і визначення ефекту використання наукових розробок.....	38
4.3. Загальні прийоми, стадії і методи творчого процесу.....	39
4.4. Способи спрощення рішень складних задач і методологія моделювання.....	42

5. ВИКОНАННЯ ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
5.1. Особливості теоретичних досліджень.....	45
5.2. Методологія експериментальних досліджень.....	46
5.3. Основні сучасні методи прикладних досліджень.....	47
5.4. Методологія планування експерименту.....	49
6. ЕВОЛЮЦІЯ І ФАКТОРИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	
6.1. Ієрархія розвитку технічних об'єктів.....	52
6.2. Критерії і умови розвитку технічних об'єктів.....	54
6.3. Показники якості і перелік недоліків технічного об'єкту.....	55
6.4. Ретроспективний аналіз закономірностей розвитку і ієрархічний опис інноваційного об'єкту.....	56
7. НАУКОВО-ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧІСТЬ	
7.1. Патентування інноваційних досліджень.....	58
7.2. Постановка творчої інженерної задачі і визначення аналогів її рішення.....	59
7.3. Формулювання поняття ідеального технічного рішення.....	60
7.4. Евристичні та інші прийоми рішення наукової задачі.....	62
8. МЕТОДОЛОГІЯ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	
8.1. Значимість математичного моделювання і оптимізаційних розрахунків технічних об'єктів і систем.....	65
8.2. Загальне уявлення оптимізаційного проектування технічних об'єктів і систем.....	66
8.3. Задачі параметричної і структурно-параметричної оптимізацій...	68
8.4. Пошук глобального екстремуму.....	71
9. ПОСТАНОВКА І АНАЛІЗ ЗАДАЧІ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ	
9.1. Психологічні і пізнавальні аспекти інноваційного синтезу.....	74
9.2. Застосування системної методології дослідження.....	75
9.3. Системне обрання глобально-оптимального конструкторсько-технологічного рішення.....	77
9.4. Функціонально-вартісний аналіз.....	78
10. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ І РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	
10.1. Різновиди і специфіка виконання рухомих та статичних електромашин.....	81
10.2. Ознаки структурно-геометричних класифікацій електромагнітних систем з рухомими і статичними елементами.....	84
10.3. Способи і напрямки подальшої еволюції пристроїв електромеханіки.....	90

10.4. Сучасні вимоги і проблеми підвищення енергоефективності основних пристроїв споживання та розподілу електроенергії.....	95
Частина друга	
ІННОВАЦІЙНІ І РОЗРАХУНКОВІ ЗАСОБИ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ (ПРАГНЕННЯ, СПРОБИ, МОЖЛИВОСТІ)	
11. НАМАГАННЯ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ І ПИТОМОЇ МЕТАЛОЄМНОСТІ ЕЛЕКТРОМАШИН ЗМІННОГО СТРУМУ	
11.1. Проблема і історичні намагання зниження відходів електротехнічної сталі виробництва магнітопроводів.....	99
11.2. Безкорпусні виконання статорів з переривчастими ребрами аксіально-тангенціального охолодження	107
11.3. Безкорпусне виконання статора з багатоплощинним магнітопроводом.....	113
11.4. Вплив форми активної поверхні і розташування ротора на використання активного об'єму та частоту власних коливань статора і удосконалення двигунів аксіально-торцевого та оберненого виконань.....	118
ЛІТЕРАТУРА.....	

УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

АД – асинхронний двигун
ЕТС – електротехнічна сталь
ТТ – трифазний трансформатор
ТО – технічний об'єкт
ЕМС – електромагнітна система
ФПД – фізичний принцип дії
ТР – технічне рішення
ММ – математична модель
НДР – науково-дослідна робота
ДКР – дослідно-конструкторська робота
ПТР – показник технічного рівня
ТФ – технічна функція
ФС – функціональна структура
СПО – структурно-параметрична оптимізація
ЦФ – цільова функція
КЗ – керована змінна
ЕМ – електрична машина
ФВА – функціонально-вартісний аналіз
УП – утворюючі поверхні
УК – утворюючий контур
ТАД – торцевий асинхронний двигун
АДК – асинхронний двигун класичного виконання
АДЗР – асинхронний двигун з зовнішнім ротором
ККД – коефіцієнт корисної дії
ЕМН – електромагнітні навантаження
ВАХ – віброакустичні характеристики
МРС – магніторушійна сила
ЕММ – електромагнітний момент
ЕРС – електрорушійна сила

ВСТУП

Важливим завданням подальшого розвитку цивілізації є створення і освоєння виробництва техніки нових поколінь, яка дозволяє знизити енергетичні і матеріальні витрати та підвищити продуктивність праці і покращити її умови, забезпечити екологічну безпеку та нормальні умови існування людства, подолати наявні проблеми і у подальшому освоїти глибини світового океану, близький та далекий космос. Розвиток науково-технічного прогресу підвищує вимоги до якості підготовки фахівців, їх творчого розвитку і необхідності отримання навичок визначення максимально раціональних конструктивних, технологічних і організаційно-економічних рішень. Навчальний процес інженерних спеціальностей в основному побудований на вирішенні відомих задач для яких створені постановка і спосіб рішення, методи, методики і алгоритми розрахунків, а також є приклади рішення і відомі правильні відповіді. Певні розрахунки уявляють рутинну працю, яка не потребує творчого мислення. Важливим додатком до вивчення способів рішення типових інженерних задач, якими повинен володіти кожен випускник установ вищої технічної освіти, є зобов'язання володіння фахівцями певними знаннями і навичками вирішення творчих задач, для яких невідомий спосіб і результат рішення. Забезпечення виконання названих вимог можливо на основі освоєння студентами і інженерно-технічними співробітниками певних знань методології наукових досліджень та інноваційної діяльності. Зобов'язання засвоєння основ технології наукових досліджень сприяє розвитку творчого мислення та дослідницького потенціалу. Для можливості успішної науково-технічної діяльності фахівець повинен засвоїти методологію і методику наукових досліджень та отримати уміння обрання і аналізу необхідної інформації, формулювати мету і задачі, об'єкт і предмет дослідження, розробляти теоретичні положення, методи і методики розрахунків, виконувати експерименти та формулювати висновки, складати звіти, доповіді і статті по результатам досліджень за нормативними вимогами [70, 71].

Зростання технологічного прогресу і подальше забезпечення потреб людства в XXI-XXII століттях неминує будуть супроводжуватися зростанням обсягів виробництва і споживання електроенергії. Вказана обставина визначає особливу роль електромеханічної науки, яка забезпечує дослідження в напрямках подальшого удосконалення електромагнітних і електромеханічних перетворювачів енергії. Необхідно створення та втілення інноваційних конструкторсько-технологічних рішень, що вирішують проблемні питання в першу чергу електромеханічних пристроїв масового виробництва, тобто номенклатур єдиних серій асинхронних двигунів (АД) і трансформаторів малої

потужності та силових розподільчих трансформаторів I-III габаритів. Принципові структурні схеми активних частин і конструкції шихтованих магнітопроводів вказаних пристроїв, що перебувають у виробництві, створені в кінці XIX та на початку XX століть і не зазнали суттєвих змін. Покращення масовартістних і енергетичних показників електрообладнання відбувалося в першу чергу застосуванням досягнень електроматеріалознавства, а також створенням і використанням методик оптимізаційних розрахунків та більш досконалих технологічних процесів. Зокрема у другій половині 20 віку здійснено перехід з листової гарячекатаної електротехнічної сталі (ЕТС) виробництва магнітопроводів на більш досконалі різновиди рулонної холоднокатаної ЕТС, а саме ізотропної в електромашинобудуванні та анізотропної в трансформаторобудуванні. Крім того в кінці XX віку створена і з початком XXI віку отримала промислове застосування при виготовленні витих магнітопроводів аморфна ЕТС. Однак до нашого часу невирішеними є питання зниження відходів виробництва магнітопроводів обертових машин змінного струму. Виникли інші проблемні питання зниження кутових втрат планарних шихтованих анізотропних магнітопроводів та втрат несинусоїдальності контурних магнітних потоків витих трисекційних магнітопроводів трифазних трансформаторів (ТТ) [70, 71].

Крім підвищення технічного рівня загальнопромислового електрообладнання є необхідним і відбувається розширення застосування та удосконалення спеціальних регульованих АД, двигунів оберненого і аксіального виконань, вентильних двигунів постійного струму та інших спеціальних електромашин і трансформаторів. Актуальним також є удосконалення систем охолодження і підвищення електродинамічної стійкості та межі потужності генеруючих і трансформуючих агрегатів електричних станцій і підстанцій, а також підвищення потужностей АД з литими короткозамкненими обмотками [70, 71].

Запорукою рішення названих проблемних питань є інтенсифікація теоретичних і прикладних досліджень електромеханічної науки. Напрямами таких досліджень є евристичні інноваційні удосконалення окремих складових та у цілому активних і конструктивних частин, польові електромагнітні розрахунки і оптимізаційний проектний синтез різновидів електромеханічних пристроїв [70, 71].

В першій частині колективної монографії розглянуто основні загальні відомості постановки, інноваційного виконання і відображення результатів наукових досліджень. В другій частині наведено деякі приклади і результати інноваційно-дослідницької діяльності авторів [70, 71].

Монографія орієнтована на широкий загаль фахівців – дослідників, а також викладачів і студентів електромеханічної спеціалізації.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. НАУКА І ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС

1.1. Основні ознаки, головна функція науки і значення науково-технічної творчості

В процесі еволюції на основі повсякденної діяльності людство отримувало і отримує знання про особливості і властивості явищ, об'єктів і предметів та можливості їх застосування і перетворення з метою досягнення користі і можливостей подальшого розвитку. Тому під поняттям наукового знання розуміється перевірений практикою результат пізнання дійсності та вірного її відображення у свідомості людини. Процес пізнання включає отримання, осмислення і аналіз сукупності фактів і факторів. Результатом їх систематизації і узагальнення є створення наукового знання, що характеризується можливістю його зіставлення з деякою об'єктивною реальністю. Вірність наукового знання визначається не тільки здібностями його логічного осмислення але і можливостями його практичної перевірки творчим застосуванням. Процес отримання нових наукових знань деякими представниками людства, тобто дослідниками, має назву наукового дослідження.

Наука – це система знань об'єктивних законів природи, суспільства і мислення та теоретичних положень, що безперервно розвиваються та доповнюються, а також перетворюються у виробничу силу технічного прогресу і розвитку людства як результат спеціальної діяльності окремих освічених та мотивованих членів суспільства – вчених. Основною ознакою і головною функцією науки є пізнання об'єктивного світу. Науку можна визначити як процес пізнання закономірностей і особливостей існування та розвитку об'єктів всесвіту при певному розділенні суспільної праці. Наука є специфічною формою суспільного розвитку у вигляді системи знань і важливим фактором виробництва знань та їх використання. Важливе значення має прискорення освоєння нововведень з метою отримання віддачі від морально і технічно застарілих інновацій, тобто скорочення інтервалу часу між зміною поколінь науково-технічної продукції.

Інтенсифікація науково-технічної праці і скорочення витрат часу між створенням та дослідженням інноваційних пропозицій, а також проектуванням і освоєнням на їх основі виробництва нових матеріально-технічних та інших виробів є життєво важливою умовою прискорення та

підвищення ефективності науково-технічного прогресу. Подальший розвиток науки надає можливість автоматизації не тільки фізичної, але і розумової рутинної (нетворчої) праці, прискореного доступу до джерел та оновлення науково-технічної інформації, що в свою чергу створює подальший імпульс прискорення прогресу і розвитку людства.

Прискорення науково-технічного прогресу, економічна потужність держави знаходяться в прямій залежності від її людського творчого потенціалу, тобто від наявності достатнього числа творчо працюючих вчених, конструкторів, технологів. Широке залучення молоді до інженерної творчості багатократно збільшує творчий потенціал держави.

1.2. Наукові поняття і термінологія

Мета науки – пізнання законів розвитку природи і суспільства та створення на основі отриманих знань штучних інноваційних об'єктів та технічних і економіко-організаційних систем для досягнення суспільством корисних результатів. Поки певні закони не визначені, людина спроможна лише описувати явища, збирати та систематизовувати факти, однак вона не може їх пояснити і завбачити. Шлях пізнання визначається від живого огляду до абстрактного мислення і від нього до практики. Без систематизації і накопичення фактів, їх узагальнення, без логічного осмислення не існує наука. Факти систематизують і узагальнюють за допомогою простих абстракцій – понять (визначень), які є важливими інформаційними елементами науки. Найбільш широкі та значні поняття мають назву категорій. Головними є філософські категорії про форму та зміст явищ. Важливою формою знань є принципи (постулати) та аксіоми. Під принципами розуміють вихідні положення певної галузі науки. Вони є початковою формою систематизації знань (аксіоми геометрії, постулати Бора в квантовій механіці, тощо). Важливою складовою знань є наукові закони, що відображають найбільш суттєві, повторні та стійкі і об'єктивні внутрішні зв'язки в природі, суспільстві та мисленні. Звичайно закони виступають у формі певного співвідношення понять і категорій. Максимально високою формою узагальнення і систематизації знань є теорія. Під теорією розуміється вчення про узагальнений досвід, що формулює наукові принципи і методи, які дозволяють пізнати процеси і явища, що існують, та забезпечують аналіз впливу на них різних факторів, а також дозволяють їх практичне використання в науковій, виробничій і соціальній діяльності на користь людству. Визнана наукова теорія, що протягом певного часу задає модель наукової діяльності і уявляє пануючу концептуальну систему та стиль мислення в науці має назву парадигми.

Наука включає в себе також методи дослідження. Під методом розуміється шлях теоретичного дослідження або практичного здійснення будь яких явищ, процесів, фізико-технічних систем або об'єктів природнього або штучного походження та їх розрахунків. Також під поняттям "метод" розуміється спосіб пізнання та здійснення певної діяльності з досягненням конкретного результату. Метод наукового пізнання уявляє сукупність певних правил, прийомів, способів пізнання досліджуваного явища, об'єкту та предмету дослідження. В свою чергу термін "спосіб" уявляє систему дій при виконанні будь якої процедури або роботи. Метод є інструментом рішення головної задачі науки - відкриття об'єктивних законів дійсності, математичного і фізичного моделювання об'єктів і процесів, а також виконання експериментів. Основними в сучасному технічному прогресі є евристичні методи удосконалення виробів усіх галузей промисловості і матеріального та сировинного виробництва. Також головними на даний час в природничих і технічних науках є математичні методи дослідження, які дозволяють кількісно розрахувати та вивчити явища, фізичні об'єкти і процеси та окремі технічні об'єкти, а також системні сполучення технічних комплектуючих компонент, далі технічні об'єкти (ТО). При цьому дуже важливим є експериментальний метод дослідження, який дозволяє здійснювати відкриття та забезпечити перевірку адекватності теорії, методів і методик розрахунків.

Якщо відсутні фактичні та експериментальні данні або матеріали, засобом досягнення наукових результатів є гіпотеза – науково обґрунтоване припущення. Припущення висувається для пояснення будь якого процесу, яке після перевірки може з'явитися правильним або неправильним. Гіпотеза це попередній і не завжди остаточний варіант опису законів і теорій.

В цілому методи наукового пізнання поділяються на загальні філософські, загальнонаукові, дисциплінарні і міждисциплінарні, а також окремо наукові методи відповідних галузей природніх і технічних наук. Прикладами загальних методів електротехніки є методи суперпозиції (накладання), застосування функцій комплексної змінної, гармонічного аналізу, симетричних складових. Загальними в польових розрахунках є аналітичні та чисельні методи рішення рівнянь Лапласа і Пуансона на основі понять скалярного і векторного потенціалів. Базою спеціальних досліджень електромеханіки є методи питомої провідності робочого зазору, зустрічних обертових полів, двох реакцій, зубцевих контурів та інше.

Фундаментальною основою наукового дослідження є методологія. Поняття "методологія" уявляє систему положень і способів організації і побудови теоретичної та практичної діяльності, а також вчення про цю систему. Методологія наукового пізнання визначає сукупність засобів,

методів та прийомів наукового дослідження з використанням яких дослідник одержує нові знання. Загальна методологія науки визначає закони розвитку наукового пізнання в цілому, однак ґрунтується на теоретичних уявленнях, методах досліджень і законах окремих наук.

Завданням методології науки є розвиток методів наукового пізнання на основі яких складаються моделі і дослідницькі, розрахункові та експериментальні методики.

Модель – віртуальний математичний або фізичний аналог, що містить основні властивості оригіналу та створений на основі наукових методів моделювання.

Поняття "методика" визначає комплекс або сукупність прийомів і дій, що дозволяють аналізувати факти та створювати моделі, які призводять до одержання очікуваного результату. Методика базується на науково обґрунтованих методах.

Наукові факти – відображені людською свідомістю тобто зафіксовані, перевірені і осмислені факти дійсності, які фіксуються відповідними науковими, зокрема математичними мовами та емпіричними судженнями.

1.3. Закономірності і тенденції історичного розвитку техніки та електромеханіки

Аналіз історичного розвитку електромеханіки [1, 2], виявлення і визначення тенденцій та закономірностей науково-технічного прогресу і інженерної творчості [3] сприяє пошуку більш досконалих та ефективних конструкторсько-технологічних рішень ТО електротехнічного виробництва і різноманітних виробів інших галузей промисловості.

Безперервне удосконалення та збільшення різновидів ТО промисловості, енергетики і транспорту виявляє закономірність прогресивної еволюції технічних виробів, згідно якої в різновидах продукції з однаковими функціями перехід з попередніх до нових поколінь такої продукції обумовлений циклічною зміною конструктивно-технологічних особливостей в напрямках усунення дефектів попередніх конструкцій. Перехід до більш раціональної конструкції в межах попередньої загальної структури і сучасний подальший розвиток здійснюються рішенням задач оптимізації і наближення кожної з поступових циклічних змін внутрішніх структурних особливостей до межі удосконалення в рамках загальної структури [3].

Електромеханіка виникла [1, 2] з практичного створення перших вихідних прототипів циліндричної і аксіальної електромагнітних систем (ЕМС) перетворювачів постійного струму з контактною комутацією відповідно лінійного зворотньо-поступального (Д. Генрі, США, 1831 рік) і

обертального (Б.С. Якобі, Росія, 1834 рік) рухів. У другій половині XIX віку електромашинобудування пішло по шляху поступового удосконалення обертальних циліндричних контактних ЕМС машин постійного струму і створення та швидкого розвитку з домінуванням в XX столітті трифазних безконтактних і контактних циліндричних ЕМС змінного струму. Цьому сприяло створення обертового магнітного поля і асинхронного обертання ротора в двохфазної ЕМС з згуртованою обмоткою (Г.Феррарис, Італія, 1885 рік) та розподіленої обмотки і різновидів трифазних асинхронних двигунів (М.О. Доліво-Добровільський, Росія, 1888 рік). При цьому історичний розвиток теорії і практики електромагнетизму перетворив в кінці XIX і початку XX століть електромеханіку в основну рушійну силу технічного процесу та обумовив появу суміжних електричних галузей, зокрема силової і мікропроцесорної електроніки. Однак ЕМС змінного струму з циліндричними шихтованими магнітопроводами в XX столітті досягли, згідно наприклад [4 – 6] та тверджень інших авторів, межі розвитку. Тому в другій половині минулого віку здійснювались спроби змін їх внутрішніх структур. Ці спроби, що систематизовані в [5], незважаючи на витрачені значні ресурси, виявились невдалими. Перебуваючи у виробництві в першій половині XXI століття АД і синхронні машини базуються на «класичних» або «традиційних» конструкціях ЕМС змінного струму, що розроблені в XX столітті. Статори сучасних машин складаються з циліндричних шихтованих магнітопроводів і активних зубцево-пазових шарів з розподіленими обмотками [7, 8]. Останнім часом відповідно до концепції циклічної еволюції і з використанням досягнень електроніки поширюються розробки і застосування безконтактних (вентильних) двигунів постійного струму [9]. Крім того поширюється виробництво і використання так званих торцевих і дискових асинхронних і синхронних машин з аксіальними ЕМС [10 – 12].

Також досягнення сучасної електротехніки обумовлені першим здійсненням трансформації змінного струму з використанням індукційної котушки (П.Н. Яблочков, Росія, 1876 рік) та першою розробкою однофазного трансформатора з замкненим осердям та почерговими обмотками (Д. Гопкінсон, Е. Гопкінсон, Англія, 1884 рік).

З початку XX століття відбулась технологічна революція трифазної електроенергетики і комплексної електрифікації промисловості, яка забезпечена створенням (М.О. Доліво-Добровольський, 1888-1890 роки) різновидів просторових і планарних ЕМС ТТ та варіантів трифазної системи електропостачання. Планарні ЕМС з шихтованими магнітопроводами в XX столітті стали основними в світовому виробництві ТТ. Прикладом циклічної зміни внутрішніх структурних особливостей застосованих протягом більш ніж 130 років різновидів загальної планарної структури магнітопроводів є перехід

з шихтовних «вперепліт» з прямими стиками прямокутних пластин на автоматизоване складання магнітопроводу з малим зсувом косих стиків стрижневих і яремних непрямокутних пластин, що змінюються в довжині (технології «step-lap» і «malty step lap») [13]. Також прикладом згаданих циклічних змін є повторне застосування, на основі освоєння виробництва в другій половині XX століття трансформаторної рулонної ЕТС, різновидів вихідних структур просторових ЕМС. Технічні рішення таких ЕМС мають певні переваги над планарними конструкціями і перспективу подальшого створення нових різновидів будови та удосконалення ТТ [14 – 16].

Наступний розвиток без зміни принципу дії виробу певного призначення є можливим при поступовому визначенні можливості і необхідності, після внутрішніх повторних циклічних перетворень та оптимізаційних розрахунків, переходу до іншої загальної структури. При досягненні межі структурних перетворень подальший прогрес забезпечується зміною фізичного принципу дії (ФПД) технічної або технологічної системи, об'єкту або комплексу [3]. Прикладом змін ФПД є перехід від парових рушіїв на двигуни внутрішнього згорання та перехід від них на електричний рух. Якщо принцип дії є остаточно незмінним, зокрема всесвітній космічний електромагнітний принцип, прогрес розвитку техніки можливий тільки загальними евристичними, наприклад структурними і геометричними перетвореннями конструкцій, схемних топологій і технологічних композицій різноманітного промислового обладнання, зокрема електромеханічних пристроїв і систем [14 – 16, 70, 71].

В раціонально спроектованому технічному виробі кожен з елементів і конструктивних ознак мають певне призначення по забезпеченню функціональних можливостей, залишкові елементи відсутні. В зв'язку з цим існує залежність між якістю або можливістю функціонування ТО від єдиної цілісності його елементів. Така залежність уявляє закон відповідності між функцією і структурою ТО.

Також існує закономірність мінімізації компоновочних витрат конструкторсько-технологічних рішень ТО. Така закономірність проявляється в тому, що функціональні елементи, які здійснюють певні перетворення потоків речовини, енергії або сигналів, розташовані в просторі таким чином, що компоновочні витрати, які не включають вартість елементів, є мінімальними.

Прогрес технічної діяльності людства супроводжується певними революційними змінами, що відбуваються в процесі розвитку техніки. Вказаними змінами були поява і розвиток парових двигунів та початковій теплоенергетики в другій половині XVIII і початку XIX століть, поява, як вже згадано, електромеханіки і трифазної електроенергетики в другій половині XIX та початку XX століть, а також розвиток мікропроцесорної електронної

техніки, нанотехнологій та інформаційних технологій в кінці XX та початку XXI століть. В зв'язку з цим існує гіпотеза закону стадійного розвитку ТО від стадій виконання ТО технологічної і енергетичної функцій до стадій управління процесами і планування. Стадійні переходи розвитку ТО відбуваються при вичерпанні можливості виконання певних функцій попередніми способами і засобами та при наявності необхідного науково-технічного рівня і соціально-економічної доцільності.

Крім вище перелічених, уявляє теоретичну і практичну значимість аналіз доцільності застосування при виконанні нових розробок законів симетрії, гомологічних рядів та розширення множинності потреби-функцій [3]. Також існує методологія генетичного і еволюційного синтезу ЕМС електромеханічних ТО [17, 70, 71].

1.4. Основні можливості підвищення ефективності науки і науково-технічного прогресу, науково-інженерне мислення

Сучасна наука уявляє собою найбільш динамічну та рухому виробничу силу суспільства. Наука є суспільною за своїм походженням, розвитком і використанням. При цьому наукові досягнення можуть ефективно використовуватися тільки при наявності суспільного характеру виробничих сил та при достатньому розвитку суспільної праці [70, 71].

Існують три групи основних можливостей підвищення ефективності науки і науково-технічного прогресу. Перша група визначає можливості творчої діяльності дослідників, які уявляються в підвищенні методологічного рівня наукової роботи, в висуванні нових ідей і підходів та засвоєнні перспективних методів досліджень. Друга група визначає можливість підвищення якості управління науковим процесом і створення максимально доброзичливих умов для якісної праці усіх категорій працівників науки. Можливості третьої групи уявляються в удосконаленні суспільного, у першу чергу економічного механізму, що сприяє швидкодії і ефективності здобутку та освоєння наукових результатів у виробництві і суспільній практиці [70, 71].

Підвищення ефективності і створення нових методологій наукових досліджень також можливо пошуком і прогнозуванням закономірностей технічного прогресу та тенденцій розвитку традиційних і виникнення нових галузей матеріального виробництва, а також соціальних явищ [70, 71].

В теперішній час науково-технічна революція безпосередньо впливає на техногенні і суспільні процеси. Поряд з прогресивними явищами і досягненнями людства зростають тенденції небезпеки виснаження паливно-енергетичних ресурсів і екологічної небезпеки забруднення повітряного, водяного і земляного середовищ. В зв'язку з цим виникає задача формування

нового сучасного типу науково-інженерного мислення, а також створення кваліфікованих дослідників і інженерів, що здібні мислити у відповідності з концепціями екологічної безпеки і всебічного енергоресурсозбереження. Рішення проблеми формування нового типу мислення і цілісності системи знань передбачає подальше удосконалення і розвиток діалектичного методу мислення науково-технічного робітника і інженера. Такий метод дозволяє аналізувати наявні досягнення, синтезувати нову інформацію і створювати інноваційні об'єкти, засоби і технологічні процеси. Наукова і інженерна творчість сприяє перетворенню науки в засіб вищого орієнтування людини в навколишньому середовищі і суспільстві [70, 71].

Праця наукового співробітника переважно характеризується розробкою загальних ідей і методів перетворення природи і суспільства та розвитку і створення умов та ТО подальшого технічного прогресу. Інженер, в свою чергу, призначений здійснювати практичну реалізацію теоретичних розробок. В зв'язку з цим інженерів можна поділити на три категорії. До першої категорії відносяться інженери-теоретики, що вирішують задачі творчого характеру і праця яких відповідає праці наукових співробітників. При цьому інженери, які використовують традиційні способи удосконалення відомих технічних рішень (ТР) і засобів їх застосування, є раціоналізаторами, а інженери, як і наукові співробітники, що володіють творчими здібностями та реалізують їх інноваційними досягненнями, є дослідниками і винахідниками. До другої категорії відносяться інженери-організатори, головним змістом роботи яких є організація ефективної праці робітничого і інженерно-технічного персоналу. До третьої категорії відносяться інженери-виконавці, що займаються практичною роботою відновлення відомих або втілення нових ідей інших творчих інженерів [70, 71].

В цілому науковий і промислово-виробничий потенціал держави залежить від якісного складу наукових співробітників і інженерних працівників першої та другої категорій, складова яких повинна бути достатньою [70, 71].

2. КВАЛІФІКАЦІЙНІ І ЯКІСНІ ОЗНАКИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Різновиди і особливості дослідницьких задач

Формою існування і розвитку науки є наукове дослідження, тобто вивчення, при застосуванні наукових методів, явищ, процесів та певних предметів, аналіз впливу на них різноманітних факторів, а також вивчення взаємодії між явищами з метою отримання доказаних і позитивних для науки і практики результатів з максимальним корисним ефектом [70, 71].

Метою наукової роботи в технічних науках є дослідження фізичних, хімічних і техногенних процесів штучного походження в ТО і всебічне та достовірне вивчення структури, зв'язків елементів та характеристик таких ТО на основі розроблених наукових принципів і методів пізнання. Також до мети дослідження входить завдання отримання нових корисних для діяльності людини наукових результатів та втілення їх в виробництво з максимальним ефектом.

Як вже визначалося вище, основою кожного дослідження є методологія, тобто сукупність способів, прийомів та послідовностей його виконання. В певній мірі методологія, або технологія досліджень є схемою (планом) рішення поставленого науково-дослідницького завдання [70, 71].

Дослідницькі задачі поділяються на емпіричні, теоретичні та експериментальні.

Емпіричні задачі направлені на виявлення, точний опис і прискіпливе вивчення факторів, явищ і процесів, що розглядаються. Такі задачі вирішуються, в першу чергу, за допомогою спостереження та експерименту [70, 71].

Спостереження – метод пізнання, згідно якому сутність дослідження пізнається без втручання. Фіксуються і вимірюються лише параметри та властивості процесу або предмету, що вивчається, аналізується характер його змін.

Теоретичні задачі ґрунтуються, в фізико-технічних науках, в першу чергу на створенні математичних моделей (ММ), що дозволяють дослідити властивості та чисельно визначити характеристики фізичного явища або ТО.

Експериментальні задачі відносяться до емпіричного методу пізнання, однак в таких задачах додатково до спостережень і вимірів здійснюється перерозташування, зміна режимів роботи або інший вплив на явище, процес або предмет, що досліджується.

В рішенні емпіричних і теоретичних завдань дослідження важлива роль належить логічному способу отримання знань на основі розумово-заключних трактовок пояснень явищ або процесів та висування певних ідей та шляхів вирішення питань. Цей спосіб базується на результатах емпіричних досліджень [70, 71].

Одною з важливих вимог, що пред'являються до наукового пізнання, є наукове узагальнення, яке дозволяє встановити залежності і зв'язки між певними сторонами фізичних явищ, процесів або ТО і створити наукові висновки [70, 71].

За цільовим призначенням наукові дослідження поділяються на теоретичні і прикладні.

Теоретичні дослідження направлені на створення нових підходів та принципів. Це звичайно фундаментальні дослідження. Їх мета – розширення знань суспільства і можливостей поглибленого розуміння законів природи і форм існування матерії. Прикладні дослідження направлені на створення нових методів і засобів, структурно-конструктивних, схемотехнічних і технологічних рішень. На основі цих досліджень створюються нові речовини, матеріали, способи виробництва і організації робіт, а також нові типи і конструкції машин і механізмів та системи обладнання, що задовольняють вимогам розвитку конкретних галузей виробництва.

Крім прикладних науково-дослідних робіт (НДР) на основі дослідно-конструкторських робіт (ДКР) виконуються прикладні розробки. Метою прикладних НДР і ДКР є перетворення результатів теоретичних і прикладних досліджень в технічні пропозиції з подальшою організацією робочого проектування (рис 2.1) [70, 71].

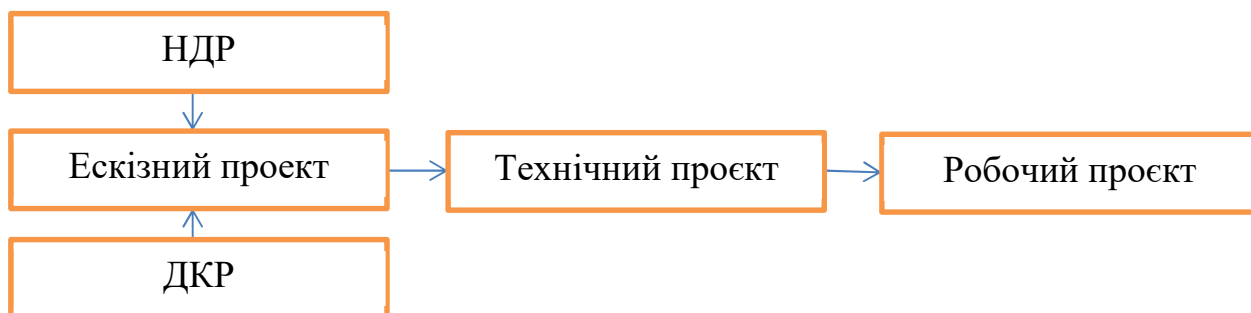


Рис. 2.1. Схема інноваційного удосконалення технічних об'єктів

На стадіях НДР і ДКР виконується ескізне проектування, при якому здійснюється розробка ескізної конструкторсько-технологічної документації та виготовляються і досліджуються (випробуються) так звані макетні зразки, які є першими спробами матеріальної реалізації нових розробок ТО. За результатами НДР (ДКР) і ескізного проектування виконується технічний проект. При цьому розробляється, за вимогами держстандартів, робоча конструкторська і технологічна документація на виробництво та виготовляються і випробуються дослідні зразки. Після випробування цих зразків виконується робочий проект в якому ТО остаточно доводиться і коригується конструкторська та технологічна документація. Здійснюється

постановка виробництва результату розробки. Постановка виробництва, тобто втілення результатів НДР (ДКР) здійснюється при підтвердженні вимог технічного завдання на виконану роботу або ефективності розробки [70, 71].

Кожне наукове дослідження має тему. Темою можуть бути різні питання науки і техніки. Обґрунтування теми – важливий етап в виконанні наукового дослідження. Процес виконання дослідницької роботи складається, як правило, з виконання певних етапів, а саме: визначення і формулювання теми, формулювання мети і задач, об'єкту і предмету дослідження, здійснення теоретичних досліджень, експериментальних досліджень, аналізу і оформлення результатів наукових досліджень. Інколи також виконується техніко-економічне обґрунтування, тобто попереднє визначення техніко-економічного ефекту втілення результатів дослідження [70, 71].

Наукові дослідження класифікують за різновидами зв'язку з суспільним виробництвом та за ступенем важливості для народного господарства. Першими є дослідження, що направлені на створення нових процесів, машин, конструкцій, які використовуються для підвищення ефективності виробництва і досліджень, а також направлені на покращення виробничих відношень і підвищення рівня організації виробництва. Також до першої групи відносяться теоретичні роботи в галузі суспільних, гуманітарних та інших наук, що використовуються для удосконалення суспільних відношень та підвищення рівня духовного життя людини. Друга класифікаційна група визначає ступінь важливості для народного господарства. Це роботи, що виконуються по завданню міністерств і відомств та роботи, що виконуються за державними планами науково-дослідницьких організацій. В залежності від джерела фінансування НДР і ДКР поділяються на держбюджетні, що фінансуються за кошти держбюджету та госпдоговірні, що фінансуються у відповідності із договорами, що укладені з підприємствами замовниками. Такі підприємства використовують результати досліджень у подальшій виробничій діяльності [70, 71].

За тривалістю виконання НДР (ДКР) поділяються на довготривалі, що розробляються протягом декількох років та короткотривалі, що виконуються у межах року.

2.2. Різновиди і аналіз науково-технічної інформації, формулювання теми наукового дослідження

Характерною рисою розвитку сучасної науки є бурний потік нових наукових даних, що отримуються в результаті досліджень. Кожен рік у світі видаються сотні тисяч наукових книг, журналів і збірників. Інформація має властивість «старіння» і пошук новітньої інформації, необхідної для

виконання конкретного завдання, інколи є складною задачею. Відсутність або закриття інформації призводить до дублювання досліджень, що в межах окремої держави є економічно недоцільним [70, 71].

У цілому до носіїв інформації відносяться: книги (монографії, підручники, навчальні посібники), первинні видання (журнали, збірники, матеріали наукових симпозіумів і конференцій, бюлетені), нормативні документи (стандарти, технічні умови, інструкції, вказівники, довідники), каталоги, звіти з НДР і ДКР, дисертації та їх автореферати, аналітичні та реферативні огляди. Окремим важливим видом інформації є патентна документація [70, 71].

Джерела інформації систематизуються за допомогою універсальної десятичної класифікації інформаційних документів (УДК). УДК поділяють усі області знань на 10 відділів, кожен з яких поділяється на 10 підрозділів, а підрозділи складаються кожен з 10 частин. Частини деталізуються. Структура УДК складається з груп основних індексів і визначників. Групи поділяються на підгрупи загальних і спеціальних визначників. УДК спрощує пошук інформації, однак така система є у певній мірі громіздкою. Тому розробляються автоматизовані системи пошуку інформації. Сучасним засобом пошуку інформації є інтернет. Останнім часом для пошуку інформації застосовується цифровий ідентифікатор об'єкта DOI (Digital Object Identifier), який присвоюється науковим збірникам, журналам, монографіям та підручникам, окремим статтям, розділам наукової книги тощо [70, 71].

Творцями названої інформації є науково-технічні і науково-педагогічні співробітники, які створюють названі джерела в плановому та ініціативному порядкух. При цьому публікація отриманих науково-технічних результатів і досягнень є обов'язком наукових і науково-педагогічних працівників та ознакою високої кваліфікації і творчої праці інженерно-технічних працівників [70, 71].

Наукові матеріали, що публікуються в періодичних виданнях повинні мати певні обов'язкові елементи. Такими елементами є: постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими або практичними задачами; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких висвітлені попередні результати розглядання або початку рішення даної проблеми і на які опирається автор, виділення невирішених частин загальної проблеми, які розглядаються в роботі, що публікується; формулювання мети (постановка задачі); викладання основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з виконаного дослідження і перспективи його подальшого розвитку [70, 71].

Кандидатські і докторські дисертації та стислі змісти кожної з них, тобто автореферати, є спеціальними "рукописними" видами інформації, що

характеризують підвищення кваліфікації науковця та його власний внесок в науково-технічний прогрес [70, 71].

В науково-технічних розробках розрізняються наукові напрямлення, проблеми і теми. Під науковим направленням розуміється сфера наукових досліджень наукового колективу, що вирішує значну теоретично-експериментальну задачу в певній галузі науки. Структурними одиницями направлення є комплексні проблеми, теми і питання. Комплексна проблема включає в себе декілька проблем. Проблемою є складна і невирішена наукова задача, що охоплює значну область дослідження і має перспективне значення. Необхідність рішення комплексних проблем ставить загальні завдання – розробити відкриття, вирішити комплекс задач, що забезпечують високий технічний рівень певних об'єктів і систем та розвиток суспільства. Проблема складається з ряду тем. Тема – це наукова задача, що охоплює певну область наукового дослідження. Вона базується на багаточисельних дослідницьких питаннях. Під науковими питаннями розуміються менш об'ємні та значні наукові задачі, що відносяться до конкретних фізичних явищ, процесів та ТО певних областей наукового дослідження. Результати рішення цих задач мають не тільки теоретичне, але й головним чином, і практичне значення. При розробці теми або питання висувається конкретне завдання в дослідженні, тобто створення нової конструкції, або розробки прогресивної технології, нової методики тощо [70, 71].

Перед постановкою теми здійснюється ретельне ознайомлення з вітчизняними і зарубіжними науково-технічними інформаційними джерелами на основі якого визначається конкретний стан питань в досліджуваній області та суміжних областях, що відносяться до тематики наукової роботи.

Постановка, тобто вибір проблеми або теми є складною та відповідальною задачею, що включає певні етапи. Перший етап – формулювання проблеми. На основі аналізу протиріч та невирішених питань напрямку, що досліджується, формулюється основне проблемне питання і визначається в загальному вигляді результат, що очікується. Другий етап включає в себе розробку структури проблеми. Виділяють тему, підтеми, питання. Композиція цих компонентів повинна складати так зване дерево проблеми (тобто структуру і сутність). На третьому етапі встановлюють актуальність проблеми, тобто її цінність на сучасному етапі розвитку науки і техніки [70, 71].

Тема досліджень повинна бути актуальною, тобто важливою та такою, що потребує рішення у теперішній час. Ця вимога є однією з головних. Тема повинна вирішувати нову наукову задачу, тобто таку задачу, що ще не розроблялася і не розробляється, тобто дублювання повинно бути виключено. Дублювання можливо лише по завданню керівних установ з метою створення

конкуренції колективів для якісного вирішення найважливіших державних завдань в короткий термін [70, 71].

2.3. Перспективність, мета, новизна і достовірність наукових результатів

Необхідно розрізняти наукову задачу, яка має ознаки наукової новизни, від інженерно-економічної задачі. Наукова новизна повинна бути дійсно науковою, а не інженерною, тобто принципово новою. Крім того тема і отримані результати повинні бути економічно ефективними і повинні мати значимість, тобто використання результатів повинно дати економічний, або інший позитивний ефект [70, 71].

При розробці теоретичних досліджень вимога економічної ефективності може поступатися вимоги значимості. Значимість, як головний критерій теми, є головною при виконанні досліджень, які визначають престиж вітчизняної науки, або складають фундамент для подальших прикладних досліджень [70, 71].

Тема досліджень повинна відповідати профілю наукового колективу, який має певні спеціалізацію, компетенцію та досягнення. Однак не можна допускати монополію, яка знижує якість досліджень [70, 71].

Для оцінки перспективності тем використовують два методи – розрахунковий та експертних оцінок. За першим використовується показник перспективності, який розраховується за формулою [70, 71]:

$$П_{\pi} = E_z(1 - B_p)/B_z,$$

де E_z – очікуваний загальний економічний ефект;

B_p – вірогідність ризику;

B_z – загальні витрати.

При використанні експертного методу заплановану тему оцінюють фахівці–експерти. Кожному експерту надається оціночна базова шкала, за допомогою якої встановлюються бали. Результати оцінки експертів обробляються. Кращою є тема з максимальним балом [70, 71].

Кожне наукове дослідження після обрання теми починається з ретельного вивчення науково-технічної інформації. Метою пошуку, проробки та аналізу інформації є всебічне визначення стану питання та обґрунтування мети і задач дослідження. Складається бібліографічний перелік джерел інформації. Літературні джерела підлягають ретельному критичному аналізу при якому визначаються найбільш актуальні питання, формується уявлення про напрямки рішення поставлених задач. Керівною ідеєю аналізу інформації є обґрунтування актуальності і перспективності мети дослідження. По результатам аналізу інформації розробляються висновки. В висновках

відображають актуальність і новизну, останні роботи та розробки за тематикою дослідження. На основі висновків формулюється загальна мета і конкретні завдання дослідження [70, 71].

Мета дослідження – коротке, але більш повне, ніж назва, формулювання проблеми (головної задачі), яка вирішується для досягнення головного результату. Мета формулюється таким чином, щоб її висловлювання чітко і остаточно пояснювало сутність задачі. Формулювання мети повинно точно і однозначно відповідати головному результату в узагальненому виді та створювати можливість визначення конкретних задач дослідження і їх практичної цінності [70, 71].

Після формулювання задач обираються методи дослідження і досягнення поставленої мети. Використання поряд з математичними і фізичними методами рішення конкретних завдань загальних методів (кібернетичних, системних, тощо) постановки і рішення наукової проблеми сприяє цілісності роботи в методологічному сенсі.

Рішення окремих задач дослідження дозволяє формулювати наукові результати, а узагальнення наукових результатів дозволяє формулювати наукове положення. Коротке, але якісне відображення вчиненого у вказаних формулюваннях надає більшу чіткість окреслення цілей і досягнутих результатів.

Науковий результат дослідницької роботи – це раніше невідомі закономірність, кількісне співвідношення, аналітична залежність, а також новий технологічний процес або матеріал тощо.

Наукове положення уявляє собою узагальнення результатів, яке вирішує головну задачу та мету дослідження цілком або частково та відображає в формі тезису вперше встановлену неочевидну, а інколи несподівану закономірність, що збагачує теорію (науку) і є корисною для практики, або встановлює принципово нові якості предмету дослідження, фізичних та інших процесів і явищ. Наукове положення може бути сформульоване у вигляді закону або закономірності, концепції або гіпотези, методу рішення наукової проблеми і тому подібне.

Наукові результати та положення повинні бути принципово (в теоретичному плані) новими, бути достовірними (тобто теоретично і експериментально підтверджені), мати теоретичне значення і практичну цінність.

Особливо важливими показниками якості наукового дослідження є достовірність отриманих результатів. Достовірність повинна бути підтверджена вірною постановкою головної наукової задачі, цілі і окремих задач дослідження, обґрунтуванням гіпотез, результатів та висновків логічними, фізичними, математичними і експериментальними засобами, адекватністю ММ. Важливим

фактором якості наукової роботи є позитивні результати порівняльного аналізу запропонованих та відомих ТР, а також практичне використання отриманих теоретичних результатів. Повинна бути доведена істинність отриманих теоретичних результатів. Додатковим сучасним засобом підтвердження достовірності є застосування спеціальних сертифікованих програмних продуктів, що адекватно моделюють певні фізичні процеси та ТО чисельними методами на комп'ютерних симуляторах.

2.4. Вимоги до назви, вступу і понять об'єкту та предмету дослідження

Всі розділи звіту з НДР або дисертації повинні бути побудовані за певними правилами та логічно взаємопов'язані. До головних елементів звіту (дисертації) відносяться: назва, вступ, головний зміст і заключення (висновки) [70, 71].

Назва – це подане у стислій формі головне питання, рішення якого присвячена виконана та складена дисертація (звіт). Головний результат і головне питання, на досягнення та вирішення яких направлена робота, повинні бути пов'язані з назвою, очевидними і викладеними загальними ключовими словами. Ключовими словами є терміни, що визначають сутність дослідження і забезпечують логічний зв'язок назви роботи з її результатом. Такий зв'язок є обов'язковим. Назва роботи в цілому визначає поняття об'єкту і предмету дослідження [70, 71].

Вступ є дуже відповідальним елементом звіту з НДР або дисертації та містить усі кваліфікаційні ознаки наукової роботи: актуальність, постановку наукової проблеми (задачі), об'єкт і предмет дослідження, мету і задачі, методи дослідження, значення і новизну наукових положень і результатів, підтвердження їх достовірності, наукове значення і практичну цінність. В дисертаціях, додатково до перелічених положень вступу, вказується власна участь здобувача наукового ступеню в отриманих результатах та повнота наукових публікацій. Науковий звіт відображає результати та дисертаційна робота виконується відповідно для отримання результату наукового дослідження. Необхідність рішення наукової проблеми обумовлена наявністю проблемної ситуації, яка повинна бути актуальною. Актуальність теми обґрунтовується визначенням необхідності створення нових теорій та теоретичних і конструктивно-технологічних (у галузі технічних наук) рішень, що забезпечує подальший розвиток науки і техніки та вирішення протиріч і недоліків, що існують [70, 71].

З формулювання наукової проблеми повинен випливати логічний зв'язок цієї роботи з назвою теми, об'єктом і предметом, метою і основними задачами дослідження. Формулювання наукової проблеми вказує на об'єкт і

предмет дослідження як область наукових притязань та відображає наукову новизну. Також наукова проблема повинна відображати ціль дослідження [70, 71].

В процесі формулювання наукової проблеми (задачі) визначається область (об'єкт) дослідження і обґрунтовується напрям (предмет) дослідження в певній області. Об'єкт і предмет дослідження відносяться між собою як ціле та часткове. Предмет дослідження визначає тему дослідження [70, 71].

Об'єкт дослідження уявляє узагальнене формулювання понять, проблем і інших елементів, які розглядаються в науковому дослідженні. Об'єкт дослідження відноситься до області наукового пошуку, в межах якої виявлена і існує досліджувана проблема. Це система закономірностей, зв'язків, відношень, видів діяльності, в межах якої існує проблема. Також об'єктом дослідження уявляється сфера пізнавальної діяльності дослідника, а саме конкретний предмет, поняття, процес або явище, що породжує "проблемну ситуацію" і тому обрано для дослідження. Об'єкт дослідження повинен характеризуватися непізнаними властивостями на час виникнення проблемної ситуації. Як правило об'єкту дослідження притаманні декілька або безліч властивостей, тому його комплексне дослідження може вирішуватись окремими завданнями та різними методами і засобами дослідження [70, 71].

Предмет дослідження – конкретне питання або властивість заявленого об'єкту, що розглядається в НДР. Предмет більш вузький і конкретний, завдяки його формулюванню з загальної системи, що є об'єктом дослідження. Виділяється частина системи або процес, що відбувається в системі. Така складова є безпосередньо предметом дослідження. Здійснюється дознання властивостей, зв'язків і відношень, що належать досліджуваному предмету і підлягають безпосередньому вивченню. Предметом дослідження можуть бути причини виникнення процесу або явища, його різноманітні властивості, показники та закономірності розвитку [70, 71].

3. ЗМІСТ СКЛАДОВИХ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Структура вступу

Вступ уявляє найбільш відповідальну частину роботи, тому що містить в стислій формі усі положення, обґрунтування яких наведено в НДР (дисертації). Вступ доцільно складати після виконання усіх розділів і заключення наукової роботи. Також вступ доцільно починати з передмови, де коротко визначаються сутність і стан питань досліджуваної проблеми, її значність в сучасних умовах, необхідність вирішення [70, 71].

Після передмови визначається актуальність наведенням положень і доводів, що свідчать про наукову і прикладну значущість НДР. Актуальність

знаходиться в єдності з проблемними питаннями, що досліджуються та вирішуються. При обґрунтуванні актуальності корисно надати певні посилання на інформаційні джерела з яких випливає, що тема до виконання НДР як що і досліджувалась, однак була не розроблена остаточно [70, 71].

Наступним кроком є опис зв'язку НДР з науковими планами, програмами, державними постановами. В дисертації вказується номер держреєстрації базових НДР в яких автор приймав участь та зробив відповідний внесок [70, 71].

Далі вказуються мета і задачі дослідження, що містять формулювання головної цілі, яка відповідає рішення основної проблеми НДР. У відповідності з головною ціллю виділяються окремі задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення. Лаконічно, однак достатньо до розуміння описуються об'єкт і предмет дослідження та визначаються застосовані методи. В методах дослідження надається короткий опис методів, що застосовані при виконанні дослідження. В технічних і фізико-математичних науках застосовуються математичні аналітичні та чисельні, а також експериментально-лабораторні методи досліджень [70, 71].

Характеризується наукова новизна виконаної НДР. До ознак, що характеризують новизну, відносяться: постановка нової наукової проблеми; введення нових наукових понять, термінів і категорій; розкриття нових закономірностей протікання природних і суспільних процесів; використання нових методів, інструментів і апарату досліджень; розробка і наукове обґрунтування пропозицій про оновлення об'єктів, процесів і технологій, що застосовуються в техніці, економіці і управлінні; розвиток та створення ММ нових предметів дослідження, тобто оригінальних та інноваційних ТР ТО, а також наукових уявлень про навколишнє середовище, світ, природу і суспільство. Наукова новизна не повинна бути зведена до простого перелічення установлених фактів, факторів, ідей, закономірностей, а повинна розкривати головну наукову концепцію НДР, визначати наукове пояснення сутності досліджень в якісному і кількісному аспектах [70, 71].

Надається характеристика практичної значності НДР, яка визначається ефектом (науково-технічним, економічним, соціальним...) від використання її конкретних прикладних результатів в практиці проектування і експлуатації (методики і розрахункові програми, ТР обладнання та технологічних процесів, режими роботи, матеріали...) і масштабами втілення або рівнем технічної готовності до використання [70, 71].

Результати НДР оформлені як дисертація, містять додаткові відомості, а саме про особистісний вклад дисертанта в виконанні дослідження і колективні публікації, про апробацію результатів (доповіді на наукових семінарах,

конференціях і симпозіумах) та публікації здобувача наукового ступеню [70, 71].

Підрозділ вступу «Апробація результатів досліджень» також повинен містити відомості про практичну перевірку основних положень і результатів дисертаційної роботи, та про сфери наукової, прикладної, навчальної діяльності, в яких результати були застосовані, а також про перспективи їх подальшого розвитку та використання. Вказується де і коли доповідалися результати досліджень (на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо) [70, 71].

3.2. Аналіз стану об'єкту, постановка і визначення методів рішення задачі дослідження

Планування виконання НДР обумовлено можливістю рішення науково-прикладної проблеми (задачі) застосуванням наявних теоретико-практичних знань з попереднього стану розвитку об'єкту і предмету дослідження на основі вивчення відповідних інформаційних джерел, тобто необхідністю отримання нового знання. Неможливість рішення проблеми традиційними шляхами визначається на основі аналізу інформаційних літературних і патентних джерел і визначення проблемних питань об'єкту і предмету дослідження. При аналізі вказаних питань є недостатніми статистичне узагальнення і систематизація технічних рішень, методів і методик іншого наявного наукового продукту, що існує і стосується проблематики НДР. Необхідно прослідкувати історичний розвиток питань проблеми та її становлення. Завдяки вказаному аналізу об'єкту і предмету дослідження та перспектив і можливостей рішення наукової проблеми визначаються вихідні посилання на вирішення схожих задач та попередніх аналогів проблеми. Визначаються методологічні підходи до постановки проблеми і методів її рішення. Успіх рішення проблеми НДР є залежним від якості і вірності її постановки, що потребує пізнання структури і сутності проблеми. Якість постановки також залежить від визначення явищ, протиріч та недоліків, які є джерелом проблеми [70, 71].

В цілому концепція рішення наукової проблеми є не тільки кінцевим результатом НДР, а і уявляє підхід до постановки проблеми (задачі). Тому таку постановку доцільно остаточно формулювати після отримання кінцевих результатів і складання основного тексту та висновків по роботі.

Задача обґрунтування достовірності гіпотези або інноваційної привабливості нових і нетрадиційних конструкторсько-технологічних рішень та заходів удосконалення у відповідності з об'єктом і предметом дослідження повинна вирішуватись шляхом математичних та експериментальних доказів в

природніх і технічних науках та логічних і історичних доказах в суспільних науках та побудови розумових заключень, що наводяться в основних розділах звіту з НДР (дисертації). Обґрунтуванням вірності гіпотези та ефективності результатів, здобутки роботи перетворюються в теорію або певну теоретичну систему. Засобами доказу є науково обґрунтовані і визнані та перевірені аналітичні і розрахункові способи, теорія логічного доказу та методи аналогії, альтернатив, порівняльного аналізу. Після постановки проблеми і визначення методу і шляхів її вирішення здійснюється створення доказів досягнення поставленої мети. В фізико-математичних і технічних науках математичним і експериментальним шляхами здійснюється вирішення поставлених, відповідно до мети, об'єкту і предмету, окремих задач дослідження. На окремі задачі складаються висновки по розділам. На основі доказів і формулювання розумових заключень обґрунтовується головний результат і його істинність, яка є властивістю мислення [70, 71].

Поняття «істинність» Аристотель визначав як єдине у відношенні до безлічі варіантів. Він ототожнював процес пізнання істини з доказом гіпотез. Докази гіпотези утворюють систему наукового знання, теорію або концепцію. Поняття «теорія» уявляє цілісну систему логічного зв'язку пов'язаних між собою положень, що відображають суттєві зв'язки і відношення до дійсності явища, що визначається цією теорією. Термін «концепція» визначає систему поглядів. Отримані теорія і концепції відображають становлення, розвиток і усунення внутрішніх протиріч об'єкту і предмету дослідження, тобто розкривають його сутність в цілісності (єдності протилежних сторін) [70, 71].

Концепція формується виходячи з наукових положень, що охоплюють усі суттєві ознаки об'єкту і предмету дослідження в їх логічній єдності. Основу наукового положення також складає гіпотеза, однак меншого рівня загальності, ніж для концепції. Її логічним розгортанням відкриваються причинно-наслідкові зв'язки в наукових положеннях і інших результатах, що отримані в роботі. Таким чином забезпечується цілісність і безпротирічність та логічний зв'язок окремих результатів, гіпотеза є об'єднуючим початком наукового положення [70, 71].

3.3. Композиція основного змісту наукового звіту (дисертації)

Після вступу, складаються розділи текстового відображення результатів виконаної НДР або дисертації. Зміст цих розділів дозволяє визначити головне питання і доказати вирішення наукової проблеми (задачі). Незважаючи на безліч наукових питань, що вирішуються, вимоги логічної цілісності тексту звіту з НДР (дисертації) є обов'язковими для дотримання. Тому існує формалізація процедури побудови відповіді на головне питання на основі

відповідей на сукупність питань дослідження. Традиційною вважається вказана нижче наступна композиція основного змісту роботи. Перший розділ є постановочним. В цьому розділі на основі інформаційних джерел аналізується стан розвитку та можливості вирішення наукової проблеми (задачі) на основі наявного теоретичного знання в певній області науки. Обґрунтовується об'єкт і предмет дослідження, виконується постановка мети і задач дослідження. У другому розділі здійснюється обґрунтування вибору гіпотези (інноваційних конструктивно-технологічних пропозицій) вирішення наукової проблеми, визначається та обґрунтовується метод (методи) досліджень. В наступних розділах в технічних і фізико-математичних науках обираються, обґрунтовуються та розробляються нові методи та ММ рішення окремих задач, тобто частин предмету дослідження. Прогнозуються (розраховуються) результати. На основі отриманих ММ створюються практичні розрахункові та експериментальні методики. В останньому розділі здійснюється аналіз і узагальнення наукових результатів, а в технічних, фізичних і хімічних науках також наводиться експериментальна частина. Установлюється адекватність ММ об'єкту і предмету дослідження. Наводяться відомості про практичну реалізацію наукових результатів в технічних рішеннях, розрахункових і експериментальних методиках, технологіях, а також при підготовці майбутніх фахівців. Кожен з розділів роботи закінчується висновками. Кінцевими частинами роботи є висновки (заклучення), перелік літератури і додатки (при необхідності) [70, 71].

Наукове і практичне значення наукової дослідницької роботи визначається розвитком конкретного наукового напрямку на основі отриманого наукового результату. Необхідно показати перспективу подальшого розвитку і практичного застосування отриманих наукових результатів.

Практична цінність наукової роботи характеризується ефектом (науково-технічним, економічним, соціальним) від використання її конкретних прикладних результатів в практиці проектування і експлуатації (методики і розрахункові програми, конструкторсько-технологічні рішення, виробничі і технологічні процеси, режими роботи, матеріали...) [70, 71].

Підтвердженням практичної цінності і перспективності наукових робіт зокрема таких, що містять вперше створені методи теоретичних, експериментальних, або прикладних чисельних досліджень, а також створення нових методів складання ММ фізичних процесів та ТО, є застосування здобутих результатів в розширенні різновидів ТО з новими ТР і властивостями та покращеними показниками технічного рівня (ПТР). Також свідченням практичної цінності наукових робіт є використання їх результатів в забезпеченні держави складом вчених і педагогічних працівників фахівцями з науковими ступенями [70, 71].

Певні результати виконаних наукових досліджень оформлюються як дисертаційні роботи. Дисертація на здобування науковою ступеню кандидата або доктора наук є кваліфікованою науковою роботою, що виконана особисто у виді спеціально підготовленого рукопису, або опублікованої наукової монографії. Автор висуває для публічного захисту науково обґрунтовані теоретичні або експериментальні результати, наукові положення, що характеризуються єдністю змісту і свідчать про особистий внесок здобувача в науку. При цьому наявність хоча б одного наукового положення в докторській дисертації є обов'язковою [70, 71].

3.4. Обґрунтування головного результату та вимоги до висновків роботи

При відносно рівномірному розподіленні об'єму звіту з НДР (дисертації) по розділам, часто існує головний розділ, який демонструє максимальну обґрунтованість наукових результатів та несе максимальне змістовне навантаження. Наводяться теоретичні доказові досягнення, на основі яких прогнозуються практичні результати. Такий розділ є найбільш насиченим висновками. Для підтвердження достовірності положень цього та інших розділів задіюють як теорію математичного або логічного доказу так і порівняння отриманих прикладних результатів у виді технічних або інших рішень і методик з кращими аналогами [70, 71].

Якщо теоретичне обґрунтування об'єкту і предмету дослідження НДР виконано, питання його практичної реалізації є не науковим, а технічним. Виникає можливість плутанини і підміни наукових результатів прикладними розробками. При представленні головного наукового результату необхідно надати коротке визначення його теоретичної сутності і обґрунтування достовірності та показати його принципову новизну порівнянням з попередніми досягненнями, практичну значність і реалізацію та перспективу розвитку [70, 71].

При обґрунтуванні достовірності результатів недостатньо посилань на задовільне узгодження розрахункових і дослідних результатів. Помилковим є підміна вказаного обґрунтування посиланням на актуальність і важливість практичних результатів. Необхідно дати розгорнуте обґрунтування головного результату розпочавши з постановки і визначення методів теоретичного та експериментального досліджень і далі синтезу головних досягнень роботи індуктивним узагальненням проміжкових та допоміжних результатів. Також необхідне порівняння отриманих здобутків з відомими теоретичними і прикладними попередніми досягненнями, що стосуються об'єкту і предмету дослідження [70, 71].

Заключення (висновки по роботі) є логічним підсумком звіту з НДР (дисертації), в якому констатується, що поставлене в роботі завдання досягнене. Висновки складаються з пунктів. В першому пункті надається коротка оцінка стану питання з розкриттям сутності проблемної ситуації (теоретичного протиріччя) і формулюванням наукової проблеми (задачі). Сутність рішень наукової задачі розкривається коротким визначенням достовірності і новизни, порівняльним аналізом з відомими рішеннями та визначенням з теоретичних здобутків конкретних практичних результатів, їх втіленням. Розгорнута характеристика рішень наукової проблеми (задачі) повинна показати їх значення для розвитку конкретних областей науки і техніки [70, 71].

Складання заключення – це не механічний підсумок найбільш значних результатів розділів, а їх узагальнення з розкриттям причинно-наслідкових зв'язків, коли з головного результату більш високого рівня узагальнення логічно випливають результати меншого ступеню загальності. В такому порядку вони і повинні бути подані як і в заключенні по роботі, так і в її ввідній частині. В заключенні головний результат повинен бути поданий в розвитку, тобто повинен визначати тенденцію подальшого удосконалення та теоретичного і практичного використання. Повинні бути вказані нові наукові задачі, які доцільно вирішувати в розвиток результатів виконаного дослідження [70, 71].

Необхідним є чітке логічне відпрацювання усіх етапів НДР, починаючи з стану питання, тобто з аналізу емпіричних і теоретичних протиріч, що визначають наявність проблемної ситуації, і далі, на етапах розробки фізичної моделі або ММ предмету дослідження, аналізу достовірності відображення властивостей і характеристик реальних ТО такими моделями. Також логічне обґрунтування отриманих ТР і досягнень сприяє чіткому формулюванню наукових положень і результатів, їх наукової новизни, теоретичного значення і практичної цінності виконаних досліджень [70, 71].

При складанні заключення (висновків по роботі) необхідна побудова цілісного ланцюга причинно-наслідкових зв'язків між підходом до постановки, методами, засобами і результатами рішення проблемних питань НДР [70, 71].

Всі висновки доцільно поділяти на дві групи: наукові і виробничі. При виконанні НДР отримуються інноваційні результати, які є показником її рівня, якості і конкурентоспроможності. Обов'язковим є необхідність захисту державного пріоритету на винаходи і відкриття. Певні результати НДР і винахідницької діяльності можуть «закриватись», з метою світового пріоритетного освоєння виробництва, або підсилення обороноздатності держави, тобто відображатись в звітах «для службового використання», або під грифом таємності [70, 71].

4. ЕФЕКТИВНІСТЬ І МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Втілення і критерії ефективності наукових досягнень

Втілення завершених наукових досліджень у виробництво є заключним етапом НДР (ДКР) і уявляє передачу виробництву науково-технічної продукції (звіти, розрахункові формуляри, інструкції, тимчасові вказівки, технічні умови, технічні проекти...) в придатній до реалізації формі, яка забезпечує техніко-економічний ефект. НДР перетворюється в продукцію лише після початку її споживання виробництвом. Замовниками на виконання НДР (ДКР) є технічні управління міністерств і відомств, виробничі підприємства, науково-дослідні і конструкторські організації.

Підрядчик – науково-дослідна організація, що виконує НДР, у відповідності з двохсторонньою угодою, формулює пропозиції до втілення.

Відповідно до умов угоди, пропозиції містять документацію: технічне завдання, звіт (проектну складову), технічні умови, вказівки тощо [70, 71].

Як би ретельно не виконувалась НДР в науково-дослідних установах, фахівці цих установ не в змозі всебічно враховувати різні, часто випадкові фактори, що діють в умовах виробництва. Тому процес втілення складається з двох етапів: дослідно-виробничого втілення і серійного втілення. Будь-яка наукова розробка на першому етапі втілення потребує дослідної перевірки в виробничих умовах. Після дослідно-виробничої перевірки нові конструкції, технології, розрахункові формуляри, рекомендації або методики застосовують в промисловому проектуванні і серійному виробництві. На цьому етапі науково-дослідні організації не приймають участі, однак можуть здійснювати консультативну і налагоджувальну науково-технічну підтримку. Втілення досягнень науки і техніки фінансуються організаціями, які його здійснюють [70, 71].

Під економічною та іншою ефективністю наукових досліджень розуміються наступні досягнення: зростання національного доходу, підвищення продуктивності, енергоресурсозбереження і зниження витрат на виробництво та наукові дослідження, а також зростання технічного рівня і номенклатури виробів промисловості та підвищення обороноздатності держави. Існує також поняття соціально-економічної ефективності: ліквідація тяжкої праці, покращення санітарно-гігієнічних умов, очищення навколишнього середовища, престиж вітчизняної науки [70, 71].

Наукові дослідження потребують значних витрат, тому економне виконання НДР також є показником ефективності. Дуже велике значення надається питанням прискорення розвитку і підвищенню ефективності застосування досягнень науково-технічного прогресу. Наука і система її додатків є значною виробничою силою та потужним фактором ефективного розвитку виробництва і суспільства [70, 71].

Існує два протилежних напрями розвитку економіки – екстенсивний та інтенсивний. Шлях екстенсивного розвитку – розширення заводських площ, збільшення числа верстатів та працівників без змін організації праці, технології та без застосування технічних інновацій. Інтенсивний шлях передбачає підвищення обсягу та покращення технічного рівня продукції і виробництва з кожної виробничої одиниці без збільшення кількісних показників елементів виробничого потенціалу. Інтенсивний шлях забезпечується використанням науково-технічних досягнень: нових засобів праці, технологій, конструкцій, методик оптимізаційних розрахунків, підвищенням якості освіти і кваліфікації працівників, підвищенням ефективності організаційних та економічних способів позитивного впливу на виробництво і суспільство. Інтенсивний шлях забезпечується підвищенням

ефективності роботи наукових установ і колективів та капіталовкладень в освоєння та втілення результатів НДР (ДКР) у виробництво [70, 71].

Для оцінки ефективності досліджень застосовують критерії результативності.

Фундаментальні дослідження створюють прибуток та економічний ефект інколи у далекій перспективі і їх важко оцінювати кількісно. Тому застосовуються якісні критерії: можливість використання в різних галузях виробництва, новизна явищ, відкриттів та винаходів, міжнародне визнання, пріоритет, створення напрямків прикладних досліджень [70, 71].

Прикладні дослідження оцінюються кількісними критеріями. Ефективність наукової установи або колективу оцінюється такими критеріями: середньорічного виробітку НДР, числом втілених тем, економічним ефектом втілення НДР (ДКР), кількістю публікацій та патентів, кількістю проданих ліцензій та валютної виручки [70, 71].

Ефективність праці наукового співробітника оцінюється наступними критеріями: публікаційним, новизною розробок (на рівні винаходу), економічним, цитуванням робіт. Публікаційний критерій визначає підсумкову кількість друкованих робіт, їх загальний обсяг в друкованих аркушах, кількість монографій, підручників, навчальних посібників. Публікаційний критерій не є дуже об'єктивним. Відбуваються випадки більш значної якості та віддачі певних одиничних робіт, що опубліковані в другорядних виданнях, відносно значної кількості друкованих робіт в провідних виданнях. Економічний критерій – наробка науковцем частини кошторисної вартості НДР. Суттєвим є критерій новизни, що визначається числом створених винаходів (отриманих патентів). Критерій цитування – число посилань на друковані праці науковця [70, 71].

4.2. Шляхи підвищення результативності і визначення ефекту використання наукових розробок

Одним з шляхів підвищення ефективності наукових досліджень є використання основних і проміжних результатів, що отримані установами і виробництвами максимально наукоємних галузей для підвищення якості радіо-телев'язку, інформаційних технологій, синоптичної інформації, промислового та медичного приладобудування, транспортних засобів.... Такими галузями є електротехнічна, зокрема підгалузь електромашинобудування, електронно-мікропроцесорна, ракетно-космічна, атомно-енергетична, авіаційна, кораблебудувальна і морська підводно-технічна, бронетанкова та інші військові [70, 71].

Іншими шляхами є доступність і оперативність наукових видань та зменшення терміну відпрацювання наукових статей в редакційних колегіях

провідних періодичних видань. Також важливо удосконалення системи оплати та заохочення праці науковців [70, 71].

Однак головними напрямками підвищення ефективності є достатність капіталовкладень в науку, підвищення якості освіти та кадрового складу і потенціалу науковців, а також застосування сучасного дослідницького приладного обладнання, електронно-обчислювального, вимірювального та іншого спеціального дослідницького обладнання.

В сучасній науковій діяльності якість кадрів наукових установ визначається наявністю та числом науковців з науковими ступенями докторів і кандидатів наук, та їх наявністю, крім вищих навчальних закладів і дослідних інститутів, в галузевих проектних і заводських лабораторно-дослідницьких підрозділах. Для отримання наукового ступеню необхідно підготувати і захистити дисертацію [70, 71].

Докторська дисертація повинна містити нові і не захищені раніше наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати певної галузі науки, які в сукупності уявляють новий науковий напрям або вирішують важливу наукову або науково-прикладну проблему. Кандидатська дисертація повинна містити нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують конкретну наукову задачу, яка має важливе значення для певної галузі науки. Також передбачена можливість отримання наукового ступеню за особисто підготовлену та видану у типографському вигляді наукову монографію відповідного рівня. А саме за створення нових знань та рішень наукових проблем науковець отримує науковий ступінь [70, 71].

Підвищення ефективності наукових досліджень досягається розвитком творчих здібностей здобувачів вищої освіти, а також удосконаленням системи підготовки та атестації наукових кадрів.

Ефективність використання результатів НДР (ДКР) може бути визначена критеріями втілення і економічної ефективності.

Критерій втілення K_B закінчених тем визначається наприкінці календарного року підсумком виконаних та використаних робіт m_B при загальній кількості m_T тем, що знаходяться в стадії розробки.

$$K_B = m_B / m_T.$$

Критерій економічної ефективності є основним показником і визначається

$$K_E = E_B / B_B,$$

де E_B і B_B – ефект від втілення теми і витрати на її виконання і втілення.

Крім визначених вище критеріїв, застосовується ще критерій рівня новизни досліджень і розробок, тобто число завершених робіт, за яким отримані патенти на винаходи та свідоцтва про наукові відкриття.

Застосовуються відносні показники – кількість патентів і свідоцтв, що віднесені до кількості наукових працівників колективу та відношення кількості патентів і свідоцтв до числа тем, що розроблені та в яких повинні бути створені захищені охоронними документами інновації [70, 71].

Якщо науковий колектив виконав розробки, які продані за кордон, то їх ефективність оцінюється відносним ліцензійним показником:

$$K_{\text{л}} = D_{\text{в}} / \sum P_{\text{в}},$$

де $D_{\text{в}}$ – валютний дохід держави, $\sum P_{\text{в}}$ – підсумкові витрати на виконання НДР (ДКР) та на оформлення і продаж ліцензії.

Високі показники $K_{\text{в}}$, $K_{\text{е}}$ і $K_{\text{л}}$ визначають високу якість праці наукового колективу. Однак максимально достовірним показником ефективності НДР (ДКР) є фактична економія від втілення отриманих результатів в виробництво або суспільну практику, підвищення промислово-економічного, науково-технічного та обороно-військового потенціалу держави.

4.3. Загальні прийоми, стадії і методи творчого процесу

Творчість це створення по задуму нових цінностей. Наукова і науково-технічна творчість проявляються у створенні нової та корисної для людства інформації, встановленні невідомих раніше наукових фактів, створенні та розробці відкриттів, винаходів нових предметів, методів, способів і методик. Творчість не можлива без теоретичного творчого мислення. Завдяки такому мисленню можливо спростувати наукові гіпотези, що існують, або створити нові наукові гіпотези, надати глибокі пояснення процесів або явищ, які раніше були незрозумілими або недостатньо вивченими, пов'язати сумісно різні явища, тобто знайти стрижень процесу, що вивчається, науково обґрунтувати значну кількість дослідних даних [70, 71].

В теперішній час на основі творчого процесу здійснюється удосконалення відомих рішень. Удосконалення є процесом перетворення об'єкту і предмету дослідження, тобто об'єкту мислення в оптимальному напрямку. Результат вказаного перетворення є продуктом розумової праці.

При певних умовах процес удосконалення призводить до оригінального та інноваційного конструкторського, технологічного або іншого рішення. Оригінальність проявляється у своєрідному та неповторному погляді на об'єкт і процес або явище [70, 71].

Творчий характер мислення при розробці теоретичних аспектів наукового дослідження заключається в створенні уявлень, що відповідають новим комбінаціям відомих елементів або доданні нетрадиційних і доповнюючих елементів, а також здійсненні нових зв'язків між елементами, які утворюють позитивний результат [70, 71].

Фундаментальною основою творчого процесу і наукового пізнання є методологія, яка являє собою систему принципів і способів організації та побудови теоретичної і практичної діяльності дослідника, а також є вченням про таку систему. Наукова методологія визначає об'єкт, предмет і компоненти дослідження та сукупність засобів і послідовність дій, що необхідні для успішного вирішення поставленої задачі [70, 71].

Загальна методологія науки досліджує закони розвитку наукового пізнання в цілому, однак ґрунтується на законах і досягненнях окремих наук. Методологія науки є системою методів і методик наукового пізнання та їх розвитку. Методом є спосіб досягнення позитивного результату здійснення певних дій і є шляхом пізнання. Науковий метод є комплексом певних способів, правил, прийомів і норм та базою створення методології дослідження заданого процесу або явища, а також ТО. Спосіб уявляє собою систему дій, що призводять до очікуваного та корисного результату будь-якої роботи. Методика – послідовна сукупність прийомів досягнення необхідного результату на основі відповідного теоретично обґрунтованого і визнаного методу [70, 71].

Творчий процес базується на наступних прийомах: збирання, аналізу і узагальнення інформації; постійному зіставленні та порівняльному аналізу предмету дослідження з відомими аналогами; аналізу пропозицій і способів удосконалення варіантів ТР; критичному осмисленні, чіткому формулюванні та викладенні нових уявлень і положень [70, 71].

Творчий процес теоретичного дослідження має декілька стадій. Перша стадія – знайомство з відомою інформацією, зокрема в технічних науках, з відомими конструктивно-технологічними рішеннями, методами і методиками розрахунків. Друга стадія – відмова від традиційних і відомих шляхів рішення аналогічних задач. Третя стадія – розбір і зіставлення різних варіантів рішення задач. Четверта – обрання на основі певних методу і розроблених ММ максимально раціонального варіанту рішення задачі. В технічних науках таким варіантом є глобально-оптимальне ТР [70, 71].

Якщо є значна кількість типових рішень, задача утворення оригінального та більш досконалого рішення є значно складною. Творчий процес уявляє розрив традиційних поглядів на предмети і явища та розгляд їх з іншої, нетрадиційної точки зору.

Успішне виконання наукового дослідження залежить, крім здібностей і працездатності дослідника, від володіння дослідником методами дедукції і індукції. Дедуктивний метод – це спосіб дослідження, при якому власні окремі положення виводяться із загальних. Індуктивний метод визначає можливість дослідження, при якому по окремим (частковим) факторам і явищам встановлюються загальні принципи і закони. Індуктивний метод є

розповсюдженим, подібним методом на основі властивостей окремих елементів Менделєєв сформулював періодичний закон хімічних елементів [70, 71].

При теоретичних дослідженнях використовують як дедукцію, так і індукцію. Обґрунтування гіпотези дослідження у відповідності до фізичних законів і діалектики природознавства здійснюється шляхом дедукції. При цьому гіпотезу формують на основі окремих фактів (індукції) [70, 71].

В теоретичних дослідженнях також застосовуються логічний та історичний методи. Логічний метод складається з гіпотетичного і аксіоматичного підходів.

Гіпотетичний підхід оснований на розробці гіпотези, тобто наукового припущення, що містить елементи новизни і оригінальності. Гіпотеза повинна у певній мірі пояснити явище або об'єкт і предмет дослідження та мати експериментальне підтвердження. Цей підхід є основним і у певній мірі розповсюдженим в прикладних і технічних науках. Гіпотеза уявляє сутність, методичну основу, теоретичне передбачення. На стадії формування гіпотези теоретичну частину необхідно поділити на окремі питання, що дозволяє спростити їх проробку. На її основі та критичного аналізу науковець формує власні пропозиції і здійснює розвиток теоретичних положень, що існують, або пропонує нове, більш раціональне рішення задачі [70, 71].

Аксіоматичний підхід оснований на очевидних положеннях, що приймаються без доказів. За цим підходом теорія розробляється на основі дедуктивного методу, більш широке розповсюдження цей підхід отримав в фізико-математичних науках [70, 71].

Історичний метод дозволяє дослідити виникнення, формоутворення та розвиток процесів і об'єктів та подій в хронологічній послідовності, що дозволяє виявити внутрішні та зовнішні зв'язки, закономірності та протиріччя. Такий метод дослідження використовується головним чином в суспільних і історичних науках. В прикладних науках такий метод застосовується для вивчення розвитку і формування різних галузей науки і техніки [70, 71].

Між логічним і історичним методами існує єдність, яка ґрунтується на тому, що будь-яке логічне пізнання повинно розглядатися в історичному аспекті [70, 71].

Основні методи дедукції і індукції доповнюються методом відповідності досліджень діючої системи законів і закономірностей техніки, яким повинен відповідати новий ТО. При цьому основою інженерної творчості є евристичний метод. Цей метод в останні десятиріччя доповнюється комп'ютерними методами інженерної творчості. Системне використання евристичного і комп'ютерного методів обумовлює наявність систем пошуку та обробки інформації у вигляді баз даних і застосування засобів

обчислювальної техніки та програмування. У процесі подальшого розвитку і поєднання евристичного та комп'ютерного методів досліджень можливо створення корисних систем штучного інтелекту, які забезпечать нові можливості розвитку та прогресу людства [70, 71].

4.4. Способи спрощення рішень складних задач і методологія моделювання

Особливу роль в теоретичних дослідженнях виділяють способи спрощення рішень складних завдань. Основними способами таких рішень є аналіз і синтез, абстрагування і формалізації, а також конкретизації і сходження від абстрактного до конкретного [70, 71]

Аналіз – спосіб наукового дослідження, при якому природне, фізичне, інколи техногенне явище або фізичний процес чи ТО розділяється на окремі частини. Синтез – протилежний аналізу спосіб, що уявляється в дослідженні вказаних явищ або об'єктів в цілому на основі об'єднання системних зв'язків одних елементів з іншими елементами в одне ціле. Синтез дозволяє узагальнити поняття, закони, теорії та об'єднати окремі елементи предмету дослідження в єдине ціле. Методи аналізу і синтезу взаємопов'язані, їх однаково застосовують в дослідженнях.

Задачі аналізу характеризуються тим, що задані процеси або ТО, необхідно визначити їх властивості засобами математичного і фізичного моделювання та обчислювальної техніки. Задачі синтезу відрізняються тим, що задані певні необхідні вимоги і властивості. Необхідно визначити певні умови і параметри впливу на процес та відповідно конструктивний і фізичний вигляд та параметри ТО, що задовольняють умовам завдання.

При аналізі процесів і явищ виникає необхідність розглядання значної кількості фактів та ознак. Необхідно уміти виділяти головне, тобто виключати усе другорядне, що суттєво не впливає на відображення процесу або явища, що розглядається. Тому для спрощення рішення задачі приймаються певні припущення, які не викликають появ значних погрешностей та зниження якості дослідження. Застосовується метод абстрагування, тобто відволікання від другорядних фактів або чинників з метою зосередження на найважливіших особливостях явища, що вивчається.

У більшості досліджень застосовується метод формалізації, який уявляється в тому, що основні наукові положення, що описують процеси і явища, подаються у вигляді ММ, тобто формул та рівнянь. На основі ММ встановлюються закономірності між фактами та чинниками, що вивчаються та створюються. Таким чином здійснюється об'єктивне відображення фізичних

процесів і можливостей впливу на них та можливостей проектних розрахунків ТО [70, 71].

Метод конкретизації уявляється в дослідженні предмету з урахуванням різноманітності та багатогранності його особливостей і властивостей. Сходження від абстрактного до конкретного уявляє двохетапний метод переходу від конкретизації до абстрагування з подальшим сходженням від абстрактних визначень до конкретних уявлень [70, 71].

В прикладних і технічних науках для виконання досліджень створюють моделі, зокрема математичні та фізичні, а інколи мисленні, інтуїтивні.

Як вже вказано вище, модель – штучно-створений аналог об'єкту дослідження. Під моделлю уявляється система, що відображає основні властивості такого об'єкту. Модель – зображення в зручній формі багаточисельної інформації про природній об'єкт або ТО чи явище, що вивчається. Вона знаходиться в певній відповідності з вказаним об'єктом, або явищем і дозволяє отримати необхідну інформацію. Метод моделювання, тобто вивчення явищ, процесів, систем, об'єктів за допомогою моделей, є основним в сучасних дослідженнях.

Фахівці високої кваліфікації, які мають певні здібності, знання і досвід, можуть виконувати експертну оцінку об'єктів і предметів дослідження і здійснювати мисленні експерименти та створювати інтуїтивні моделі певних об'єктів.

Основним є спосіб математичного моделювання за допомогою ММ у вигляді систем рівнянь, алгоритмів, розрахункових формул. Розширення можливостей математичного моделювання забезпечується застосуванням досягнень прикладної математики, тобто приблизних та чисельних методів та методів комп'ютерного програмування і при застосуванні пристроїв електронно-обчислювальної техніки. При математичному моделюванні фізика явищ може відрізнитись, при цьому математичні залежності можуть бути однаковими. Наприклад розподіл в просторі, як теплового так і магнітного полів, в залежності від наявності та відсутності в досліджуваній області польових джерел, визначаються відповідно рівняннями Пуасона і Лапласа. Математичне моделювання має особливу цінність при вивченні дуже складних процесів і явищ [18, 19].

При фізичному моделюванні фізика явищ в об'єкті і натурної моделі та їх математичні залежності є однаковими. Фізичні моделі дозволяють наочно уявити процеси, що протікають натурно. За допомогою фізичних моделей можна вивчати вплив окремих параметрів на течію фізичних процесів. Натурні моделі уявляють собою об'єкти, що змінюються (у більшості зменшуються) масштабно, однак дозволяють дослідити процеси, що існують в натурних умовах [20].

Стандартних рекомендацій по обранню методології побудові і застосуванню моделей не існує. Обрання методу і методології моделювання є виключною компетенцією дослідника. Модель повинна відображати сутність явища, процесу, ТО. Незначні фактори, значна деталізація, другорядні явища значно ускладнюють модель, тому обґрунтовано відкидаються. При цьому модель повинна бути адекватною, тобто вірно відображати явище, процес та об'єкт і предмет дослідження у цілому [70, 71].

5. ВИКОНАННЯ ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Особливості теоретичних досліджень

Будь-яке теоретичне дослідження починається з аналізу стану теорії і практики об'єкту і предмету наукової роботи. На цьому етапі за даними вітчизняної і закордонної літератури, науково-технічних звітів, дисертацій, патентної документації та інших матеріалів виявляється сучасний стан, перспективи розвитку і практичного застосування досліджуваних питань. Об'єм науково-технічної інформації зростає вдвоє кожні 10 років. При значному об'ємі різновидів інформації важко визначити напрям успішного вирішення поставлених задач. Узагальнення аналізу і висвітлення стану питання дозволяє створити висновки, в яких наводиться конструктивна критика відомих рішень і методик та їх характеристик. Вказуються причини, внаслідок яких отримані раніше результати розвитку предмету дослідження певної галузі науки не задовольняють сучасним вимогам практики. Визначається коло проблемних питань, що розглядаються і задач, які необхідно вирішити. Наукова робота повинна містити головну нову наукову ідею і отримані на її основі та маючи з нею внутрішню єдність нові наукові і

практичні результати. Крім ТО все більш суттєве значення мають дослідження з питань прогнозування і економічного обґрунтування, а також організації виробництва, оптимізації структур підприємств, інформаційних і управлінських процесів [70, 71].

В технічних науках до нових наукових результатів відносяться: удосконалення і розробка нових методів аналізу, синтезу, оптимізації та підвищення технічного рівня предмету дослідження; розробка ММ аналізу, синтезу, оптимізації ТО, їх статичних і динамічних режимів і характеристик; пропозиції нових та удосконалення відомих критеріїв оцінки досліджуваних параметрів ТО з урахуванням показників їх енергетики, швидкодії, надійності, технічних характеристик; конкретні рівняння і формули розрахунку параметрів та характеристик ТО.

До нових практичних результатів можуть бути віднесені: розробка інноваційних проектів та їх втілення; розробка методик і алгоритмів розрахунків та керівних матеріалів.

Нові наукові і практичні результати обов'язково повинні бути пов'язані причинно-наслідковим зв'язком.

Безліч технічних, фізичних, економічних та інших процесів досліджують математичними методами, які поділяються на основні групи.

Аналітичні методи з застосуванням як елементарної так і вищої математики (алгебра, геометрія, тригонометрія, диференціальне, інтегральне та варіаційне обчислення, векторний аналіз ...). Такими методами визначаються математичні залежності між параметрами ММ. Аналітичний шлях дозволяє визначати точні кількісні зв'язки між аргументами і функціями, здійснити глибокий аналіз предмету дослідження. Недоліком аналітичних методів є виникнення інколи складності або відсутності можливості окремого рішення, що притаманне конкретному ТО, процесу або явищу та виникнення складнощів визначення умов однозначності у виді межових умов. Визначення межових умов потребує проведення достовірного досліду і ретельного аналізу експериментальних даних. Невірне визначення межових умов призводить до створення неадекватних ММ. При певній складності фізико-технічних процесів і ТО інколи неможливо визначити аналітичне рішення деяких задач. В таких випадках застосовуються методи математичного аналізу з використанням експериментів (теорія тотожності, метод розмірності, метод планування експерименту...), а також чисельних методів. Комбінацією математичного аналізу, експерименту і комп'ютерного моделювання отримуються нові дані про функціональні зв'язки і властивості предмету дослідження і ММ [70, 71].

5.2. Методологія експериментальних досліджень

Експериментальні методи дозволяють глибоко вивчити процеси та явища в межах точності техніки дослідів і концентрації уваги на параметрах, що мають максимальний вплив і уявляють головний інтерес. Однак з експерименту дуже складно та інколи неможливо остаточно визначити, які з параметрів є основними і як буде протікати процес, якщо усі параметри змінюються одночасно. Експериментальні методи дозволяють отримати залежності між окремими змінними об'єкту або процесу оптимізації та управління в певних межах їх змін і інтервалів зміни режимів функціонування, що досліджуються. Аналіз зміни характеристик за вказаними межами і інтервалами без додаткових експериментів призводить до помилок [70, 71].

Експеримент є дуже важливим способом отримання нових наукових знань, що уявляє науково поставлений досвід або спостереження явищ та функціонування певних ТО в певних заданих умовах. Такі умови дозволяють слідкувати за ходом експерименту і керувати ним та відтворювати при необхідності. Від звичайного пасивного спостереження експеримент відрізняється активним впливом дослідника на явище або ТО, що вивчається.

Експерименти поділяються на штучні і природні. Штучні експерименти ставляться в природних і технічних науках, а природні виконуються в гуманітарних науках і дослідженні соціальних явищ. Також експерименти поділяються на лабораторні і виробничі. Лабораторні дослідження виконують з застосуванням типових приладів, моделювальних стендів і пристроїв та іншого обладнання. Надається можливість доброякісного вивчення впливу певних параметрів і характеристик на предмет дослідження з мінімальними витратами. Виробничі експерименти вивчають процес в реальних умовах з обґрунтуванням впливу випадкових факторів виробничого середовища [70, 71].

В залежності від теми дослідження об'єми експериментів є різними. Іноді достатньо одного лабораторного експерименту, а часто необхідна серія експериментів, тобто попередніх пошукових, лабораторних дослідницьких і доводочних та остаточно виробничих або полігонних. На основі експериментальних досліджень надається можливість отримання емпіричних діаграм і графіків, які є важливими для практичного застосування [70, 71].

При виконанні тривалих експериментів або їх серії на обробку результатів необхідні значні витрати часу та певні інші витрати. Інколи визначається, що виконано непотрібні та зайві експериментальні дії. Також інколи тривалі експериментальні дії не підтверджують робочу гіпотезу дослідження, або необхідну адекватність теорії і методики розрахунку. Тому перед експериментами необхідно розробити методологію експерименту.

Методологія експерименту – загальна структура, тобто постановка і послідовність виконання експериментальних досліджень. Методологія експерименту включає наступні основні етапи: розробка плану-програми; оцінка

вимірів і обрання засобів виконання; проведення експерименту; обробка і аналіз отриманих даних. Наведені етапи є традиційними. В останній час застосовують математичну теорію експерименту, яка дозволяє підвищити точність і знизити об'єм експериментальних робіт. Основа плану-програми визначає методикку експерименту та визначає його мету і задачі. Для конкретного експерименту оптимальними є 3-4 задачі, для комплексного експерименту 8-10 задач.

Необхідно вірно обрати фактори, що варіюються, визначити основні і другорядні характеристики, які впливають на процес. Аналізуються схеми процесу, обираються основні і другорядні взаємні впливи і залежності між ними. Інколи виконують попередній пошуковий експеримент.

5.3. Основні сучасні методи прикладних досліджень

Постійне та зростаюче збільшення різноманітності розробки і виробництва ТО та пропозицій їх нових ТР обумовили появу системних досліджень. При цьому виникло поняття і наукова категорія структури, яка властива ТО довільної фізичної природи. Актуальність рішення питань вивчення і узагальнення структурної різноманітності складних ТО обумовила інтенсивний розвиток структурно-системних досліджень. Їх основною метою є виявлення характерних законів організації, функціонування та розвитку складних еволюціонуючих ТО різних науково-виробничих галузей. Виник науковий напрям, що має назву "Загальна теорія систем", що вивчає системні закони, які проявляються в ТО різної фізичної природи, тобто законів, які є формально ідентичними, але діють в абсолютно різних явищах та технічних галузях [70, 71].

Структурно-системні дослідження дозволяють виявити раніше невідомі зв'язки та аналогії між явищами і об'єктами різної фізичної природи. Це відкриває можливості застосування ідей і підходів певної більш дослідженої науково-технічної галузі в іншу галузь з початковою стадією досліджень.

Особливого значення структурно-системні підходи набувають при системному проектуванні складних об'єктів нової техніки, наприклад комплект – електропривод в складі регульований асинхронний двигун – напівпровідниковий перетворювач – мікропроцесорний регулятор – компоненти контролю і захисту.

Структурно-системні дослідження мають безпосереднє відношення до проблеми побудови узагальнених моделей системного аналізу та визначення меж їх коректного застосування щодо існуючих структурних видів і класів різноманітних ТО.

Велика різноманітність ТО, зокрема електромеханічних, може розглядатись як цілісний еволюціонуючий клас природно-антропогенних

систем, наділених власною генетичною структурою. Це надає можливість систематизації існуючих і передбачення їх нових структурних різновидів та конструктивних рішень [17].

Системний аналіз уявляє сукупність прийомів і методів вивчення складних процесів, а також ТО, в яких відбувається складна взаємодія комплектуючих елементів. Взаємодія цих елементів здійснюється застосуванням прямих і зворотних зв'язків різної фізичної спрямованості, наприклад електро, гідро, пневмо, тепло різновиди автоматики у відповідності з технічною системою. Сутність системного аналізу складається в визначенні можливостей ефективного впливу на предмет дослідження та здійснювати такий вплив шляхом оптимізації процесів управління і обрання ефективних варіантів та засобів керування у відповідності з критеріями оптимізації [70, 71].

В останні десятиліття створені нові можливості наукових досліджень на основі досягнень прикладної математики і обчислювальних методів та побудови комп'ютерних пристроїв. В теперішній час отримали поширене застосування методологічні засоби системного аналізу (дослідження операцій, теорія управління, теорія множин...) з застосуванням чисельних методів прикладної математики, програмування і обчислювальної техніки. Одним з комплексних методів дослідження випадкових процесів є вірогідностно-статистичний. Для дослідження складних процесів вірогіднісного характеру застосовується метод Монте-Карло, який є чисельним та інші чисельні методи [21].

5.4. Методологія планування експерименту

Засобом підвищення продуктивності наукових теоретичних і експериментальних досліджень є застосування методології планування експерименту. Теорія планування експерименту вважається окремим дослідницьким напрямком [22, 23] і застосовується в різних науково-технічних галузях. Предметом вказаного напрямку, який мав розвиток як гілка математичної статистики, є тлумачення аналітичного або дослідного експерименту як сукупності операцій впливу на об'єкт дослідження з метою визначення його властивостей. Метою планування експерименту є визначення умов і правил проведення досліджень, що забезпечують максимально достовірну інформацію з мінімальними втратами. Також методологія планування експерименту, згідно [22, 23], забезпечує уявлення інформації в компактній і зручній для використання формі з кількісною оцінкою точності. Надається можливість спрощення дослідження складних об'єктів і процесів де різні за фізичною природою явища відбуваються сумісно. До таких ТО відносяться

електромеханічні пристрої і системи, в яких відбувається сполучення електромагнітних, механічних і теплових явищ [70, 71].

Будь який електромеханічний ТО характеризується властивостями і показниками та сукупністю конструктивних і фізичних ознак. Також показники таких ТО визначаються набором параметрів, що забезпечують задані характеристики і входять в ММ статички, динаміки та проектування. Конструктивні і фізичні ознаки електромеханічних ТО пов'язані з їх параметрами складними рівняннями, що відображають дію сукупності вище названих фізичних процесів і відповідних законів. На основі цих рівнянь виконуються рішення задач аналізу і синтезу рухомих і статичних ЕМ та електротехнічних систем і комплексів. Задачі синтезу електромеханічних ТО є більш складними відносно їх аналізу, тому що визначаються складними нелінійними рівняннями. Ці рівняння не інтегруються і не вирішуються аналітично, тому що є функціями інколи значної сукупності змінних та регламентуються низкою експлуатаційних, конструктивних, фізичних і економічних обмежень [70, 71].

Процедура планування експерименту уявляє обрання числа і умов проведення проектних дій або дослідів, які необхідні та достатні для рішення покладеної задачі з необхідною точністю. Відповідно до [22, 23] умовами подібного планування є намагання мінімізації числа дослідів, одночасне варіювання усіх змінних, що визначають фізичний процес або показники ТО, а також застосування математичного апарату, що формалізує значну частину дій експериментатора [70, 71].

Для визначення об'єкту дослідження використовується кібернетичний принцип "чорної скриньки" (рис. 5.1). Вважається, що дослідник може спостерігати входи і виходи "скриньки" та визначити залежність між ними за результатами спостережень. Входи можуть змінюватись керовано або випадково.

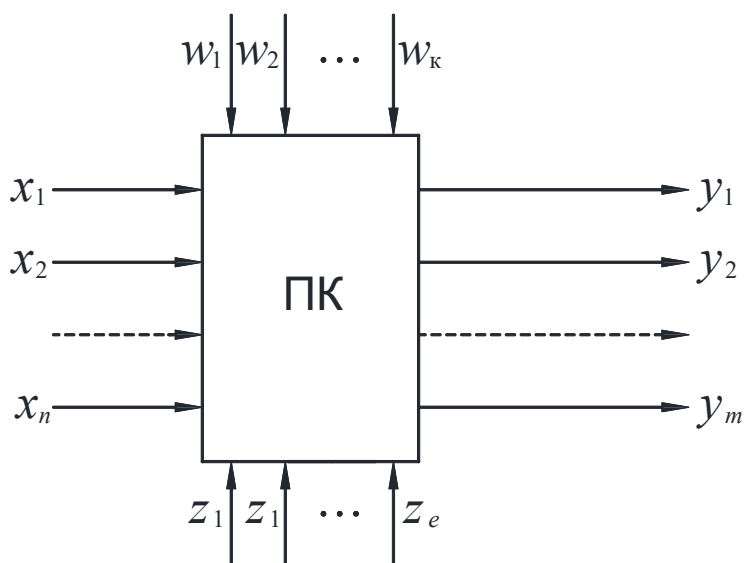


Рис. 5.1. Умовна схема об'єкту дослідження

Існують сукупності вхідних контролюємих і керованих параметрів X , вхідних контролюємих, але не керованих параметрів Z та неконтролюємих випадково змінювальних параметрів W , які впливають на вихідні сигнали Y об'єкту, який спостерігається:

$$X = (x_1, \dots, x_k); Z = (z_1, \dots, z_l); \\ W = (w_1, \dots, w_n); Y = (y_1, \dots, y_m).$$

Комплекс параметрів X вважається основним та таким, що визначає умови експерименту, а значення $x_1, \dots, x_k$ називаються факторами. Випадковими вважаються параметри, які важко або неможливо врахувати. Вихідна залежна змінна y називається відкликом (реакцією). Фіксовані значення факторів називаються рівнями, які устанавлюються для кожного фактора при визначенні умов здійснення експерименту. Множність факторів, що контролюються дослідником, називається факторним простором [70, 71].

Метою експерименту є знаходження функції відклику y , що складається з двох компонент

$$y = f_{B1}(x_1, x_2, \dots, x_k) + f_{B2}(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

де $f_{B1}(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – функція зміни відклику під впливом факторів; f_{B2} – випадкова похибка експерименту; $x_1, x_2, \dots, x_k$ – певні поєднання рівней факторів з факторного простору.

В умовах експерименту фактори можна варіювати та досліджувати їх вплив на спостерігаєму змінну. Фіксований набір рівней факторів визначає один з можливих станів "чорної скриньки". Одночасно кожне значення набору є умовою проведення одного з можливих дослідів. Перебор можливих наборів станів об'єкту визначає число можливих дослідів. Визначення числа можливих станів відповідає числу рівней факторів P в ступені числа факторів k , тобто P^k .

Визначення мінімального числа дослідів здійснюється наступними етапами планування експерименту. За першим етапом визначається параметр, який необхідно оптимізувати. Параметр оптимізації повинен бути ефективним з точки зору досягнення мети, універсальним, тобто всебічно характеризувати об'єкт, кількісним з конкретним значенням та таким, що має фізичний сенс і можливість розрахунків, а також прийнятним для усіх станів об'єкту. Для отримання результатів в універсальній формі необхідно застосування відносних одиниць, тобто перетворення розрахункових параметрів в безрозмірні фактори. За другим етапом визначаються усі фактори, що впливають на процес планування та задовольняють умовам керованості та підтримки постійного значення або зміни по заданій програмі в процесі експерименту. За третім етапом здійснюється вибір моделі, тобто визначення виду функції Y , яка в першому

наближенні уявляється поліномом. Четвертим етапом перевіряється вимога аналітичності; а саме можливості адекватного математичного опису функції відклику, тобто визначення цієї функції з заданою точністю. Адекватність визначається після здійснення дослідів. В п'ятому етапі визначаються основний рівень і інтервал варіювання кожного фактору. Для кожного фактора визначаються значення двох рівней, в межах яких він буде варіюватися в експерименті. Ці значення уявляють інтервали варіювання. Інтервал варіювання не може бути меншим похибки рівня фактору і не може бути значним, тобто таким, що верхній та нижній рівні виявилися за межами області визначення. В загальному випадку експеримент в якому реалізуються усі можливі сполучення рівней факторів, вважається повним факторним експериментом [70, 71].

Планування експерименту забезпечує процес визначення мінімального числа і умов проведення дослідів, які необхідні і достатні для рішення поставленої задачі з заданою точністю. Методом планування експерименту вирішуються екстремальні задачі (пошук умов процесу або синтезу ТО з забезпеченням оптимальних значень певних параметрів) і інтерполяційні задачі складання інтерполяційних формул, що дозволяють визначити значення досліджуваного параметру.

6. ЕВОЛЮЦІЯ І ФАКТОРИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

6.1. Ієрархія розвитку технічних об'єктів

Результатами наукових досліджень в галузі промисловості, енергетики і транспорту є нові інноваційні більш досконалі і ефективні ТО та технології.

Кожен ТО і будь-яка технологія можуть бути представлені у системному виді описами, що мають ієрархічну упорядкованість. Ієрархія в загальній теорії систем означає розташування частин або елементів цілого в порядку від вищого до нижчого. Ієрархічні описи характеризують наступні поняття: потребу, або функцію ТО, технічну функцію (ТФ), функціональну структуру (ФС), ФПД, ТР, проект [3].

Ієрархію цих описів характеризує рис. 6.1.

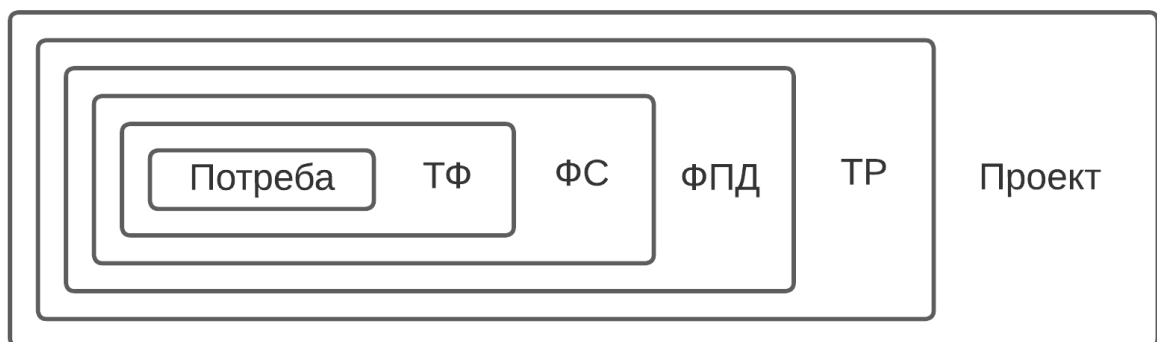


Рис. 6.1. Ієрархія опису технічного об'єкту

Поняття потреби визначає призначення ТО або мети його створення та відповідає на питання, що бажано визначити. Опис потреби P можливо формулювати у вигляді трьох компонент [3]:

$$P = (D, \Pi, O), \quad (6.1)$$

де D – вказівка дії, що виконує ТО при отриманні бажаного результату;

Π – вказівка об'єкту, або предмету праці, на яку направлена дія D ;

O – вказівка обмежень і особистих умов, при яких виконується дія D .

Поняття ТФ F містить інформацію потреби, яку може задовільнити ТО та фізичну операцію, що реалізує потребу

$$F = (P, Q),$$

де Q – фізична операція, що уявляє фізичне перетворення заданого вхідного потоку, або фактора, у вихідний потік, або фактор.

Опис фізичної операції формалізовано визначається трьома компонентами:

$$Q = (A \rightarrow B \rightarrow V),$$

де A і V – відповідно вхідний і вихідний потоки (фактори) речовини, енергії або сигналів;

B – найменування операції перетворення A в V .

Відповідно до компоненту Q фізична операція є фізичним перетворенням заданих вхідних факторів. Приклад опису фізичних операцій наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Приклади опису фізичних операцій

Найменування технічного об'єкту	A	B	V
Електричний освітлювач	Електричний струм	Перетворення	Світловий потік
Електрична піч	Електричний струм	Перетворення	Тепло
Електричний індукційний двигун	Електричний струм	Перетворення	Обертання механізму
Електричний генератор	Механічна енергія обертання та джерело магнітного поля	Перетворення	Електричний струм

Більшість ТО складаються з декількох або багатьох елементів (вузлів, агрегатів, блоків). Тому ТО можуть бути поділені на частини, що виконують певні функції та фізичні операції. Такі частини утворюють конструктивну ФС, що поєднана функціональними зв'язками. Крім таких зв'язків, між елементами ТО існують потокові енергетичні та інформаційно-керуючі зв'язки, що об'єднують і пов'язують вказані елементи та їх фізичні операції і

утворюють потокову ФС. Таким чином існують і взаємодіють ФС двох видів – конструктивна ФС і потокова ФС, які взаємодоповнюють одна другу [3].

Опис ФПД містить принципову схему ТО з основними елементами, що забезпечують реалізацію його призначення і функціонування, а також напрямку вказаних вище потоків. Така схема полегшує наступну розробку (конструювання) ТО з раціональним вибором складових частин.

Термін ТР уявляє конструктивне і технологічне оформлення ФПД та конструктивної і потокової ФС. ТР характеризується ознаками: переліком основних та допоміжних елементів, взаємним розташуванням сукупності елементів в просторі та способами і засобами з'єднання та зв'язків цих елементів, послідовністю їх взаємодії, а також особливостями конструктивного виконання елементів (геометрична форма, матеріал) і співвідношення параметрів ТО в цілому та його окремих важливих елементів. ТР конкретного ТО доцільно описувати у виді ієрархічного набору, тобто спочатку пристрою (системи) в цілому, потім кожного елементу (блоку), потім кожного вузла елементу і так далі. Описи доповнюються кресленнями. ТР є загальним «безрозмірним» описом ТО, яке може мати різні параметри та кількісні характеристики (потужність, маса, габарити, частота обертання, продуктивність тощо). Важливим прикладом опису ТР є описи винаходів в патентній документації [70, 71].

На відміну від ТР в проекті задаються параметри і бажані показники ТО та надається інформація про виготовлення і експлуатацію. Проект включає компоненти конструкторської і технологічної документації, яка дозволяє створити ТО та здійснити його виготовлення на відповідному виробництві.

6.2. Критерії і умови розвитку технічних об'єктів

Серед параметрів і інших даних, що характеризують будь-який ТО, є показники, що визначають міру досконалості і прогресивності та суттєво впливають на розвиток окремих різновидів ТО і техніки в цілому. Такі параметри і показники мають назву критеріїв розвитку ТО. Оскільки будь-який ТО, як правило, має декілька критеріїв розвитку, то головним фактором прогресивного розвитку ТО є покращення одного або декількох основних критеріїв без погіршення інших менш значних критеріїв [70, 71].

Критерії розвитку ТО в цілому є однаковими і поділяються на чотири групи: функціональні, що характеризують важливі показники реалізації функцій ТО; технологічні критерії, що пов'язані з можливістю і простотою виготовлення ТО; економічні критерії, що визначають економічну доцільність реалізації певної функції за допомогою ТО; антропологічні та екологічні критерії, що пов'язані з питаннями людського фактору, або впливу

позитивних і негативних факторів на людину та навколишнє середовище, які обумовлені ТО.

Систематику критеріїв розвитку надано на рис. 6.2.

Критеріям розвитку ТО (рис. 6.2) відповідають нижчеперелічені умови, за допомогою яких для будь-яких ТО різних галузей техніки можливе виділення певних критеріїв [3].

Умова вимірності. За критерії розвитку можуть бути прийняті тільки такі показники ТО, які допускають можливість якісної оцінки по одній з певних шкал вимірів, а саме шкал відношень, шкал інтервалів, шкал порядку.

Умова співставленості. Критерій повинен мати такі одиниці вимірів, які дозволять порівнювати аналогічні ТО різних структурно-конструктивних виконань і вихідних даних, різних років виготовлення та різних держав. Співставлення доцільно виконувати на основі безрозмірних або питомих показників, які дають можливість узагальнення результатів та висновків та здійснювати порівняння аналогічних ТО без впливу фактору певних вихідних даних, зокрема потужності.

Умова винятковості. За критерії винятковості можуть бути прийняті параметри ТО, які в першу чергу характеризують його ефективність і значно впливають на його розвиток. При відсутності уваги до таких параметрів можливі безперспективні (тупікові) шляхи та пригнічення розвитку.

Умова постійності. За критерії постійності можуть бути прийняті такі параметри ТО, для яких завжди виконується умова винятковості.

Умови мінімальності і незалежності. Сукупність критеріїв розвитку повинна містити тільки такі ознаки, які не можуть бути логічно отримані з інших критеріїв і не є їх прямими наслідками [70, 71].



Рис. 6.2. Систематика критеріїв розвитку техніки

Для виділення набору критеріїв дослідник або розробник ТО повинен уявити та врахувати наступні фактори: сутність критерія, час і причини його виникнення; формулу або спосіб виміру критерію, що включає шкали або одиниці вимірів; діапазон і характер виміру значень критерію в часі; оцінку ступеня загальності критерія.

6.3. Показники якості і перелік недоліків технічного об'єкту

Крім критеріїв розвитку, існує поняття критеріїв (показників) якості або ПТР ТО, які дозволяють виконати зіставлення альтернативних варіантів та визначити кращий варіант при ідентичності інших критеріїв (показників). До показників якості відносяться в першу чергу параметри (характеристики), зміна яких призводить до покращення якості і ефективності ТО. Відповідно під ПТР (якості) розуміється фізико-технічний, економічний або інший показник (маса, вартість, енергетичний показник, точність, швидкодія ...) по значенню якого з будь яких ТР або структур можна обрати кращу.

У будь-якого ТО в процесі виготовлення і експлуатації відразу або з часом утворюються певні недоліки (дефекти), які виникають з наступних нижчеперелічених причин. Знижені (недостатність теплового запасу або перевантажувальної здатності...) або завищені (черезмірний запас міцності, матеріалоємності...) вимоги, що закладені в технічному завданні, або недосконалість методики та похибки проектування. В технічне завдання можуть бути не включені певні суттєві умови (надійності, наявності пристроїв захисту...), або включені залишкові умови (певної форми та компактності при відсутності вимоги вбудованого розташування...). В технічному завданні визначені значення деяких параметрів або показників на рівні, що знижені відносно аналогів кращого світового рівня, або невраховані вимоги деяких показників якості. Вказані недоліки повинні бути вилучені в подальших розробках. Тому для кожного ТО, що використовується, доцільно формулювати перелік недоліків, який є основою створення вимог модернізації та майбутнього удосконалення при розробці та постановці виробництва нового покоління даного ТО. Виявлення і усунення недоліків ТО, що перебувають у виробництві і експлуатації, уявляє важливу науково-інженерну задачу. Однак нові розробки (покоління) відомих ТО обов'язково повинні мати кращі ПТР відносно попередніх аналогів [70, 71].

6.4. Ретроспективний аналіз закономірностей розвитку і ієрархічний опис інноваційного об'єкту

Будова і історичний розвиток кожного ТО та технічний прогрес у цілому підпорядковуються певним законам і закономірностям, що вказують на стійкі якісні та кількісні причинно-наслідкові зв'язки і відношення, що існують в кожних галузі і різновидах виробів промисловості. Їх врахування і аналіз дозволяє визначити нові структурно-конструктивні властивості і можливості удосконалення ТО, що перебувають у виробництві, а також створення їх нових поколінь.

Закономірності будови і розвитку техніки мають відношення до ТО з однаковими або близькими функціями. Закони техніки мають відношення до будь якого ТО і до багатьох класів ТО, що мають різні, або суттєво відмінні функції. До законів і закономірностей будови ТО відносяться стійкі ознаки в конструктивній та потоковій ФС, в ФПД і ТР, які існують та залишаються незмінними протягом історичного розвитку ТО. До законів і закономірностей розвитку техніки відносяться певні стійкі зміни деякого критерію розвитку (ПТР) або деякої кількісно визначаємої конструктивної ознаки протягом багатьох поколінь ТО. Крім того, існують і діють закони розвитку, які для багатьох класів ТО з різними функціями відображають аналогічні зміни в конструктивній і потокової ФС, в ФПД і ТР [70, 71].

Для можливості розробки ТО на рівні кращих світових взірців доцільно, відповідно до рис. 6.1, виконати нижчеперелічену ієрархічну послідовність задач обрання проектно-конструкторських рішень [3]. 1. Складається або уточнюється опис потреби. Якісний опис доповнюється кількісними характеристиками Д, П, О (6.1). 2. Обирається певна перспективна фізична операція з альтернатив, що існують. Інколи є доцільним історичний аналіз попередніх ТР, які можуть скласти альтернативу при застосуванні нових сучасних матеріалів і технологій. 3. Для реалізації однієї і тієї ж ТФ з врахуванням потреби і фізичної операції визначається декілька альтернативних ФС з яких обирається максимально раціональна. 4. У одній і тієї ж потокової ФС складові елементи ТО можуть мати різні і альтернативні ФПД, з яких також визначається максимально раціональний і ефективний. 5. Один і той же ФПД може бути реалізований декількома, а інколи значним числом практично прийнятих варіантів ТР, з яких необхідно обрати краще рішення. 6. Вирішується послідовність підзадач пошуку і обрання оптимальних параметрів ТО і його елементів на основі ітераційних процедур структурно-параметричної оптимізації (СПО) [70, 71].

Викладена ієрархія за п.п. 1-6 може скласти основу розробки ефективних методів обрання проєктно-конструкторських рішень і систем автоматизованого проєктування з оптимізаційними розрахунками, що надає можливість розробки ТО кращого світового рівня.

7. НАУКОВО-ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧІСТЬ

7.1. Патентування інноваційних досягнень

Якісно виконана наукова робота повинна містити дійсно нові наукові результати і відповідати критерію «наукова новизна». Одним із показників якості дослідження є захист хоча б одного створеного в роботі ТР винахідницьким патентним документом, що свідчить про визнання створеного в роботі ТО дійсно новим.

Згідно законодавству, винаходом визначається ТР, що задовольняє критеріям охороноздатності (патентоздатності): винахід повинен уявляти рішення, яке є новим на дату подачі заявки (потребується світова новизна), повинен володіти технічним рівнем, який перевищує рівень техніки, що існує (критерій «суттєві відміни») та бути корисним суспільству. Творча новизна виникає, якщо виготовлена не просто нова річ, а коли людиною створена належна матеріальному світу здібність, що розширює межі людських можливостей. Винахідницька діяльність заключається у виявленні та створенні в предметах, явищах та способах невідомих раніше потенціалів і здібностей, тобто в творчій новизні. При створенні нового ТО (ТР) винахідник використовує відомі матеріальні засоби («із нічого» творити неможливо), тобто перетворює їх структуру або розташовує їх в іншому середовищі, замінює деякі засоби на інші, оснащує додатковими засобами або застосовує

інші дії і прийоми. Ці зміни перетворюють попередню сутність об'єкту або процесу і обумовлюють нові та корисні властивості. Створюється нова сукупність ознак як умова признання в технічній пропозиції суттєвих відмін, тобто визнання її винаходом [70, 71].

Існує три різновиди винаходу: конструкція, спосіб виготовлення, речовина. Для підтвердження новизни і визнання ТР винаходом за спеціальними правилами готується текстовий документ з необхідним описом і кресленнями, які у лаконічній, однак в достатній мірі пояснюють сутність і забезпечують можливість практичного використання інноваційної пропозиції. Заявка на винахід направляється до державного патентного закладу, що здійснює державну патентну експертизу і при позитивному результаті видає державний патентний документ, тобто патент. Такий документ, крім літерно-цифрових ознак міжнародної класифікації винаходів та нумерацій держреєстрації заявки і патенту, містить відомості про автора (авторів) і заявника (заявників) та містить так звану формулу і опис винаходу. Формула уявляє словесне висловлення сутності винаходу у вигляді одного загального речення. Перша частина формули містить загальні з прототипом ознаки ТР, а друга частина розкриває сутність винаходу висловленням суттєвих відмін. Перед типографським виданням патенту ідентифікаційні відомості і формула винаходу публікуються в офіційному виданні-державному патентному бюлетні [70, 71].

Якщо автору (авторам) необхідна прискорена публікація відомостей про інноваційне ТР, замість заявки на винахід може бути подана заявка на корисну модель, яка розглядається без експертної перевірки на світову новизну, однак публікується аналогічно винаходу. Отримується, з можливістю повторного патентування і подальшої експертизи на світову новизну патент на корисну модель. Також якщо діяльність автора (авторів) по зміні прототипу зводиться до уточнення змісту інгредієнтів речовини, режимів або операцій в відомому способі, або взаємозв'язку елементів чи параметрів відомої структури або конструкції, то подібна інновація меншого рівня оригінальності також може бути захищена патентом на корисну модель [70, 71].

Правила складання і змісту заявок на винахід і корисну модель ідентичні. Заявка повинна містити наступні складові.

1. Назва.
2. Опис області техніки до якої відноситься ТР.
3. Опис відомих аналогів ТР, що патентується, та загальних з ним ознак, що присутні в інновації, а також конструктивна критика аналогів.
4. Опис найближчого аналога-прототипу з вказівкою загальних ознак і його конструктивна критика.
5. Формулювання ознак та суттєвих відмін винаходу (моделі), які відрізняють інноваційне ТР від прототипу.
6. Пояснення ефекту, який досягається завдяки ознакам та суттєвим відмінням винаходу відносно прототипу.
7. Короткий опис

переваг винаходу (моделі). 8. Розширений опис винаходу (моделі) з поясненням сутності по кресленням. 9. Опис роботи (дії) винаходу (моделі). 10. Опис можливого техніко-економічного ефекту від використання винаходу (моделі). 11. Формула винаходу (моделі). 12. Креслення (графічні пояснення) винаходу (моделі). 13. Реферат. 14. Заява про подання заявки з відомостями про автора (авторів) та заявника (заявників). 15. Супроводжувальний лист.

7.2. Постановка творчої інженерної задачі і визначення аналогів її рішення

Рациональна і ефективна постановка наукової і винахідницької задачі та обрання дослідницької теми передбачають аналіз певних питань, а саме: в чому складається проблемна ситуація і яка її передісторія, які фактори перешкоджають усуненню проблемної ситуації, які можливості створює рішення задачі. Також вказана постановка передбачає визначення аналогів рішення схожих задач при аналізі стану теми або ТО, що розробляється. Такі аналоги складають основу пошуку ефективного рішення проблеми. Аналогами є ТР, які є кращими на рівні світових взірців і визначаються ознаками, які присутні у ТО, що розглядається. Кращий з аналогів, який максимально наближений за ознаками, що присутні та вимогами, що пред'являються до досліджуваного ТО є прототипом. При обґрунтуванні прототипів, крім кращих зразків, обов'язково аналізуються патентні описи світових винаходів, у першу чергу за останні 5-10 років, які відповідають предмету дослідження та об'єкту розробки. Якісне уявлення функцій та вимог до таких предмету і об'єкту надає можливість створення якісного технічного завдання на нову розробку [70, 71].

Аналоги об'єкту розробки мають певні недоліки, які частково усунені в прототипі. Необхідним є виявлення всіх недоліків прототипу. Усунення цих недоліків забезпечує отримання покращеної модифікації предмету дослідження і розробки ТО на рівні винаходу та технічний прогрес у певній галузі. Необхідно визначити критерії розвитку предмету дослідження та показники, які необхідно покращити, а також фактори впливу на такі показники. Перелік критеріїв і показників з їх якісною оцінкою повинен відповідати недолікам прототипу. Виявляються напрямки перетворення складових прототипу, що надають можливість усунення його недоліків. Інколи доцільно виконати аналіз причин виникнення недоліків прототипу, що сприяє можливості їх вилучення шляхом усунення таких причин. Також покращення властивостей і характеристик предмету дослідження пов'язано з подоланням протиріч розвитку. Наприклад покращення деякого показника об'єкту розробки призводить до суттєвого погіршення одного або декількох

інших важливих показників (підвищення вартості, трудомісткості виробництва...). Можливі інші обмеження розвитку, що обумовлені фізичними властивостями, наприклад підвищення потужності турбогенератора обмежено з механічних причин діаметром і довжиною ротора, незважаючи на нелінійне збільшення потужності електричної машини з зростанням розмірів і маси.

7.3. Формулювання поняття ідеального технічного рішення

Документальними результатами інтелектуальної інженерної творчості є патенти при створенні описів яких використовується поняття прототипу та здійснюється аналіз недоліків прототипу. При цьому відповідно до методу ідеалізації доцільне уявлення ідеального технічного рішення прототипу.

Технічне рішення є ідеальним, якщо воно має одне або декілька наступних властивостей. 1. В ідеальному прототипі втрати наближаються до нуля, а коефіцієнт корисної дії наближається до 100%. 2. Усі частини прототипу виконують корисну роботу в певній мірі своїх функціональних призначень і можливостей. 3. Ідеальний прототип надійно функціонує безкінечно або тривалий час без пошкоджень і зупинок. 4. Ідеальний прототип функціонує без втручання, або з мінімальною участю людини. 5. Ідеальний прототип повністю не є шкідливим для людини, природи і навколишнього середовища. 6. Матеріаломісткість елементів прототипу наближається або відповідає їх матеріальним заготовкам, тобто відходи виробництва мінімальні, або відсутні.

При формуванні ідеального ТО не слід брати до уваги практичну неможливість досягнення повного ідеалу, а також яким чином здійснюється реалізація його створення. Формулювання ідеалу дозволяє в багатовимірному просторі визначити раціональні і перспективні напрямки пошуку.

У відповідності з прагненням до ідеалу визначаються вимоги до уточнення прототипу і можливості їх виконання. Інколи доцільно послабити несуттєві вимоги, якщо така дія призведе до більш значного виграшу по максимально важливим показникам.

Перетворення прототипу ТО, що підлягає удосконаленню, починають за допомогою обраних прийомів. Фіксуються ідеї покращення ТР цього ТО у виді короткого опису, або спрощеної схеми. Набором прийомів отримуються варіанти змін сутності ТР. Якщо вони не задовольняють умові удосконалення, то доцільно кращий з отриманих варіантів обрати прототипом. Такий прототип підлягає аналізу і перетворенню за допомогою певних евристичних прийомів. При цьому варіанти покращених припустимих ТР необхідно отримувати тільки з врахуванням головного недоліку або головного

протиріччя розвитку. В подальшому такі рішення використовуються як прототипи для пошуку нових покращених ТР, що враховують інші недоліки і протиріччя розвитку. В результаті отримують нову множинність покращення ТО на основі допустимих ТР.

Від формулювання уявлення ідеального варіанту нової розробки ТО залежить вибір напрямків пошуку засобів і ТР усунення наявних протиріч і недоліків його будови або технології виготовлення, або недоліків техногенних процесів. Різновиди ТО, що обтяжені недоліками (недостатні енергетичні, масогабаритні, технологічні і інші показники) є прототипами нових конструкторсько-технологічних рішень. При аналізі наявних недоліків виникають уявлення їх усунення на основі синтезу нових ТР шляхом деяких змін сутності прототипів. Ці зміни базуються на використанні ефектів структурно-геометричних перетворень і застосуванні певних фізичних явищ (зміна розподілу магнітного поля, зміна насичення елементів магнітного кола), а також зміни сукупності дій та функцій окремих елементів ТО. Ідеї удосконалення ТО визначаються сукупністю властивостей елементів і середовищ, що відповідають меті та позитивному впливу інноваційних перетворень. Доцільно виявлення можливостей виконання нових функцій вже наявними елементами ТО при зміні їх властивостей. Якщо такі елементи неможливо пристосувати до нових додаткових функцій, необхідно введення достатнього мінімуму додаткових елементів, які забезпечують виконання поставленої задачі [70, 71].

7.4. Евристичні та інші прийоми рішення наукової задачі

З стародавніх часів перед людиною виникала ситуація, що наявні засоби праці, або озброєння не задовольняють новим вимогам, або мають недоліки, які з часом стають неприпустимими. Людина намагається отримати покращені ТР на основі логічного аналізу і застосування засобів усунення недоліків або шляхом пошуку і пристосування для досягнення бажаного результату певного рішення, що існує в природі або в іншій області техніки, або шляхом цілеспрямованих або випадкових змін прототипу. Вказані шляхи мають назву методу проб та помилок. Такий метод є самим стародавнім і на його основі виник метод евристичних прийомів, що передбачає певні дії і перетворення, які наведені в табл.10.1.

Більш ефективний пошук інноваційного рішення за допомогою евристичних прийомів здійснюється на основі уточненої постановки завдання і вірного обрання прототипу та визначення його недоліків, які необхідно усунути. Виходячи з наявної інформації обирається певний евристичний прийом (табл. 7.1). За допомогою інтуїтивних і інтелектуальних власних

можливостей, винахідник обирає та здійснює прийом, який максимально корисний для рішення поставленої задачі. Фіксуються ідеї покращення ТО у виді коротких описів та схем. Набором прийомів і їх комбінацій отримують певні ТР та здійснюється логічне обґрунтування їх переваг і доцільності застосування. Якості винахідницьких пропозицій залежать від навичок, досліду, кваліфікації та здібностей фахівця.

Активізації інноваційних здібностей фахівця сприяють наступні методи: «контрольних питань», «мозкового штурму», «морфологічних таблиць», «алгоритму рішення винахідницьких задач» та інші [3].

Метод контрольних питань уявляється в складанні переліку питань, які дозволяють зосередити основну увагу дослідника на окремих сторонах предмету дослідження, що сприяє виявленню нових ідей і рішень шляхом цілеспрямованої постановки питань, прикладами таких питань є можливість виконання елементами будови ТО подвійних функцій, що дає можливість вилучення певних елементів прототипу, а також можливість перетворення частини металевих технологічних відходів виробництва в конструкційні елементи.

Таблиця 7.1. Група основних евристичних прийомів

№ групи	Найменування складової групи
1	Перетворення руху і сили
2	Перетворення форми
3	Перетворення структури
4	Перетворення в просторі
5	Введення нових функціональних елементів
6	Суміщення функцій або фізичних операцій декількох елементів загальною конструктивно-функціональною одиницею
7	Розділення функцій або операцій функціональних елементів і введення замість одного двох і більше елементів
8	Перестановлення фізичних операцій елементів з одночасним аналізом можливих результатів варіантів перестановки
9	Корисне використання відходів виробництва
10	Визначення та використання прихованих резервів
11	Перетворення в часі
12	Перетворення матеріалу і речовини
13	Здійснення диференціації (поділу, дроблення)
14	Перетворення по аналогії
15	Застосування або створення комплектуючих елементів з взаємною конструктивною пристосованістю

Метод мозкового штурму уявляється в генеруванні нових ідей за допомогою груп фахівців різного профілю, що запрошуються на спеціальні наради, які проводяться під певним керівництвом за регламентованими правилами (заборона критикування та орієнтування на максимальну кількість ідей, що пропонуються, заохочення комбінування і використання ідей, що висуваються іншими учасниками наради ...).

Метод морфологічних таблиць, або морфологічний аналіз надає можливість подолати упередженість розглядання проблеми в певних аспектах та забезпечити аналітичне уявлення повної сукупності структурних, тобто морфологічних взаємозв'язків і взаємовідношень між елементами ТО, основними та додатковими об'єктами і елементами великих систем та технологічних процесів, а також явищами і науково-технічними поняттями. Створюються передумови отримання усіх можливих варіантів рішення будь-якої проблеми. Така можливість забезпечується складанням так званих морфологічних таблиць. В першу чергу надається точне формулювання проблеми, потім вивчаються усі головні функції і досліджуються можливості виконання цих функцій, тому що кожна з них володіє певним числом незалежних властивостей або виконань. Морфологічна таблиця уявляє n -мірну матрицю, в якій рядок характеризує функцію предмету дослідження, а стовбець – варіант її виконання. Таблиця дає уявлення всіх можливих виконань функцій ТО, що розглядається. Усі отримані рішення аналізуються і оцінюються з позиції покладеної мети. Результатом є обрання конкретного кращого технічного рішення [70, 71].

Метод алгоритму рішення винахідницьких задач орієнтується на пошук ідеальної пропозиції виявленням причин і протиріч, що перешкоджають досягненню ідеалу.

8. МЕТОДОЛОГІЯ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

8.1. Значимість математичного моделювання і оптимізаційних розрахунків технічних об'єктів і систем

Прискорення ефективного розвитку і покращення життєвих умов людства пов'язані з всебічною інтенсифікацією виробництва при підвищенні якості та номенклатури продукції без антропологічної і екологічної шкоди. Вказане прискорення уявляє зростаючу кількість завдань науково-інженерної творчості. Кожен науковець і кожен творчо працюючий інженерно-технічний співробітник при рішенні науково-практичних задач здійснює пошук не просто нового покращеного або більш ефективного ТР, а намагається отримати максимально раціональний, найефективніший і кращий у світі результат рішення поставленої задачі. Такий кращий з кращих результат визначається математичним терміном глобального оптимального рішення.

Більшість завдань, що потребують науково-інженерної творчості, неможливо вирішити за допомогою тільки евристичних підходів та методів. Після отримання нової творчої пропозиції рішення наукового або інженерного завдання існує необхідність виконання рутинних розрахунків, що обумовлені практичними задачами реалізації задумок і продуктів інженерної творчості. Створюються сучасні надскладні ТО і комплекси, об'єктивний аналіз і розрахунок яких методами алгебри, геометрії і математичного аналізу викликає значні складнощі і інколи уявляє непосильну для людського

інтелекту задачу. В зв'язку з цим необхідне доповнення творчого пошуку і традиційного математичного забезпечення комп'ютерною підтримкою та застосуванням досягнень прикладної математики і програмування. Тому використовується інший вид науково-інженерної творчості, що пов'язаний з розробкою ММ та створенням методик оптимізаційних розрахунків і експериментальних досліджень нових пристроїв, систем та технологій [70, 71].

Особливе значення в рішенні задач забезпечення подальшого науково-технічного прогресу уявляє побудова ММ, які надають можливість оптимізаційного проектного синтезу ТО. Такі ММ містять рівняння цільових функцій (ЦФ) залежностей показників або характеристик ТО від геометричних, енергетичних, функціональних або інших параметрів, які також називаються координатами або керованими змінними (КЗ). Оптимізація уявляє розрахунок екстремуму ЦФ при варіюванні та визначенні екстремальних значень КЗ, які сумісно з даними та вимогами технічного завдання на розробку є основою подальшого якісного проектування ТО. Оптимізаційні можливості також пов'язані з пошуком та складанням спеціальних методів і алгоритмів чисельних розрахунків та комп'ютерних програм, а також в цілому з розвитком систем автоматизованого проектування ТО конкретних галузей інженерії.

Інноваційне створення і математичне визначення на основі ЦФ структурно-параметричного синтезу глобально-оптимальних ТР уявляє вищий рівень науково-технічної діяльності та основу розробки кращих у світі і конкурентноспроможних виробів.

8.2. Загальне уявлення оптимізаційного проектування технічних об'єктів і систем

В сучасній діяльності людства виникає безліч задач, якісні і кількісні виконання яких можливе тільки оптимізаційним шляхом. Ефективне розв'язування оптимізаційних технічних та інших задач можливе тільки математичними методами. Для постановки і рішення оптимізаційного питання необхідно сформулювати критерій, тобто визначити якісний показник розглядуваного об'єкту. На основі такого показника можливе визначення оптимальних, а не деяких допустимих раціональних величин (параметрів), що визначають об'єкт проектування. Оптимізація здійснюється варіюванням (перебиранням) можливих варіантів рішення задачі створення об'єкту з визначенням кращого з цих варіантів на основі складання критеріальних ММ і розрахунків екстремальних значень заданого критерію.

Поняттю ММ відповідає визнане математично уявлення об'єкту (пристрою, системи, процесу або явища), що вивчається і аналізується.

Поняття ЦФ означає математичне уявлення, що надає можливість визначити залежність критерію оптимізації від оптимізаційних дій. Сукупність КЗ є факторами впливу на ММ і зміни її ЦФ, що надають можливість оптимізації. Сукупність уявлення (опису) елементів об'єкту оптимізації, їх зв'язків і взаємодій у виді ММ повинна забезпечити відповідність з прийнятою (заданою) адекватністю, тобто погрішністю і точністю (мірою співпадіння) результатів віртуального (чисельного) моделювання та фізичного дослідження (випробування) реального зразка такого об'єкту. Іншими характеристиками ММ є універсальність та економічність. Під універсальністю розуміється можливість застосування для аналізу та адекватного зіставлення будь яких варіантів уявлення реального об'єкту, а також повноту урахування його властивостей. Економічність ММ визначається витратами часу розрахунків і об'єму пам'яті обчислювальних пристроїв [70, 71].

Проектування більшості технічних пристроїв і систем, в тому числі ЕМ і електричних комплексів, визначається терміном "проектний синтез" [3, 21]. Проектний синтез визначає процес пошуку варіанту, що задовольняє всім вимогам, що пред'являються до проєктованого об'єкту технічним завданням і стандартами. Визначення оптимального варіанту об'єкту досягається оптимізаційним проектним синтезом, який поділяється на структурний, параметричний і структурно-параметричний [3, 21].

Структурний синтез визначається енциклопедичним поняттям структури, яке означає будову, розташування, порядок і сукупність стійких зв'язків об'єкту, що забезпечують його цілісність і тотожність самому собі, тобто збереження основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах. Структурний синтез певного об'єкту уявляється в пошуку і порівнянні можливих альтернатив і варіантів типів, числа, форм і положень в просторі, а також комбінацій і способів зв'язку елементів такого об'єкту між собою. Оптимізаційний структурний синтез передбачає, додатково до пошуку структур, створення ММ, що надають можливість об'єктивного розрахункового порівняльного аналізу (оптимізаційного зіставлення) розглянутих структур з метою визначення кращого варіанту об'єкту.

Параметричний синтез заключається в розгляді варіантів об'єкту в рамках заданої структури і визначенні та порівнянні числових значень або співвідношень параметрів, що забезпечують працездатність і рівень характеристик, які задовольняють ТЗ. Оптимізаційним параметричним синтезом за допомогою ЦФ визначаються екстремальні (оптимальні) значення КЗ, що забезпечують кращі показники і характеристики об'єкту оптимізації заданої структури [70, 71].

Оптимізаційний структурно-параметричний синтез складається в знаходженні оптимальної структури і екстремальних значень КЗ ЦФ цієї

структури, тобто в визначенні глобально-оптимальної структури і глобально-оптимальних значень КЗ.

Структурний синтез виконується логічним аналізом недоліків наявних аналогів і їх усуненням, зокрема евристичними прийомами (табл. 7.1). Основними евристичними прийомами є структурне перетворення зміною форм і положень елементів ТО в просторі, а також симетрування та зміна зв'язків таких елементів. Іншим способом синтезу структур є еволюційний генетичний підхід [17], за яким об'єкт розглядається як особливий клас еволюціонуючих динамічних систем природно – антропогенного походження з власною генетичною будовою і видовою структурою. Крім того застосовуються інші вище і нижче перелічені прийоми синтезу інновацій.

Процес оптимізаційного проектного синтезу технічного об'єкту уявляється схемою (рис. 8.1) і відбувається ітераційно (послідовними наближеннями) з оцінкою і перепроєктуванням до тих пір, поки проект не буде відповідати критеріальному екстремуму оптимізації і певним проектним обмеженням. Оптимізаційний синтез виконується в три етапи (частини I-III схеми, рис. 8.1). Перший етап уявляється в пошуку і обранні варіантів технічних рішень на рівні задумки (ідеї). Здійснюється аналіз наявної науково-технічної інформації, розглядаються бази готових проектних рішень, інколи застосовуються спеціальні експертні системи. Враховується економічний фактор (прогнозування вартості, термінів виконання). Формується перший вихідний варіант ТЗ з вказівкою показників, які повинні бути забезпечені. Другий та третій етапи уявляють структурний і параметричний синтези. Отримані проектні рішення оцінюються з використанням проектних процедур аналізу екстремумів КЗ. Приймається рішення про вихід з процесу ітерації, або перепроєктування з можливою зміною принципу дії деяких елементів (гідропривод, пневмопривод, електропривод) або системи в цілому та можливою зміною певних вимог технічного завдання [70, 71].

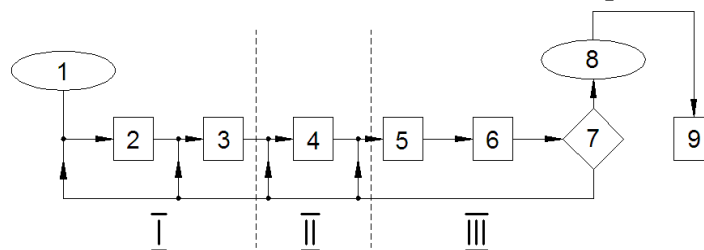


Рис. 8.1. Схема оптимізаційного проектування:

- 1 – початок; 2 – вибір принципів побудови об'єкту проектування;
- 3 – формування технічного завдання; 4 – структурний синтез;
- 5 – параметричний синтез; 6 – аналіз ефективності;
- 7 – перевірка ефективності; 8 – кінець; 9 – реалізація.

Для рішення задачі оптимізаційного структурного синтезу необхідно визначити якість структур розрахунками безрозмірних (відносних) кількісних оцінок, які застосовуються при обранні кращої структури і подальшому параметричному синтезі. При цьому оптимізаційний параметричний синтез виконується тільки для заданої структури.

При неможливості аналітичного забезпечення зв'язку оптимізаційних структурного і параметричного синтезів застосовується метод експертних оцінок варіантів структур з призначенням коефіцієнтів переваг [21].

8.3. Задачі параметричної і структурно-параметричної оптимізацій

Параметричною оптимізацією називається пошук екстремуму ЦФ заданого ТР (заданої структури і конструкції) ТО при заданих ФПД, ТФ, а також технічному завданні. Будь-яке окреме ТР, або його певний технічний показник можливо визначити єдиним набором КЗ x_i [3, 21]

$$\check{x}_i = (x_1, \dots, x_k). \quad (8.1)$$

Значення $\check{x}_i$ можуть змінюватись в деякому гіперпросторі з координатами, тобто КЗ:

$$\alpha_i \leq x_i \leq \beta_i; i=1, \dots, k. \quad (8.2)$$

Прикладом проектних обмежень оптимізації електромеханічних ТО є перевищення температури обмотки, кратності пускового струму і моменту, напруга короткого замикання та інші.

Повна ММ або її складова уявляє собою ЦФ $F_{\pi}(\check{x}_i)$, що є деяким критерієм якості, тобто ПТР проектованого виробу. На КЗ (8.1) і екстремум $F_{\pi}(\check{x}_i)$ вказаної ЦФ часто накладаються проектні обмеження, які представляються певними умовами:

$$M'_{pi}(\check{x}_{ie}) \geq M_{pmin}; M''_{pi}(\check{x}_{ie}) \leq M_{pmax}; i = 1, \dots, l, \quad (8.3)$$

де $\check{x}_{ie}$ – екстремальні значення КЗ.

Задача пошуку оптимальних параметрів ТО складається в визначенні такого набору (8.1), який задовольняє нерівностям (8.2), (8.3) і забезпечує єдиний глобальний екстремум, наприклад мінімум ПТР, зокрема мінімум маси або вартості.

Існує деякий простір p_i пошуку допустимих рішень, які задовольняють нерівностям (8.2), (8.3). Екстремум уявляє точку, що відповідає набору екстремальних значень КЗ $\check{x}_{ie}$ в k – мірному просторі:

$$F_{\pi}(\check{x}_{ie}) = \min F_{\pi}(\check{x}_i); x_i \in p_i. \quad (8.4)$$

На усі оптимізаційні КЗ або частку з них можуть накладатись умови цілочисельності, або дискретності. В такому випадку область пошуку S_i є багатопов'язаною, а оптимізаційна задача багатоекстремальна [3, 21]. При

розширеної області S_i обмеження α_i, β_i відсутні. При цьому у цілому задачі пошуку екстремумів ЦФ часто є багатопараметричними і багатоекстримальними. Однак функціональні обмеження (8.3) визначають допустимі і малі відносно гіперпростору (8.2) області змін КЗ, що дає можливість раціонального пошуку екстремуму (8.4) і рішення задачі оптимізації ПТР будь-якого заданого ТР [70, 71].

З інженерної точки зору різні технічні структури відрізняються числом елементів, що виконують ідентичні функції, а також відрізняються формою і компоновкою елементів, особливостями з'єднань і зв'язків цих елементів та іншими відмінностями. При параметричній оптимізації ЦФ різних структурно-конструктивних рішень ТО з однаковими ФПД і ТФ мають різні індивідуальні набори КЗ і відрізняються особливостями побудови та складу оптимізаційних рівнянь. Такі набори КЗ і види ЦФ є раціональними для обраного варіанту структури певного ТО та неприйнятні для інших структур і ТР цього ТО. Також при параметричній оптимізації складаються ЦФ, що уявляють критерії якості (ПТР), які розраховуються, як правило, в одиницях вимірів техніко-економічних характеристик ТО (маса, втрати, вартість...). Однак вказані характеристики залежать від конкретного технічного завдання на розробку ТО, що включає вихідні дані, умови застосування і експлуатації (потужність, продуктивність, частота обертання або струму, типи виконання або охолодження...). Тому результати параметричної оптимізації різновидів заданого ТО, що відрізняються структурними рішеннями при використанні різних загальних видів і послідовностей (порядків) створення ММ і наборів КЗ не надають можливості узагальненого порівняльного аналізу застосованих варіантів структур [70, 71].

В зв'язку з наведеними в підрозділі 6.2 положеннями існують дві обов'язкові умови рішення задачі структурної оптимізації [3]. Першою є наявність ММ з ЦФ універсального виду і порядку складання з однаковим набором КЗ для будь-яких відомих і нових ТР певного ТО. Другою є відповідність ММ вимогам співставленості критеріїв розвитку, яка стосується одиниць виміру, тобто результати розрахунків критеріїв оптимізації, а саме ПТР, повинні визначатися у безрозмірних або питомих (відносних) одиницях [70, 71].

Якщо поставлена задача структурної оптимізації ТО, то здійснюється інформаційний пошук усіх відомих ТР вказаного ТО та евристичним або іншим способами здійснюються структурні перетворення з метою удосконалення наявних ТР. Отримується певна множність $(S_1...S_m)$ раціональних m варіантів структур, у яких існує хоча б один набір значень параметрів, що задовольняють заданим проектним обмеженням. Для будь-якої структури S_j цієї множини ($j=1,..., m$) можна вирішити задачу параметричної оптимізації, тобто визначення (8.4), при застосуванні єдиного виду ЦФ та

єдиних набору і простору варіювання незалежних КЗ $\check{x}_{ij} (i = 1, \dots, n_j)$. При структурних перетвореннях числа елементів структур і КЗ можуть змінюватись. Якщо для опису деяких структур необхідні додаткові КЗ, то вони повинні бути залежними, тобто такими, що визначаються через незалежні КЗ. Тоді задача структурної оптимізації визначається наступним формулюванням. Мається задане число m n_j – мірних просторів як з безперервним, так і з дискретним характером змін координат $\check{x}_{ij}$:

$$\alpha_{ij} \leq \check{x}_{ij} \leq \beta_{ij}; \quad i=1, \dots, n_j; j=1, \dots, m. \quad (8.5)$$

Для кожного з просторів (8.5) задана по єдиному оптимізаційному критерію ЦФ $F_{\check{x}j}$ і система обмежень $M_s(\check{x}_{ij})$:

$$\begin{aligned} F_{\check{x}j} &= f(\check{x}_{ij}); M'_s(\check{x}_{ije}) \geq M_{smin}; \\ M''_s(\check{x}_{ije}) &\leq M_{smax}; S = 1, \dots, S_j; j = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (8.6)$$

де $\check{x}_{ije}$ – екстремальні значення КЗ.

Необхідно знайти точку, що визначається набором координат $\check{x}_{ije}$, та належить до j простору, для якої виконуються умови:

$$\left. \begin{aligned} S &= 1, \dots, S_j; \\ F_{\check{x}je} &= f(\check{x}_{ije}) = \min f(\check{x}_{ije}); \\ 1 &\leq j \leq m. \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

Таким чином задача структурної оптимізації заключається в знаходженні глобально-оптимальної структури і глобального оптимального набору $\check{x}_{ije}$ КЗ всередині цієї структури при виконанні умови (8.7), тобто таку задачу можна називати також задачею СПО, або структурно-параметричного синтезу [3, 21].

8.4. Пошук глобального екстремуму

Пошук глобально-оптимального рішення здійснюється за алгоритмом, що включає чотири процедури (рис. 8.2) [3].

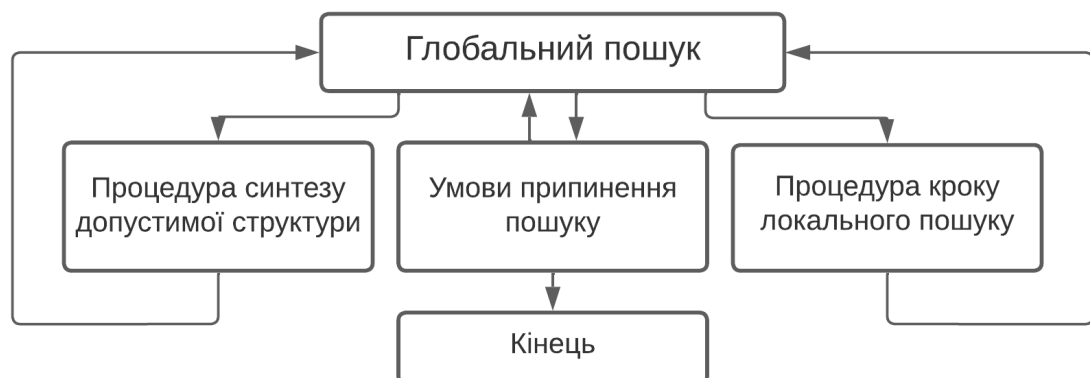


Рис. 8.2. Блок-схема пошуку глобального екстремуму

Першою процедурою є синтез допустимої структури, що забезпечує обрання допустимого рішення з будь-якої підобласті усієї області пошуку. Другою процедурою забезпечується крок локального пошуку, тобто перехід від одного рішення до іншого допустимого рішення, як правило тієї ж структури, але з покращеним значенням критерію. Під кроком локального пошуку можна розуміти деякий умовний крок по деякому алгоритму пошуку локального екстремуму, наприклад одна ітерація по методу спрямованого по координатного спуску (найшвидшого спуску). За третьою процедурою здійснюється глобальний пошук, що керує роботою перших двох процедур. Четвертою процедурою здійснюється перевірка умов припинення пошуку та визначається необхідність завершення рішення оптимізаційної задачі [3] [70, 71].

Для певних складних і маловивчених задач проектування складно побудувати процедуру синтезу допустимих структур, що забезпечує отримання дійсно таких структур. В такому випадку вказана процедура повинна включати операції перетворення недопустимих структур в допустимі застосуванням зручних для перетворення евристичних прийомів. Можливе застосування діалогового режиму роботи з використанням цієї процедури проектувальником. В цілому при синтезі допустимих структур способи вибору значень КЗ повинні містити правила, що відсікають нераціональні і недопустимі їх значення. Проектні обмеження також повинні бути упорядковані з забезпеченням відсутності вірогідності їх порушення. Подібна упорядкованість повинна бути забезпечена автоматично в процесі рішення задачі [70, 71].

Процедура кроку локального пошуку є залежною від чисельного методу рішення оптимізаційної задачі. Перелік основних чисельних оптимізаційних методів наведено на рис. 8.3. [21]

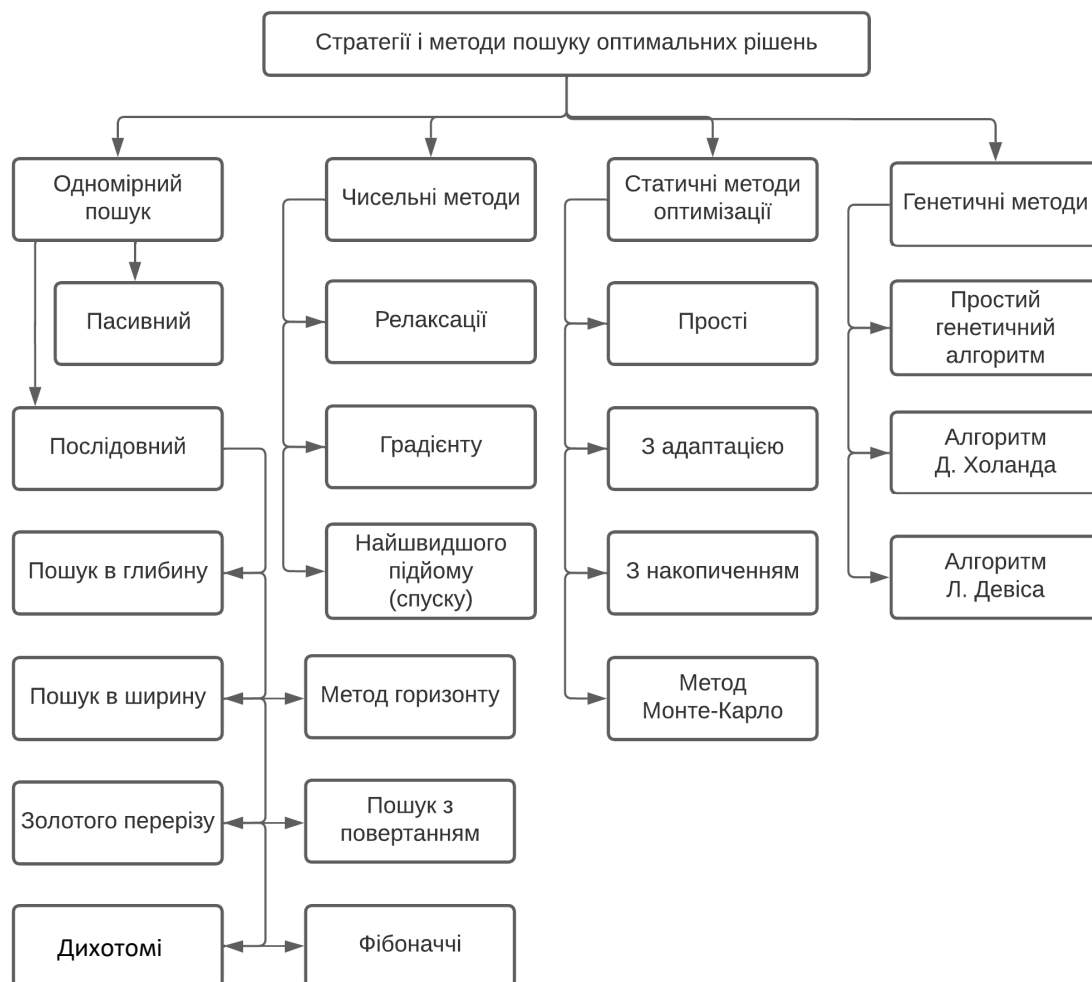


Рис. 8.3. Основні стратегії і методи пошуку оптимальних рішень

Можливість розробки алгоритмів і програм рішення оптимізаційних задач пов'язана з створенням і розвитком систем автоматизованого проектування. Однак в останні десятиліття застосовується розрахункове програмне забезпечення, зокрема Mathcad, що надає можливість виконання, крім рутинних інженерних, також і більш складних оптимізаційних розрахунків. Тому виникає необхідність власноручного програмування, або використання послуг фахівців-програмувальників. Однак для рішення задач параметричної або більш складної СПО повинні бути створені і введені в комп'ютерне обладнання відповідні оптимізаційні ММ заданих ТО, що надають можливість розрахунків ПТР при системах обмежень (8.6), (8.7) для будь-якого синтезованого ТР [70, 71].

9. ПОСТАНОВКА І АНАЛІЗ ЗАДАЧІ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ

9.1. Психологічні і пізнавальні аспекти інноваційного синтезу

Вирішення наявних науково-технічних проблем за допомогою традиційних загальноприйнятих конструкторсько-технологічних рішень призводить до "застою", відсутності конкурентоспроможності і подальшої технологічної деградації. Вимоги технічного прогресу потребують заміни відомих застарілих підходів до рішення інженерних задач на інноваційні науково-технічні прийоми і винахідництво. Таким чином можливо усунення конструктивних і технологічних протиріч та недоліків і досягнення кінцевого результату наближення нової розробки до ідеалу.

Синтезу інновацій при наявності творчих здібностей розробників нових ТО або процесів сприяють наступні прийоми активізації науково-інженерного мислення.

1. Вплив уяви і фантазії. Розвинута уява є важливим елементом творчості. Використання фантазії, тобто уявлення надприродних речей і процесів, стимулює появу дійсно нових ідей. Джерелом розвитку уявлень є науково-фантастична література постійне знайомство з якою є джерелом виникнення нестандартних і "проривних" науково-технічних рішень.

2. Застосування інверсії. Інверсія відповідно до перекладу з латини означає перетворення, переставлення, зміну стану. Варіанти інверсії уявляють зміни положень складових, вивертання, зупинення рухомих і створення руху нерухомих частин. Надається можливість позбавлення впливу інерції мислення та отримання нових поглядів в творчому процесі.

3. Використання аналогії, тобто запозичення для рішення конкретних задач деяких уявлень і досягнень інших галузей та процесів, а також природних явищ і структур та функцій живих організмів. Для використання аналогій необхідні наявності здібностей спостережливості і логічного аналізу, чому також сприяє науково-технічна і фантастична література.

4. Уявлення технічної емпатії. Термін "емпатія" означає ототожнення особистості однієї людини з особистістю іншої, проникнення в її почуття і здібність ставити себе на місце іншої людини. Технічна емпатія означає ототожнення творця ТО, з його розробкою, входження в образ і уявлення себе у виді цілостності ТО або його частини та визначення таким чином можливості вирішення проблемного питання.

5. Успішною методикою психологічної активації творчості вважається синектика, яка означає сполучення різнорідних елементів. В основу синектики покладено поняття мозкового штурму при застосуванні чотирьох видів аналогії. Першими двома є пряма аналогія – запозичення ТР з ТО або процесу іншої галузі техніки та уявлена аналогія, тобто технічна емпатія. Іншими є фантастична аналогія, що запозичає ТР з фантастичних уявлень, а також символічна аналогія, що вимагає відображення сутності інших явищ для позитивних перетворень проблемних ТО.

Важливим фактором впливу на продуктивність науково-інженерної творчості є розробка класифікації, які є наслідками пізнання, тобто визначення та аналізу попереднього наукового і конструктивно-технологічного стану розробляемого ТО. Класифікування є головним орієнтиром у великій різноманітності понять, факторів і фактів і сприяє розв'язанню поставлених науково-технічних задач.

Приклади складання класифікацій наведено у підрозділах 10.1 і 10.2. На класифікуванні базується згаданий у підрозділі 7.4 морфологічний аналіз.

Його сутність полягає в тому, що у ТО, що удосконалюються, виділяється декілька характерних морфологічних ознак, які є головними ознаками будови системи. По кожній ознаці складаються варіанти перетворень, що утворює краще уявлення пошукового простору. Також існує метод "десяткових матриць" синтезу нових ТР. Цей метод уявляє побудову таблиць пошуку, в рядках якої записано 10 евристичних прийомів, а в стовпцях десять основних ПТР ТО (геометричних, енергетичних, фізико-механічних, конструктивно-технологічних, надійності, експлуатаційних). Застосування одного з евристичних прийомів у поєднанні з аналізом його впливу на ПТР сприяє появі нових ідей і підходів і можливостей удосконалення ТО на основі створення інноваційних ТР [3] [70, 71].

Основним законом синтезу інновацій, як вказано в підрозділі 7.3, є прагнення до максимального наближення будови нової розробки ТО до ідеалу. Таке наближення досягається раціональними компромісами, тобто за рахунок допустимого погіршення одного показника відбувається покращення інших інколи більш важливих показників. Максимальної досконалості інноваційних ТР ТО відповідає покращення його певних ПТР без погіршення інших, в тому числі другорядних показників. Зміст інноваційного синтезу ТО полягає в отриманні орієнтиру руху до ТР з ідеальними кінцевими результатами [70, 71].

9.2. Застосування системної методології дослідження

При дослідженні і розробці складних явищ та об'єктів використовується системний аналіз, основу якого становить принцип системності, що поєднує систему понять, а саме: цілісності, співвідношення часткового і цілого, структурності і конструктивної відокремленості елементів об'єкту [3, 24].

Система – грецьке слово, що означає організовані зв'язки (відношення) між будь-яким набором компонент для досягнення певної загальної мети. Між компонентами системи існують взаємозв'язок і взаємозалежність. Мета і функціонування системи мають більш високий пріоритет відносно мети і дії компонент. Система характеризується сукупністю властивостей. Першою є властивість організації, яка передбачає структурування і порядок, розташування і послідовність дії компонент, що дозволяє досягнути задану мету. Другою є властивість взаємодії, що означає порядок співпраці компонент. Третьою є властивість взаємозалежності, тобто взаємного впливу компонентів. Останніми є властивості інтегрування і центральної мети, які означають взаємозв'язок і сумісність праці та загальне прагнення досягнення центральної мети. Приклад діаграми зв'язків основних елементів інформаційної системи, що діють за системним принципом, наведений на рис. 9.1 [70, 71].

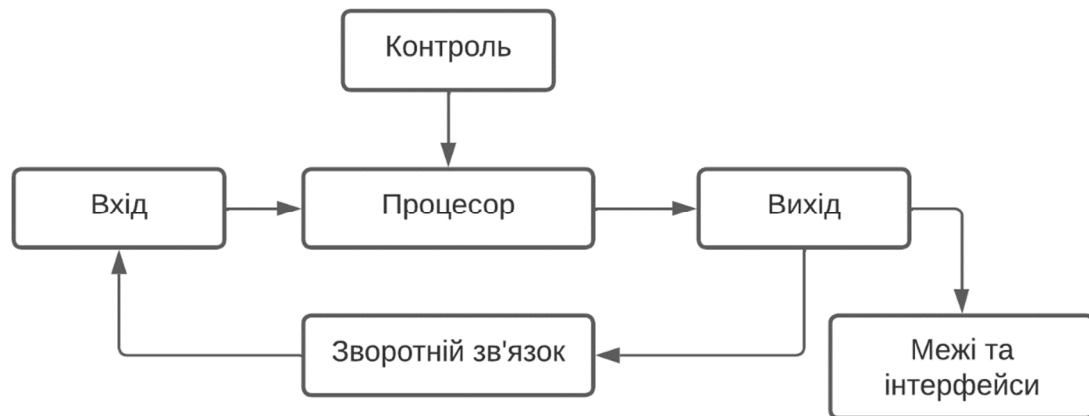


Рис. 9.1. Елементи системи

Принцип системності застосовується в понятті системного підходу, тобто методології розглядання об'єкту розробки та предмету дослідження як системи, тобто цілісного комплексу взаємопов'язаних елементів. Це підхід, при якому будь-який ТО розглядається як сукупність взаємопов'язаних елементів (компонентів), що має вихід (мету), вхід (ресурси), зв'язок із зовнішнім середовищем, зворотній зв'язок. Системний підхід уявляє форму прикладення теорії пізнання і діалектики до дослідження процесів, що відбуваються в природі, суспільстві, мисленні, техніці і виробництві. Його сутність полягає в реалізації вимог загальної теорії систем, згідно якої кожен об'єкт в процесі його дослідження повинен розглядатися як складна система і як елемент більш складної системи [70, 71].

Розгорнуте визначення системного підходу включає обов'язковість застосування певних нижчеперелічених аспектів. 1. Системно-елементарний або системно-комплексний, що складається в виявленні елементів, які складають дану систему. 2. Системно-структурний, що уявляється в визначенні внутрішніх зв'язків і залежностей між елементами даної системи, що дозволяють отримати уявлення про внутрішню організацію (будову) системи, яка досліджується. 3. Системно-функціональний, що передбачає виявлення функцій для встановлення яких створені і існують відповідні системи. 4. Системно-цільовий, який означає необхідність наукового визначення функцій цілей і підцілей системи та їх взаємоув'язання між собою. 5. Системно-ресурсний, що заключається в ретельному виявленні ресурсів, які необхідні для функціонування системи і вирішення системою заданої проблеми. 6. Системно-інтеграційний, що складається в виявленні сукупності властивостей якості системи, що забезпечує її цілісність і особливність. 7. Системно-комунікаційний, що означає необхідність виявлення зовнішніх зв'язків даної системи з іншими, тобто її зв'язок з навколишнім середовищем. 8. Системно-історичний, що означає виявлення часових умов виникнення та етапів становлення, а також сучасного стану і перспектив розвитку [70, 71].

Застосування системного підходу є доцільним при проектуванні окремих електричних машин (ЕМ), наприклад частотнорегульованих АД і обов'язковим при розробці комплектних електромеханічних пристроїв (вентильні та крокові електродвигуни, безконтактні вентильні генератори), а також складних електромеханічних систем (автоматизовані електроприводи, генеруючі агрегати...) та електротехнічних комплексів.

Максимально системний підхід застосовується при дослідженні складних системних об'єктів, що розвиваються, наприклад: багаторівневих, ієрархічних...

9.3. Системне обрання глобально-оптимального конструкторсько-технологічного рішення

При розробці будь-якого виробу, до якого пред'являються вимоги технічного рівня, що перевищує рівень кращих світових взірців-аналогів, розробнику необхідно виконати проектні дослідження, які уявляють послідовність системних дій проектного синтезу з визначенням на основі винахідництва і СПО глобально-оптимального науково-технічного та конструктивно-технологічного рішення. Застосовується методологія сукупності евристичних або інших методів винахідництва та складання ЦФ СПО ТО в сполученні з системною послідовністю рішення задач пошукового проектування. Така послідовність включає певні етапи. На першому етапі для заданої ТФ обирається ФПД. При наявності апріорного кращого ФПД відразу визначаються варіанти структур ТО, що є другим етапом. Наприклад для більшості виробів електричної інженерії апріорним є електромагнітний принцип дії. При розробці багатокомпонентного ТО (автоматизований електропривід, технологічний комплекс...) визначаються його найбільш ефективні варіанти функціональної структури. Для обраних варіантів структур визначаються найбільш ефективні принципи дії складових елементів (інколи в тандемі з електромеханічними елементами доцільно застосовувати гідравлічні або пневматичні елементи автоматики). На третьому етапі здійснюється пошук максимально раціональних ТР елементів конструкцій ТО або кращих комплектуючих виробів (елементів) для обраних принципів дії [70, 71].

На четвертому етапі складається ММ і виконується СПО варіантів реалізації обраних ФПД і ТР. На основі співставлення ПТР оптимізованих проектних варіантів визначається глобально-оптимальне конструкторсько-технологічне або схемотехнічне рішення. Визначаються параметри і характеристики нової розробки ТО.

Методологія системного ієрархічного визначення глобально-оптимального результату розробки технічного виробу вилучає можливість

обрання окремого проміжкового покращеного рішення, зокрема в рамках традиційної структури і конструкції. Традиційні ТР виробів електромеханіки на протязі багатьох років застосування і модернізації як правило практично вичерпали можливості подальшого удосконалення. Головна увага приділяється вивченню і аналізу усіх можливих варіантів і шляхів удосконалення ТО. Якщо при цьому кожен варіант розглядається з достатньо повним інформаційним забезпеченням та моделюється з визначенням глобально-оптимального ТР, то досягається гарантування розробки нової версії певного виробу на рівні кращих світових досягнень. При цьому у випадку отримання інноваційних варіантів на рівні винаходів, попередній світовий рівень виробу може бути перевершений [70, 71].

9.4. Функціонально-вартісний аналіз

Оптимізація співвідношення між споживчими властивостями і витратами на створення, виробництво і використання (експлуатацію) нової продукції при її високій якості, корисності і довговічності, може бути досягнута на основі використання, на додаток до СПО ТО, методу функціонально-вартісного аналізу (ФВА) [25].

Складовими об'єктами ФВА можуть бути: конструкторсько-технологічна документація на виробництво певного ТО, втілення засобів механізації і автоматизації, управління якістю, фондами, матеріалами і трудовими ресурсами, фінансово-господарча діяльність. До основних принципів ФВА відносяться дотримання системного і функціонально-комплексного підходів до вивчення предмету дослідження. Предмет дослідження розглядається як система, тобто як обмежений певними рамками інтегрований комплекс елементів, що дозволяє виконання його всебічного аналізу. Функціонально-комплексний підхід уявляється також у розгляданні предмету дослідження у виді комплексу функцій. Функції поділяються на головні, для здійснення яких ТО є обов'язковим, та допоміжні, що сприяють надійному та ефективно-економічному здійсненню основних функцій. Некорисні та непотрібні функції повинні бути вилучені.

Важливим принципом ФВА є відповідність корисності функцій суспільно необхідним витратам на їх здійснення відповідно до вартісного фактору, тобто грошової оцінки витрат на здійснення функцій. Системність та функціональна комплексність ФВА також складається в тому, що усі питання конструювання ТО, забезпечення його надійності, довготривалості використання і утилізації, а також розробки технології і організації його виробництва, забезпечення видами ресурсів на стадіях як розробки так і освоєння виробництва та організації продажу, розглядаються сумісно.

При виконанні ФВА необхідно дотримуватися нижчезазначених принципів. 1. Принцип раннього діагностування, що уявляється в залежності можливостей удосконалення ТО або виявлення їх резервів від життєвого циклу виробу. Обсяг ефекту застосування ФВА залежить від терміну його виконання. 2. Принцип пріоритету, що визначає першочергове виконання ФВА виробів і процесів, що знаходяться в стані розробки і будуть реалізовані в значних об'ємах. 3. Принцип оптимальної деталізації, який визначає, що процес виділення функцій ТО повинен бути обмежений їх оптимальною кількістю та повинен бути поетапним. 4. Принцип послідовності, що передбачає виконання ФВА по схемі від загального до часткового. 5. Принцип виділення основної ланки, який передбачає виконання ФВА ТО починаючи з елементів, що забезпечують основні функції та утворюють максимальний ефект дії [70, 71].

Виконання ФВА здійснюється етапами, що відображені в табл. 9.1.

В цілому ФВА дозволяє визначати рекомендації удосконалення ТО на етапі проектування при запобіганні необґрунтованих і зайвих матеріальних і часових витрат та забезпечити рентабельність проектів.

Створення і використання інновацій сумісно з застосуванням при проектуванні нових виробів системних методологій СПО та ФВА є потужним імпульсом розвитку конкурентоздатних і кращих у світі ТО певної галузі науки і техніки, зокрема електромеханіки, яка є енергетичною та силовою рушійною базою подальшого технічного прогресу.

Таблиця 9.1. Етапи функціонально-вартісного аналізу

Найменування етапу	Мета виконання етапу
1	2
Підготовчий	Уточнення та вивчення об'єкту аналізу.
Інформаційний	Пошук інформації про призначення, технічні можливості, якість, собівартість аналогів.
Аналітичний	Вивчення функцій предмету дослідження і витрат на їх забезпечення.
Дослідницький	Аналіз і оцінка ідей і варіантів рішень, що визначені на попередніх етапах з метою вилучення невідповідності функцій і витрат.
Рекомендаційний	Визначення найбільш прийнятих варіантів удосконалення виробу (предмета дослідження) для певного виробництва.
Втілення	Заключне втілення у виробництво або експлуатацію обраного варіанту удосконалення виробу на основі результатів розроблених рекомендацій.

10. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ І РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

10.1. Різновиди і специфіка виконань рухомих та статичних електромашин

В процесі розвитку електромеханіки здійснюється безперервне удосконалення і розширення номенклатури електромеханічних виробів. Сучасні електромеханічні і електромагнітні перетворювачі в залежності від особливостей виконання та функціонування відрізняються загальним призначенням (єдині загальнопромислові серії ЕМ і габаритні ряди силових розподільчих трансформаторів) та спеціальним призначенням [7, 8, 13, 26 - 28].

Мінімальна собівартість виготовлення і експлуатації ЕМ масового випуску досягається стандартизацією типорозмірів, потужностей та установчих розмірів, а також уніфікацією вузлів, деталей і збіркових одиниць, а також здійснюється на основі безперервного удосконалення технологій та виробничого обладнання. Вказані стандартизація і уніфікація досягаються розробкою та виробництвом єдиних серій загальнопромислових обертових ЕМ і типорозмірів (I-VIII габарити)

силових розподільчих трансформаторів. Узгодження рядів потужностей виконуються з врахуванням номенклатури промислових приводів і класів напруг, властивостей нових електротехнічних матеріалів, можливих рівней електромагнітних навантажень (ЕМН) та ефективності охолодження. На основі основних виконань ЕМ єдиних серій проектуються і виробляються вузькоспеціалізовані вироби, наприклад самогальмівні АД з прибудованими електромагнітними гальмами [8]. Такі ЕМ при уніфікації ЕМС з єдиною серією відрізняються специфічними властивостями, які необхідні для застосування в певних електричних комплексах і приводах. Подальше підвищення технічного рівня виробництва єдиних серій і рядів потужностей обертових ЕМ та трансформаторів великосерійних випусків в початку нового століття здійснюється, як і в минулому, в рамках їх традиційних будов. Використовуються інноваційні розробки електроматеріалів, здійснюється пошук прихованих неявних резервів, створюються нові прогресивні технологічні процеси [13, 29-32]. При цьому залишається актуальним поновлення спроб створення нових більш досконалих конструкцій і технологій виробництва складових активних та конструктивних частин ЕМ, що відповідають сучасним вимогам енергоресурсозбереження [70, 71].

В другій половині минулого віку важливим фактором прогресу в електромеханіці з'явилися удосконалення енергетичних установок транспортних засобів, розвиток електроенергетичних систем, теорії і практиці систем автоматики, авіації і космонавтики. Це стало причиною появи нових напрямків удосконалення та різновидів ЕМ. Ефективно застосовувався системний підхід інтеграції ЕМ з електронно-напівпровідниковими пристроями або елементами будови механізмів приводів. Здійснювався пошук нетрадиційних рішень і спеціальних виконань електромеханічних і електромагнітних перетворювачів, які отримали назву спеціальних [9-12, 14, 27, 28].

Спеціальні ЕМ (з рухомими елементами і статичні) відповідають загальним класифікаціям за родом струму, принципом дії, призначенням, потужністю і частотою обертання, а подальше розширення їх структурного та видового складу визначається можливостями розвитку електромеханіки та технічного прогресу. Однак від рухомих і статичних ЕМ загальнопромислового та силового розподільчого виконань вони відрізняються конструктивними (обернені, аксіальні, вбудовані, герметичні, високошвидкісні, регульовані...), технологічними (безвідходні, інтегральні...), функціональними (підвищена конструктивна пристосованість до конкретних видів механізмів, керованість, швидкодія...) і техніко-фізичними (маломагнітного виконання, зі зниженим пусковим струмом, підвищеною термостійкістю...) властивостями, а також галузевим використанням. Варіант класифікації основних різновидів спеціальних

ЕМ [28] (як виробів, що використовуються в певних галузях промисловості) наведено на рис. 10.1.

Кожен із зазначених на рис. 10.1 видів може бути представлений окремою галузевою класифікацією. Наприклад, до військово-промислового призначення відносяться ЕМ систем руху, озброєння, наведення, виявлення, орієнтації, навігації, життєзабезпечення та інші.

Другим прикладом комплексу спеціальних ЕМ рухомих об'єктів, зокрема морського виконання є суднові генератори, двигуни, силові, вимірювальні і перетворювальні трансформатори суднових електростанцій та гребних електричних установок, двигуни палубних якірно-швартових і підйомно-транспортних механізмів, двигуни обладнання вентиляції та кондиціювання повітря... .

З різновидів спеціальних ЕМ, що відрізняються функціональною однорідністю або специфікою призначення, можна скласти окремі класифікації, наприклад машин та мікромашин електромеханічних систем автоматизації, електромеханотронних перетворювачів, а також мікромашин електромеханічних приладів та обчислювальних пристроїв [70, 71].

Спеціальні генератори, двигуни і трансформатори, що є габаритними та металомісткими пристроями, мають суттєвий вплив на масогабаритні і експлуатаційні показники транспортних та інших спеціальних механізмів, систем і пристроїв в цілому. До ЕМС та конструкційних елементів спеціальних ЕМ пред'являються вимоги підвищеної надійності, мінімальних масогабаритних показників, а також іноді і спеціальні вимоги, наприклад електромагнітної сумісності, можливості роботи при високій вологості, підвищених температурі, тиску, наявності випромінювань [28].

Тому дослідження в напрямках подальшого удосконалення наявних та створення нових різновидів спеціальних ЕМ є важливим і актуальним фактором прискорення технічного прогресу.





Рис. 10.1. Діаграма класифікації основних різновидів спеціальних електромашин по галузевому науково-технологічному використанню

10.2. Ознаки структурно-геометричних класифікацій електромагнітних систем з рухомими і статичними елементами

В процесі еволюції електромеханічних пристроїв розроблені різні структурні різновиди ЕМС і технічні рішення активних та конструктивних елементів обертових, лінійних і статичних ЕМ. Вказані польові електромагнітні ТО відрізняються конструктивно-технологічними виконаннями з окремими структурними, параметричними і експлуатаційними особливостями та властивостями [10 – 12, 27, 28].

Різноманітність перебуваючих у виробництві і інноваційних пропозицій варіантів ЕМС електромашин та трансформаторів визначається просторовим формоутворенням і структурно-геометричними відмінностями активних елементів. Таки відмінності обумовленні положеннями в просторі контурів замикання струмів і силових ліній головного магнітного поля в активному об'ємі. Тому структурні різновиди машин як обертального та поступального рухів так і статичного перетворення параметрів електроенергії можуть визначатись ознаками форм та просторового розташування елементів ЕМС. Такими ознаками, що визначають функціональне поєднання структурних і польових

концентраторних складових активного об'єму уявляються "утворюючі поверхні" (УП) і "утворюючі контури" (УК) елементів ЕМС [15]. Організацію розподілу і напрямки силових ліній напруженості магнітного поля між рухомими та нерухомими частинами електромагнітних перетворювачів визначають УП робочого зазору. Функціональне поєднання струмонесучих і польових концентраторних складових електромагнітних перетворювачів визначають УП обмоткових вікон і УК перерізів стрижнів. Додатково до названих головних ознак основні різновиди ЕМС обертових, лінійних і статичних ЕМ поділяються, в залежності відповідно від напрямків проходження силових ліній поля в активних (зубцево-пазових) зонах та просторового розташування вісей активних елементів, на радіальні, аксіальні, планарні і просторові. Також конструктивно-структурні різновиди ЕМС можуть мати декілька нерухомих або рухомих частин і різні числа секцій або елементів обмоток та магнітопроводів. Варіанти структурної класифікації рухомих і статичних перетворювачів наведені на рис. 10.2, рис. 10.3. Згідно названим головної і додатковим ознакам відомі конструктивно-структурні схеми обертових та лінійних машин поділяються на циліндричні, аксіальні, конусні і трикоординатні сферичні (рис 10.4). Можливі комбінаційні (гібридні) різновиди ЕМС з декількома УП, зокрема складного (багатокоординатного) руху [15, 17] [70, 71].

Основними, тобто максимально застосованими з наявних в класифікації (рис. 10.2) УП, що характеризують обертові електромашини загального і спеціального призначень усіх діапазонів потужності, є циліндричні УП радіальних ЕМС з внутрішнім ротором (рис. 10.4, а) і зовнішнім ротором (рис. 10.4, б). Можливо також двохроторне виконання ЕМС з циліндричними коаксіальними УП при середньому положенні статора (рис. 10.4, в). Поширюється використання аксіальних ЕМС з плоскопаралельним УП (рис. 10.4, г-е) в розробках торцевих асинхронних двигунів (ТАД) і дискових синхронних двигунів та генераторів з постійними магнітами [10-12]. Відомі також розробки і застосування самогальмівних АД з радіальними конусними УП (рис. 10.4, ж) [33] і трикоординатних АД [34] з сферичними УП (рис. 10.4, и) [70, 71].



Рис. 10.2. Діаграма узагальненої класифікації електромагнітних систем електричних обертальних машин

Прикладами різновидів основної структури з внутрішнім ротором і циліндричними радіальними УП (рис. 10.4, *а*) являються ЕМС в складі АД класичного виконання (АДК) загальнопромислового призначення (рис. 10.5, *а*) крупносерійного виробництва єдиної загальнопромислової серії [8] та вибухозахищеного АДК спеціального призначення (рис. 10.5, *б*). Прикладом спеціального «оберненого» виконання структури з циліндричними радіальними УП (рис. 10.4, *б*) є ЕМС АД з зовнішнім ротором (АДЗР) [15, 16, 35] «консольний» варіант (з установкою ротора на валу в маточині) будови якого наведено на рис. 10.6, *а*). Іншим прикладом структури спеціального виконання з аксіальними плоскопаралельними УП (рис. 10.4, *д*) є ЕМС синхронного торцевого двохроторного двигуна (рис. 10.6, *б*) [70, 71].

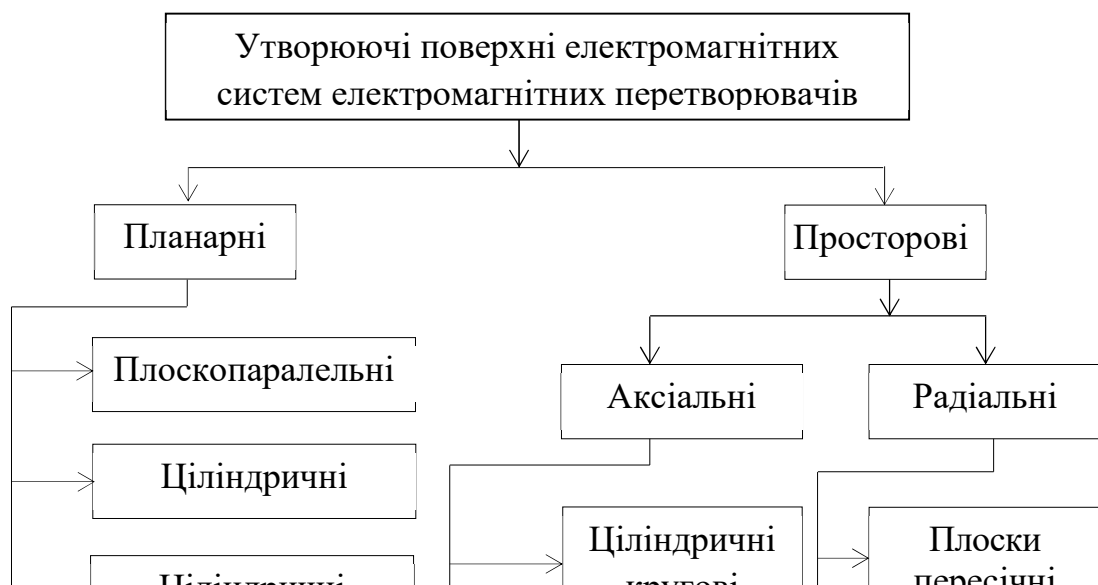
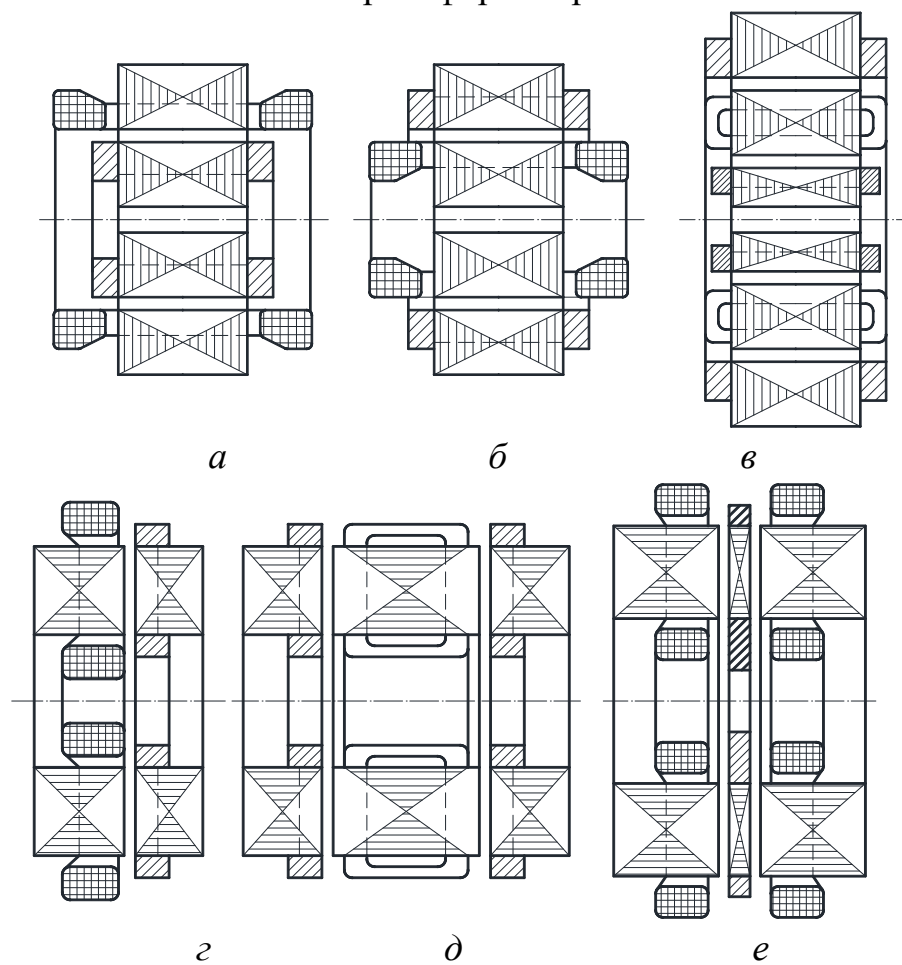


Рис. 10.3. Діаграма узагальненої класифікації електромагнітних систем трансформаторів



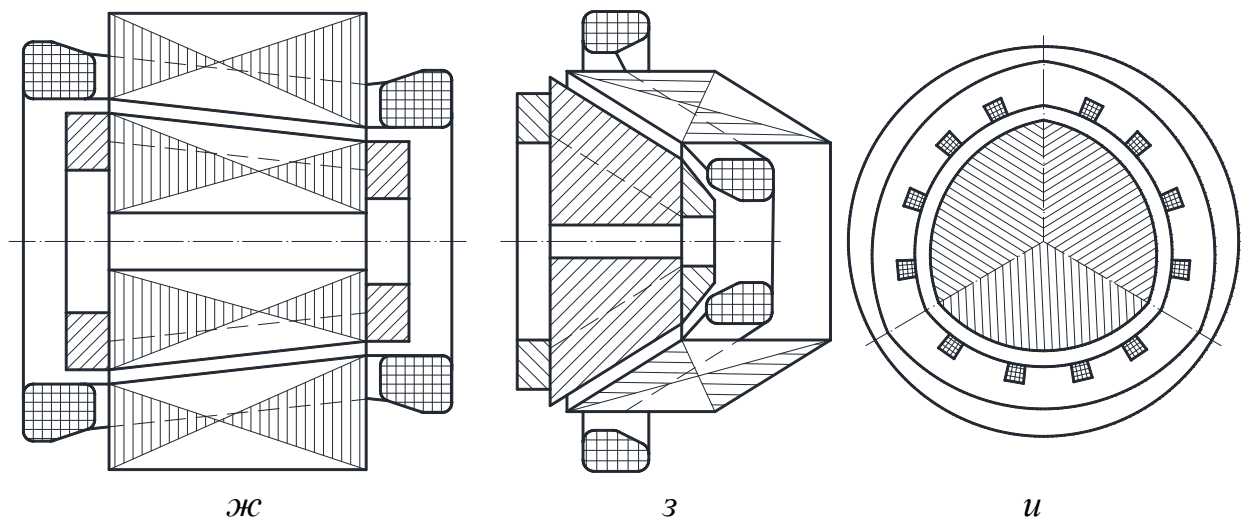


Рис. 10.4. Конструктивні схеми обертальних електромеханічних перетворювачів (на прикладі асинхронної короткозамкненої машини): *а* – класична циліндрична; *б* – обернута циліндрична; *в* – циліндрична з внутрішнім і зовнішнім роторами; *г* – аксіальна торцева; *д* – аксіальна торцева двохроторна; *е* – аксіальна дискова; *ж* – конусна радіальна; *з* – конусна аксіально-радіальна; *и* – умовна сферична.

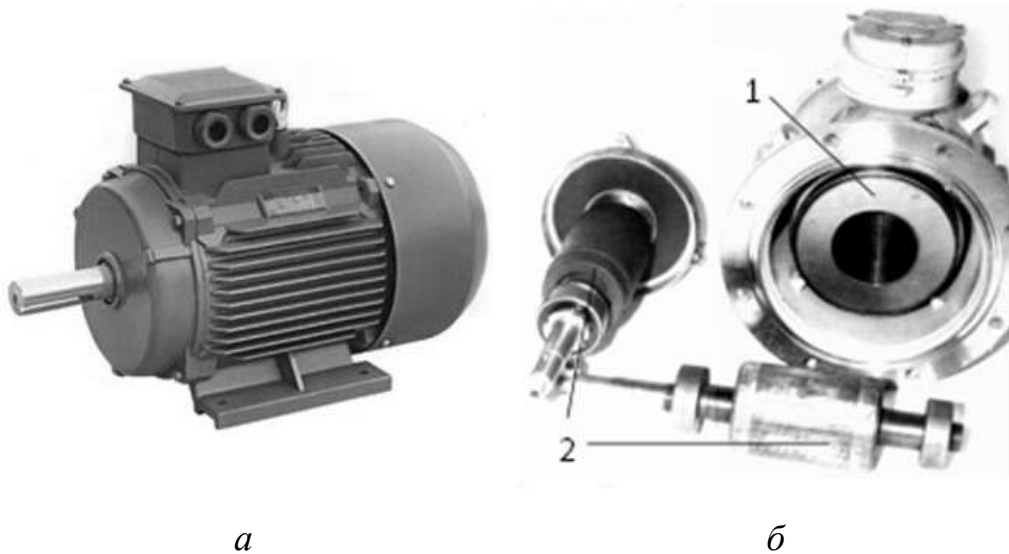


Рис. 10.5. Загальний вид (*а*) і активно-конструктивна частина (*б*) асинхронних двигунів загальнопромислового та спеціального призначень класичного виконання: 1 – статор; 2 – варіанти короткозамкненого ротора.



Рис. 10.6. Загальний вид асинхронного двигуна з зовнішнім ротором (а) і активно-конструктивна частина торцевого двохроторного синхронного двигуна з постійними магнітами (YASA axial flux motor) (б)

З [1, 2, 36 – 41] та інших інформаційних джерел відомі структурні схеми статичних ЕМС (рис. 10.7-рис.10.9). Основне світове виробництво сучасного трансформаторно-реакторного обладнання базується на схемах (рис. 10.7, а, б, г, рис. 10.8, г і рис. 10.9, а, в) та шихтованих і витих магнітопроводах. Також основними з класифікаційних ознак (рис. 10.3) статичних ЕМС, що застосовані при виготовленні магнітопроводів і обмоткових котушок трансформаторів та реакторів є циліндричні УП з круговими УК [36-39]. Трансформаторно-реакторне обладнання малої потужності масового випуску характеризується плоскопаралельними УП і прямокутними УК [40, 41]. Інші УП (рис. 10.3), зокрема двох і триплощинні, є інноваційними пропозиціями [15]. Приклади планарної і просторової структур та будов ЕМС ТТ з циліндричними УП та круговими УК наведено на рис. 10.10 [70, 71].

Більш системна і складна структурна класифікація рухомих електромеханічних перетворювачів, що створена на основі генетичної моделі будови та розвитку об'єктів природного і антропогенного походжень міститься в [17]. Методологія структурно-системних досліджень, згідно [17], надає можливість спрямованого пошуку нетрадиційних і комбінаційних (гібридних) різновидів електромашин, зокрема складного (багато-координатного руху). Простим прикладом комбінації структур активних складових є аксіально – радіальна ЕМС з конусними УП (рис. 10.4, ж) [33].

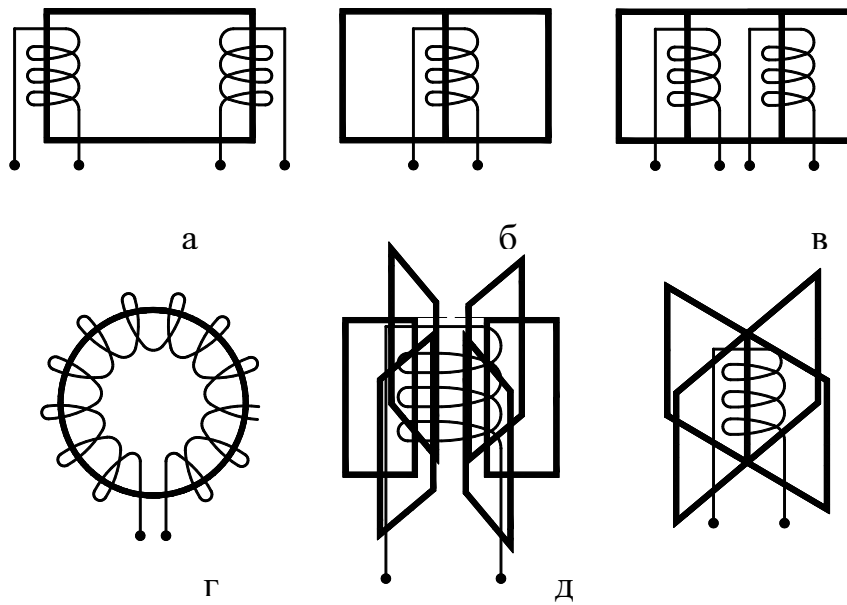


Рис. 10.7. Структурні схеми симетричних планарних (а, б, в) і просторових (г, д, е) однофазних електромагнітних систем

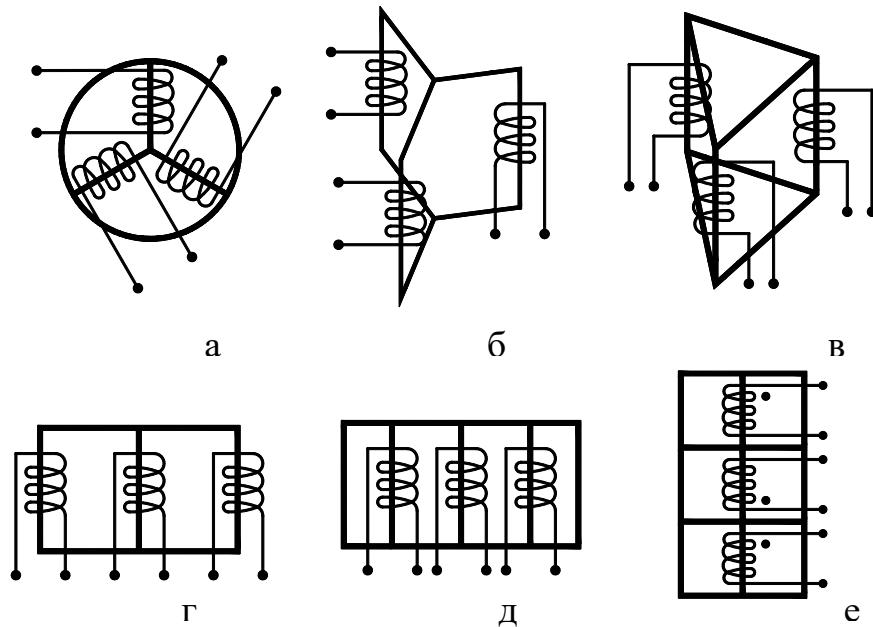


Рис. 10.8. Структурні схеми просторових (а – в) і планарних (г – е) трифазних електромагнітних систем з трифазними магнітопроводами

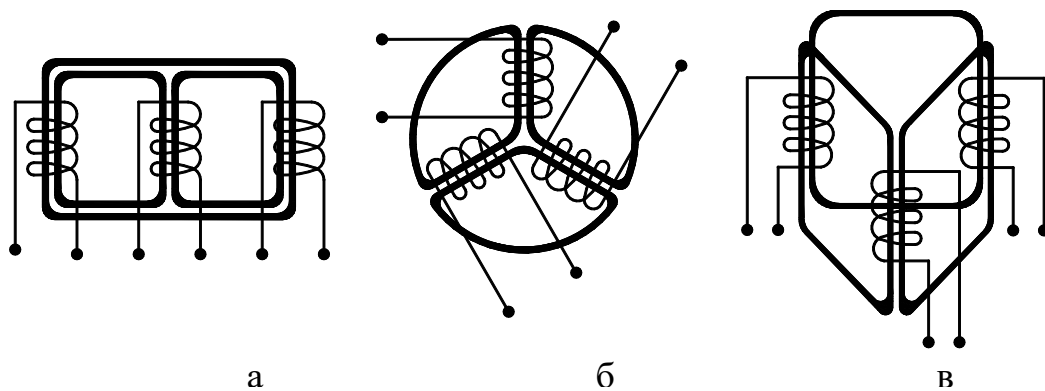


Рис. 10.9. Структурні схеми планарної (а) і просторових (б, в) трифазних

електромагнітних систем з двоконтурними фазними елементами
трифазних магнітопроводів

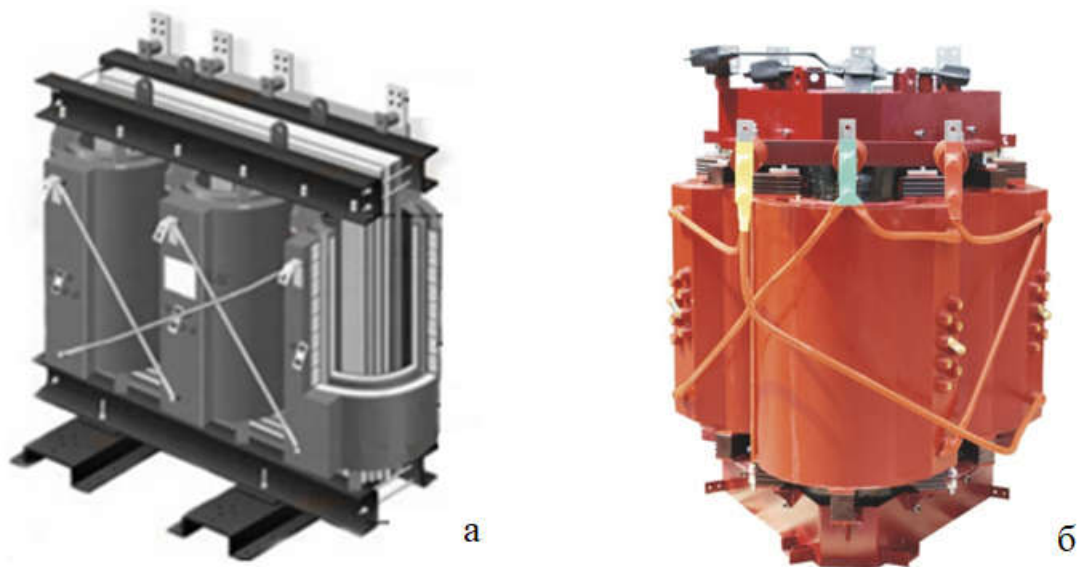


Рис. 10.10. Планарна (а) і просторова аксіальна (б) електромагнітні системи трифазних трансформаторів з цилінричними утворюючими поверхнями і круговими утворюючими контурами

10.3 Способи і напрямки подальшої еволюції пристроїв електромеханіки

Існують шість основних загальних способів підвищення технічного рівня електромеханічних пристроїв [14].

Перший спосіб передбачає постійне удосконалення активної частини електромашин на основі використання нових магнітних і ізоляційних матеріалів з метою зниження основних та додаткових втрат і величин ізоляційних проміжків, а також підвищення стійкості ізоляційних оболонок обмоткових провідників, секцій та котушок від термічного і механіко-технологічного впливу [70, 71].

Другий спосіб ґрунтується на безперервному удосконаленні методик електромагнітних і оптимізаційних розрахунків та використанні сучасних методів і систем автоматизованого комп'ютеризованого проектування.

Згідно третьому способу, зниження матеріалоемності досягається шляхом підвищення електромагнітних навантажень (ЕМН), тобто індукцій в елементах магнітного кола, лінійних навантажень і щільностей струмів обмоток з одночасним застосуванням технічних рішень, засобів і пристроїв інтенсифікації охолодження (рідинного, криогенного ...).

Відповідно до четвертого способу суттєве зниження матеріалоемності можливо при застосуванні підвищеної частоти (200, 400 Гц) електричної мережі та швидкості обертання ЕМ.

П'ятий спосіб базується на системному підході (блочно-модульному принципу побудови, інтеграції з електронними силовими мікропроцесорними пристроями та елементами конструкцій приводимих до руху механізмів).

Шостий спосіб передбачає застосування інноваційних підходів, тобто максимального використання людського інтелектуального потенціалу і складається з пошуку та розробці нетрадиційних конструкторсько-технологічних рішень активної і конструктивної частин перетворювачів механічної та електричної енергії, а також використанні нових фізичних ефектів.

Перші два способи були кардинальними на протязі ХХ віку, у зв'язку з чим характерною особливістю розвитку електромашин, починаючи з 1900 року, є збільшення потужності окремих одиниць електрообладнання та зменшення в десятки разів витрат матеріалів на одиницю потужності. Якщо у 1890 році потужність генераторів і трансформаторів не перевищувала 5000 кВ·А в одній одиниці, то зараз вона доходить до значень порядку $(1,2 \dots 1,6) \cdot 10^6$ кВ·А. Економічні показники двохполюсних турбогенераторів і часові зміни питомої маси (на 1 кВт потужності) АД (за даними [17] наведені в табл. 10.1, табл. 10.2 та на рис. 10.11) [70, 71].

Освоєння виробництва і подальше удосконалення сучасних ТТ, синхронних генераторів, серій АД та інших електромашин, досягнуто і здійснюється шляхом комплексного рішення завдань розрахунку, конструювання та оптимізації, а також розвитку теорії перетворювання енергії і методів проектування на основі теорії електромагнітного поля та чисельного моделювання. Також продовжуються роботи з удосконалення властивостей ЕТС і ізоляції та створенні так звані аморфна, моно і мікрокристалічна сталь зі зниженими втратами [13, 32, 33, 36].

Крім того, створенні порошкові феромагнітні композиційні матеріали (магнітодіелектрики), які за магнітними властивостями хоча суттєво поступаються електротехнічним сталям, однак дозволяють виготовляти ділянки магнітопроводу (наприклад магнітні кління для пазів), або цільні магнітопроводи мікромашин і малих та високочастотних трансформаторів за безвідходною технологією способами пресування та термообробки. Стосовно удосконалення провідникових матеріалів обмоток, то альтернатива використанню міді і алюмінію відсутня, у зв'язку з чим дуже актуальним є питання їх економії при виробництві та вторинного використання (утилізації) після виходу ЕМ з ладу [5] [70, 71].

У цілому революційних змін у частині кращих електротехнічних матеріалів не передбачається і у майбутньому можливе лише незначне зниження питомої матеріалоємності електромеханічних пристроїв першим способом.

У другій половині XX століття додатковим фактором розвитку електромеханіки з'явилося удосконалення енергетичних установок транспортних засобів, розвиток теорії і практики систем автоматики, обчислювальної техніки, авіації і космонавтики, а також електронних систем. Це з'явилося причиною виникнення певних напрямків удосконалення електромашин за третім, четвертим і п'ятим способами, наприклад згідно табл. 10.3 та відносно нових напрямків електромеханіки, таких як електромеханотроніка [9]. Однак деякі способи потребують суттєвого системного ускладнення і збільшення вартості конструкцій за рахунок застосування додаткових комплектуючих систем, кулерів, кріостатів та інших пристроїв і елементів (нетрадиційного, зокрема кріогенного охолодження, редукторів, газових, або магнітних підшипників, ...) та використовуються в технічно обґрунтованих випадках [70, 71].

Таблиця 10.1. Залежність питомої маси G_t дво полюсного турбогенератора від його потужності S

$S, \text{ мВт}$	100	300	500	800	1000	1200
$G_t \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$	1,52	0,87	0,65	0,55	0,49	0,46

Таблиця 10.2. Часові змінні питомої маси дво полюсного асинхронного двигуна потужністю 3,7 кВт

Рік	1889	1900	1924	1930	1970
$G_t \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$	49.1,(100%)	29.2	20.5	11.3	10.0

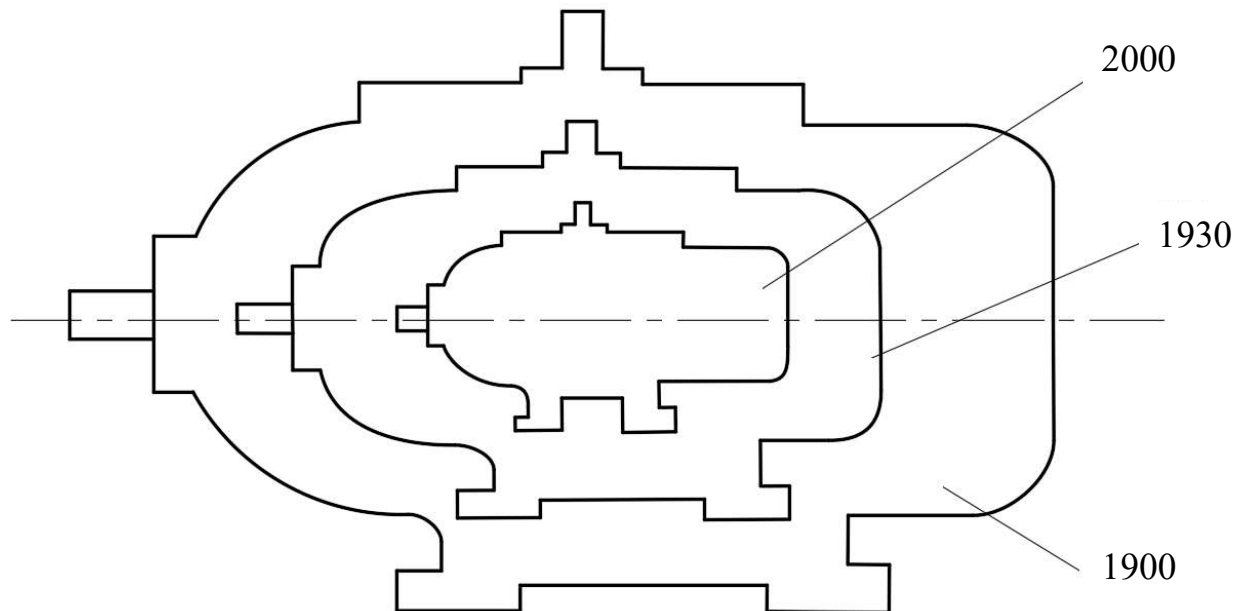


Рис. 10.11. Еволюція масогаборитних показників асинхронних двигунів

Взагалі вимоги зниження питомої матеріалоемності і вартості та підвищення надійності і коефіцієнту корисної дії (ККД) суперечливі та можуть бути вирішені на основі розумного компромісу, а також максимального використання резервів існуючих конструкцій і технологій виробництва.

На сучасному етапі практичні досягнення в трансформаторо і електромашинобудуванні можливі при подальшому розвитку методів та засобів проектування і теорії електромашин, які повинні мати інтенсивний розвиток у напрямку створення побудованих на методах системного аналізу математичних моделей, що забезпечують адекватні розрахунки і оптимізаційний проектний синтез. Разом с тим, ще наприклад в [4] вказано, що використання активних і конструктивних матеріалів в сучасних на кінець ХХ століття рухомих обертових і статичних ЕМ традиційних конструкцій до кінця вказаного минулого віку досягло рівня, що наближається до оптимального. Подальше зниження матеріалоемності та поліпшення показників класичних конструктивних виконань рухомих і статичних ЕМ традиційними способами не уявляється можливим. Згідно [4-6] розвиток електромашинобудування у кінці ХХ століття призупинено. Подальший розвиток є можливим на основі створення «інтелектуальних» рухомих ЕМ і ТТ, тобто за рахунок шостого способу удосконалення. У [14] також вказано, що подальша 0,5 ... 1% економія матеріалоемності ЕМ шляхом застосування поліпшених матеріалів і оптимізаційних розрахунків себе вичерпала і

необхідні нові підходи, тобто розробка і заснування інноваційних технічних рішень [70, 71].

Таблиця. 10.3. Напрями удосконалення електричних машин змінного струму

Клас машин	Тип перетворювача		Сучасні розробки
Синхронні	Контактні		Асинхронні, з над провідниковими обмотками
	Безконтактні	Безщіткові	З керованими обертовими випрямлячами
		З постійними магнітами	Високої напруги, для атомних електростанцій
		З пазуроподібними полюсами	Лінійні синхронні двигуни, частотнорегульовані двигуни
		Індукторні	З безконтактними і еластичними опорами
Асинхронні	З короткозамкненим ротором		З маловідходними технологіями виробництва магнітопроводів
			З підвищеною конструктивною пристосованістю до окремих механізмів
			Вбудовані і без корпусні
			Регульовані
			Лінійні двигуни
			Двигуни орієнтаційних систем
			Асинхронні генератори
			Двигуни з векторним управлінням
	З фазним ротором		Машини подвійного живлення і каскадні

10.4. Сучасні вимоги і проблема підвищення енергоефективності основних пристроїв споживання та розподілу електроенергії

Збільшення вартості енергії і необхідність подальшого енергоресурсозбереження призводять до зростання вимог і регламентування підвищення ККД кожної одиниці широкої номенклатури різновидів силового електрообладнання. В першу чергу ці вимоги пред'являються до найбільш масової продукції електротехнічної промисловості – АД загальнопромислового і спеціального призначень та трансформаторів.

В системах силового електрообладнання, що забезпечують технологічні і виробничі процеси різноманітних галузей промисловості, енергетики та транспорту приблизно 90% споживаної електроенергії приходить на асинхронні електроприводи потужністю до 100 кВт. При цьому відповідно до табл.10.4 [42] з загального парку АД, що перебувають в експлуатації, 95% електроенергії споживають короткозамкнені двигуни вказаної потужності [70, 71].

Таблиця 10.4. Залежність споживання енергії асинхронними двигунами від потужності

Потужність, кВт	До 1,0	1,0-5	5,0-20	20,0-100	Більше 100
% від загальної кількості	10	60	20	9	1
% від загального споживання електроенергії	5	40	30	20	5

У відповідності до вимог енергоефективності в США, Германії і Канаді були прийняті національні стандарти енергоефективності АД. Необхідність енергозбереження примусила комісію виробників ЕМ і силової електроніки Європейського союзу прийняти нормативи енергоефективності EF2, EF1, C, B, A відповідно до яких ККД АД в основному діапазоні потужності P_n від 1,5 до 250 кВт повинен зрости відповідно з 0,75...0,9 (мінімальна ефективність класу EF2) до 0,94...0,975 (клас A). Вказані норми EF2 відповідають значенням ККД останніх серій АД колишнього СРСР. У подальшому був прийнятий міжнародний європейський стандарт ІЕС 60034-30:2008, що встановлює чотири класи енергоефективності АД: ІЕ1 – нормальний (стандартний), ІЕ2 – підвищений, ІЕ3 – преміум, ІЕ4 – супер – преміум. Вказані класи характеризує рис. 10.12, де вказано, що АД класу ІЕ1 застосовуються в ТО для яких найважливішим критерієм є дешевизна та відносна простота будови. АД класу ІЕ2 відрізняються від АД класу ІЕ1

підвищеною матеріалоемністю і містять менш потужні та менш шумні вентилятори. Порівняння деяких характеристик машин вказаних класів наведено на рис. 10.13. Машини класу IE3 почали застосовуватись з 2017 року коли вступив у силу Регламент ЕС який вказує, що АД потужністю від 0,75 до 375 кВт повинні відповідати вказаному класу або класу IE2 при наявності регулювання від перетворювача частоти. Знижені ЕМН і підвищена матеріалоемність таких АД утворюють можливість їх тривалої праці при перевантаженнях в діапазоні (10...15)% та в приводах з постійною зміною навантаження. Розробки АД преміум сегменту характеризуються максимальною питомою матеріалоемністю, мінімальними робочими зазорами і найдосконалішою системою аеродинаміки та покращеним теплообміном. Мінімальні зазори забезпечуються надточною співвісністю усіх елементів активно-конструктивної частини. Тому вказані АД відрізняються максимальною вартістю [70, 71].

В цілому реалізація задач підвищення енергоефективності АД обумовлює стійке зростання матеріалоемності і відповідно цін ЕМ з початку 80-х років минулого століття [30, 43-45]. Розробка АД з підвищеними ККД і матеріалоемністю характерна для усіх розвинених держав світу. Підвищення ККД енергозберігаючих АД досягається за рахунок зниження ЕМН, тобто щільності струму і індукції зазору та збільшення активної довжини в середньому до 30%. До вказаного слід додати, що принципова будова енергоефективних АДК єдиних серій загальнопромислового призначення є традиційною, тобто відповідає ЕМС (рис. 10.4, а) і загальноприйнятому виду (рис. 10.5, а) [70, 71].

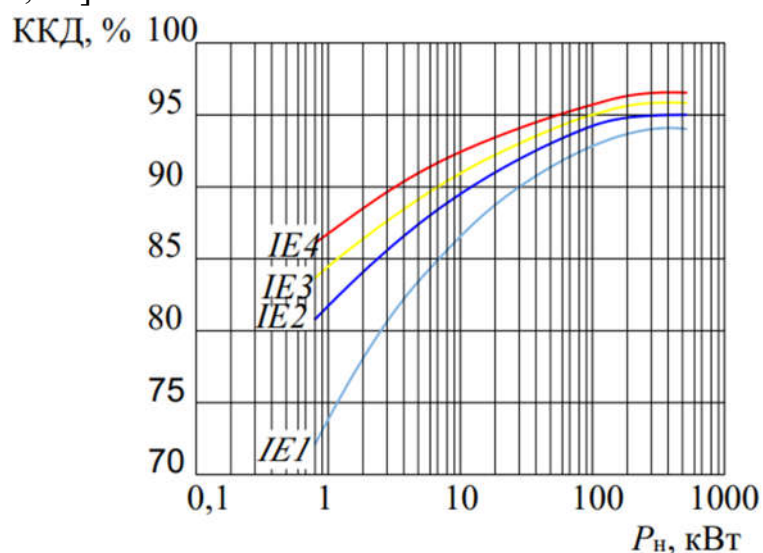


Рис. 10.12. Залежність вимог класів енергоефективності від потужності асинхронних двигунів

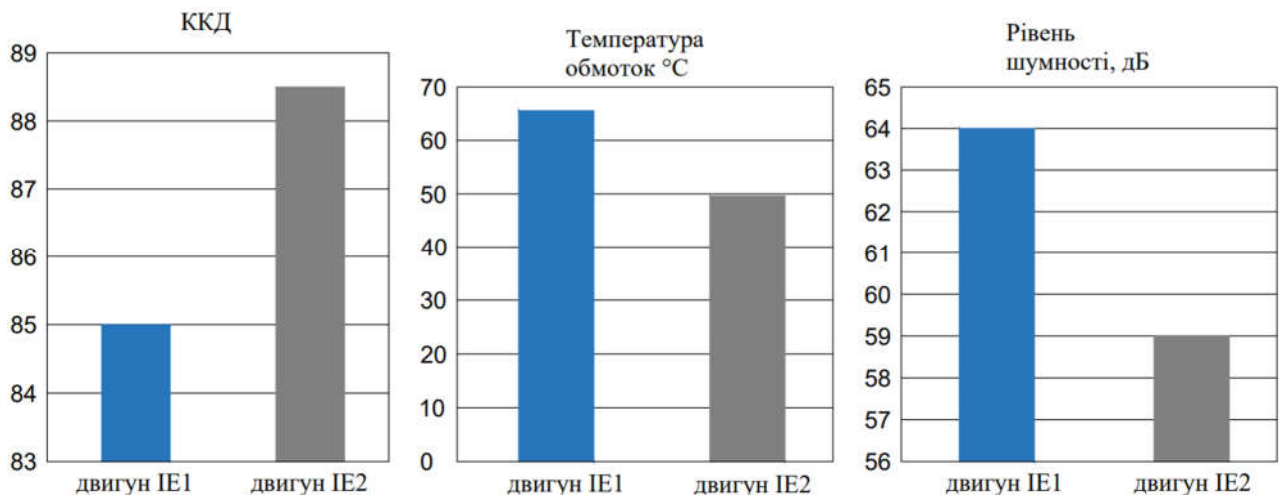


Рис. 10.13. Порівняння сучасних вимог основних показників енергетики, теплового стану і акустики асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором класів енергоефективності IE1 та IE2

Головними і енергометалоємними елементами систем електропостачання є трансформатори та реактори різної потужності. В початку XXI століття втрати в трансформаторному обладнанні в Європейському Союзі склали 2% від усієї виробленої електроенергії або 1/3 від загальних втрат [46]. Основні втрати в енергосистемах усіх держав створюють найбільш масові в виробництві і експлуатації силові розподільчі трансформатори I-III габаритів. Підвищення ККД таких електромеханічних пристроїв потужністю до 630 кВА усього на 0,1% при певних витратах вважається виправданим [46]. Задача зниження втрат однофазних і трифазних трансформаторів та реакторів є пріоритетною, а попередні норми енергоефективності НД428 і НД538 їх масляних і сухих виконань замінені більш жорстким Європейським стандартом EN50464-1:2007. Вказаний стандарт (табл. 10.5) визначає класи енергоспоживання і ККД при номінальному навантаженні трансформаторів, а також втрати неробочого ходу P_0 і короткого замикання P_k при заданій напрузі короткого замикання U_k [70, 71].

Підвищення енергоефективності трансформаторів досягається в рамках їх традиційної будови з прямокутними і круговими утворюючими контурами стрижнів та обмоткових котушок. Використовуються традиційні способи застосування сучасних досягнень електроматеріалознавства, зокрема аморфної ЕТС і зниження ЕМН [13, 31, 32, 46]. При цьому підвищення ККД також супроводжується погіршенням масовартістних показників.

З викладеного вище випливає, що забезпечення вимог енергозбереження при експлуатації АД і трансформаторів зниженням ЕМН знаходиться у протиріччі іншим сучасним вимогам матеріалоресурсозбереження (зниження питомої матеріалоємності). Усунення названого протиріччя можливо

застосуванням нетрадиційних інноваційних конструкторсько-технологічних рішень ЕМС та систем охолодження.

Таблиця 10.5. Норми енергоспоживання трансформаторів по європейській класифікації

Номінальна потужність трансформат ора кВ · А	Втрати, Вт										U_k , %
	Клас Е		Клас D		Клас С		Клас В		Клас А		
	P_0	P_{κ}	P_0	P_{κ}	P_0	P_{κ}	P_0	P_{κ}	P_0	P_{κ}	
100	320	2516	260	2150	210	1750	180	1475	145	1250	4
ККД, %	97,24		97,65		98,08		98,37		98,62		4
160	460	3627	375	3100	300	2350	260	2000	210	1700	4
ККД, %	97,51		97,87		98,37		98,61		98,62		4
250	650	4914	530	4200	425	3250	360	2750	300	2350	4
ККД, %	97,82		98,14		98,55		98,77		98,95		4
400	930	7020	750	6000	610	4600	520	3850	430	3250	4
ККД, %	98,05		98,34		98,71		98,92		99,09		4
630	1200	10179	940	8700	800	6750	680	5600	560	4800	6
ККД, %	98,23		98,49		98,82		99,01		99,16		6
1000	1700	15210	1400	13000	1100	10500	940	9000	770	7600	6
ККД, %	98,34		98,58		98,85		99,02		99,17		6

Важливим резервом енергоресурсозбереження є зниження додаткових втрат, що обумовлені вищими гармоніками магнітного поля, тобто дискретністю зубцово-пазових структур АД і наявністю текстури ЕТС та стиків магнітопроводів, а також викривлення розподілу магнітного поля в магнітних колах трансформаторів. Крім того, важливим резервом зниження матеріальних витрат при виробництві і експлуатації електромеханічних пристроїв є підвищення ресурсу та терміну служби рухомих і статичних ЕМ шляхом покращення їх віброакустичних характеристик (ВАХ) та теплового стану і покращення режимів пуску двигунів та електродинамічної стійкості трансформаторів [70, 71].

ІНОВАЦІЙНІ І РОЗРАХУНКОВІ ЗАСОБИ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ (ПРАГНЕННЯ, СПРОБИ, МОЖЛИВОСТІ)

11. НАМАГАННЯ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ І ПИТОМОЇ МЕТАЛОЕМНОСТІ ЕЛЕКТРОМАШИН ЗМІННОГО СТРУМУ

11.1. Проблема і історичні намагання зниження відходів електротехнічної сталі виробництва магнітопроводів

Низьковольтні (до 1000 В) АД загального призначення потужністю 0,25...400 кВт складають основу силових електроприводів, що застосовуються у всіх галузях людської діяльності. Визначені у підрозділі 10.4 вимоги підвищення ефективності, тобто збільшення ККД, досягається, як вже згадано, зниженням густини струму обмоток і магнітної індукції зазору. При цьому значно підвищуються витрати ЕТС, загальна матеріалоемність і габаритні розміри та на (15...30)% підвищується вартість АДК загальноприйнятої конструкції (рис. 10.4, а) [43 - 45].

"Класична" конструкція активної частини АД і статорів синхронних машин, що базується на створеній в кінці XIX і початку XX століть традиційній технології штамповки листів магнітопроводів, характеризується наявністю 50-60% відходів ЕТС. Штамповка листів супроводжується внутрішніми (вирубка пазів, вентиляційних отворів, отворів для валів) і зовнішніми (різниця між площею заготовки і загальною площею вирублених кругових листів ЕТС, що включає внутрішні відходи) відходами (рис. 11.1.). Кількість зовнішніх відходів оцінюються коефіцієнтом розкroeння

$$K_{pz} = \pi R_{as3}^2 i / (b_c H_k), \quad (11.1)$$

де R_{as3} – радіус зовнішнього кола магнітопроводу статора; i – число рядків розкroeння; b_c – ширина смуги (рулону) ЕТС; H_k – крок вирубки листів.

Резерви класичної технології уявляються в маловідходному розкroeні прокату ЕТС. Витрата смуги площею S'_c , площа зовнішніх відходів S'_b і коефіцієнт використання ЕТС без враховування внутрішніх відходів $K_{зв}$ при максимально досконалій, тобто ідеальній однорядній штамповці з нульовими перемичками за довжиною і шириною (рис. 11.1, а) складають [48]:

$$\begin{aligned} S'_b &= 4R_{as3}^2 - \pi R_{as3}^2 \approx 0,858 R_{as3}^2; \\ K_{зв} &= (S'_c - S'_b) / S'_c \cong 0,785. \end{aligned} \quad (11.2)$$

Витрати ЕТС, що відповідають (11.2), можуть бути знижені при попередньому розкроєні ЕТС на фігурні смуги (рис. 11.1, б) або при криволінійному розкроєні при багаторядної «шахматної» штамповці. В такому ідеальному випадку мінімальні відходи штампування круглих пластин з фігурної полоси ЕТС, боки якої визначають дуги окружностей радіусу R_{as3} , відповідають площі S_{KMN} криволінійного трикутника з центральними кутами $\pi/3$ (рис. 11.1, б)

$$S_{KMN} = S_{ABC} - 3S_{AKLM} = (\sqrt{3} - \pi/2)R_{as3}^2, \quad (11.3)$$

де S_{ABC} і S_{AKLM} – площі рівностороннього трикутника і секторів з центральними кутами $\pi/3$ (рис. 11.1, б).

Площа поверхні зовнішніх відходів S''_B , витрати смуги S''_C на одну пластину (рис. 11.1, б) і коефіцієнт мінімальних зовнішніх відходів K''_{3B} визначаються з врахуванням (11.3) виразами [48]:

$$\begin{aligned} S''_B &= 2S_{KMN} = 2R_{as3}^2(\sqrt{3} - \pi/2) \cong 0,3225R_{as3}^2; \\ S''_C &= \pi R_{as3}^2 + S''_B = 2\sqrt{3}R_{as3}^2 \cong 3,464R_{as3}^2; \\ K''_{3B} &= (S''_C - S''_B)/S''_C \cong 0,907. \end{aligned} \quad (11.4)$$

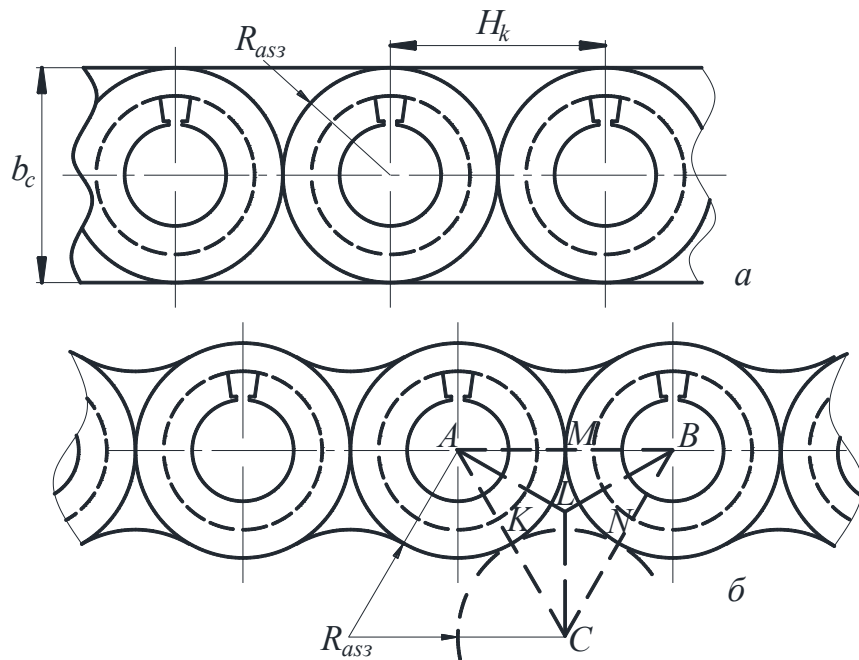


Рис. 11.1. Кутові відходи і варіанти конфігурацій смуг електротехнічної сталі: а – однорядне "ідеальне" розкроєння смуги з нульовими перемичками; б – маловідходне фігурне розкроєння.

При використанні сучасного обладнання, що забезпечує економічне розкроєння ЕТС (рис. 11.1), величина коефіцієнту зовнішніх відходів знаходиться в залежності від числа рядків розкроєння, між (11.2) і (11.3):

$$0,8 \geq K_{3B} \geq 0,785. \quad (11.5)$$

Для реалізації способу штампування з фігурних стрічок і досягнень значення (11.4) потребується спеціальне технологічне обладнання, тобто складні багаторядні штампи і автоматичні лінії.

Середній коефіцієнт розкroeння (11.1) для АД серії 4АМ з висотою вісі обертання 71-100 мм складав 0,863, а для АД з висотою вісі обертання 280-355 мм – 0,892.

В наш час загальні зовнішні відходи ЕТС виробництва магнітопроводів АД відповідають (11.5) і в сукупності з внутрішніми відходами штампування пазів і центральних отворів складають, як і в минулому [7, 8], 40...50%.

З викладеного випливає, що задачі зниження втрат і загальної матеріалоемності АД, а також зниження витрат ЕТС при виробництві магнітопроводів, є дуже складними, актуальними і поки остаточно не вирішеними.

Протягом всього ХХ століття у промислово розвинених державах здійснювалися спроби повністю або частково усунути основний недолік масового продукту електромашинобудування – АД класичної будови – значні відходи ЕТС при виробництві циліндричних штамповано-шихтованих магнітопроводів [4 - 6]. В 30-х роках минулого ХХ-го століття на фірмах "Дженерал Електрик" і "Вестингауз" були запропоновані конструкція витого циліндричного магнітопроводу і спосіб його виготовлення навивкою на ребро стрічки ЕТС з виштампованими пазовими виїмками (рис. 11.2, а). Даний спосіб забезпечує, в залежності від числа полюсів p і відповідно висоти ярма статора $h_{ас}$, коефіцієнт використання ЕТС (відношення маси витраченої ЕТС до маси магнітопроводу) $K_v = 0,6...0,7$. Також в 50...60 роках виникло виробництво магнітопроводів ТАД і інших різновидів аксіальних електромашин з коефіцієнтом використання ЕТС $K_{вп} = 0,65...0,75$, який забезпечується штапковою пазових виїмок зі змінним кроком t_{zn} і спіральною навивкою плашмя стрічки ЕТС (рис. 11.2, б). Подальшим розвитком пропозицій (рис. 11.2, а, б) є виготовлення витих магнітопроводів з заготовок, що мають пазові просічки та поділяються на дві частини (рис. 11.2, в), а також магнітопроводів, в яких виконується стикування окремо навитого ярма і закритого на активній поверхні витого зубцово-пазового шару (11.2, г). Спосіб (рис. 11.2, в) підвищує використання ЕТС до $K_{вп2} = 0,75...0,85$, а стикова конструкція, яку характеризують рис. 11.2, г і рис. 11.3 при використанні ЕТС з $K_{вс} = 0,7...0,8$ спрощує укладання обмотки у відкриті зовні пази [70, 71].

Недоліком способів виготовлення суцільно витих на ребро магнітопроводів, що відповідають (рис. 11.2, а, в) є виникнення значної деформації і наклепу стрічки, що погіршує магнітні властивості та знижує заповнення осердя ЕТС. Загальна деформація зменшується локальною деформацією стрічки в зоні ярма (рис. 11.2, а). Структура стикового

магнітопроводу (рис. 11.2, *з*) також дозволяє безперервну стрічку поділяти на дві заготовки з зубцями прямокутної форми (рис. 11.3, *а*), що додатково зменшує відходи ЕТС. Скріплення витих яремних і зубцево-пазових стикуємих ділянок здійснюється горячою посадкою та феромагнітним клеєм (рис. 11.3, *б*) [70, 71].

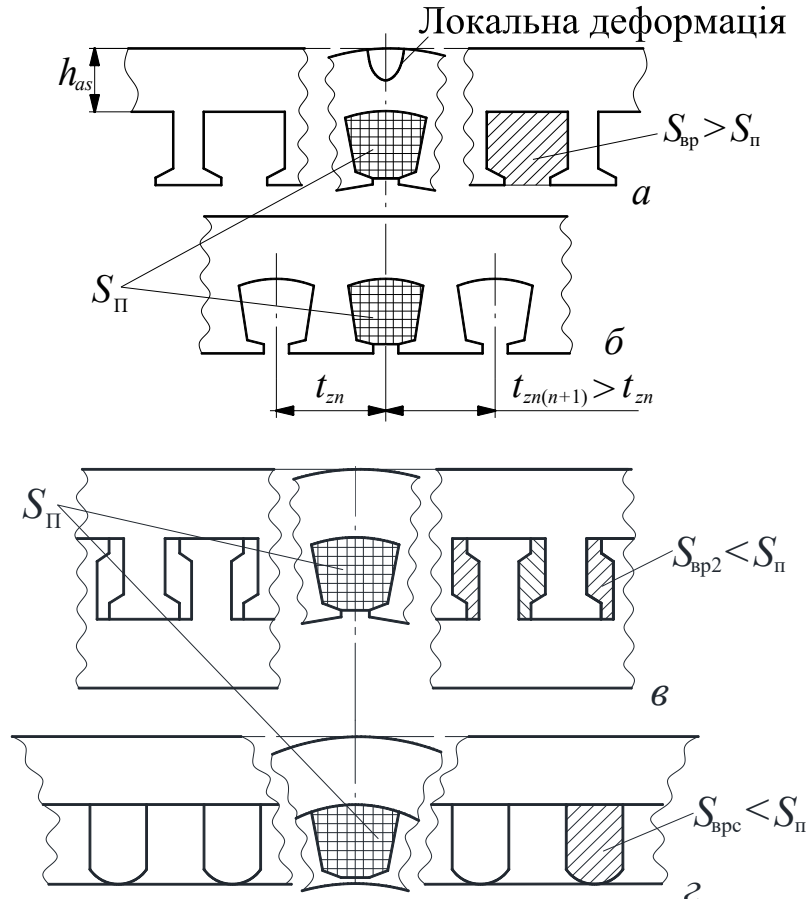


Рис. 11.2 Конструктивно-технологічні рішення витих зі стрічки електротехнічної сталі магнітопроводів способом навивки на ребро (*а*, *в*, *з*) і навивки плашмя (*б*): S_{Π} – площа пазового отвору; $S_{вр}$, $S_{вр2}$ і $S_{врс}$ – площі пазових виїмок при різних способах штамповки і навивки стрічки.

Виті аксіальні магнітопроводи (рис. 11.4, *а*, *б*) застосовуються у виробництві спеціальних аксіальних (торцевих) АД. Для їх виготовлення застосовується обладнання штамповки стрічки ЕТС зі змінним кроком (рис. 11.2, *б*, рис. 11.4, *в*). Виті на ребро магнітопроводи були випробувані тільки в експериментальних зразках АД. Головна задача технологічної реалізації способу навивки ЕТС на ребро з пазами – керована деформація плоскої стрічки в суцільно витий магнітопровід або його активний шар з допустимим розшихтуванням зубців в пазах (шорсткість їх стінок) на протязі минулого

часу не була вирішена. Практичного серійного застосування магнітопроводів (рис. 11.2, *а, в, г* і рис. 11.3, *б*) не відбулось [70, 71].

Технологічні складнощі забезпечення необхідної для практичної реалізації якості витих на ребро магнітопроводів обумовили появу досліджень та дослідно-конструкторських робіт створення АД з активними частинами, що містять аксіальні (рис. 11.5) та радіальні (рис. 11.6) стикові магнітопроводи з ортогональним розташуванням шарів ЕТС в ярах і зубцях. Також на основі ортогональних структур пропонувалось структурне роздрібнення зубцово-пазового шару з метою зменшення амплітуд зубцевих гармонік розподілу магніторушійної сили та покращення теплового стану обмотки. Активний розподілений шар (рис. 11.5) дозволяє застосовувати в зубцях анізотропну ЕТС та підвищувати густину струму, однак потребує його ізоляційного відокремлення в зоні стику від ярма, що збільшує намагнічувальний струм [5, 6] [70, 71].

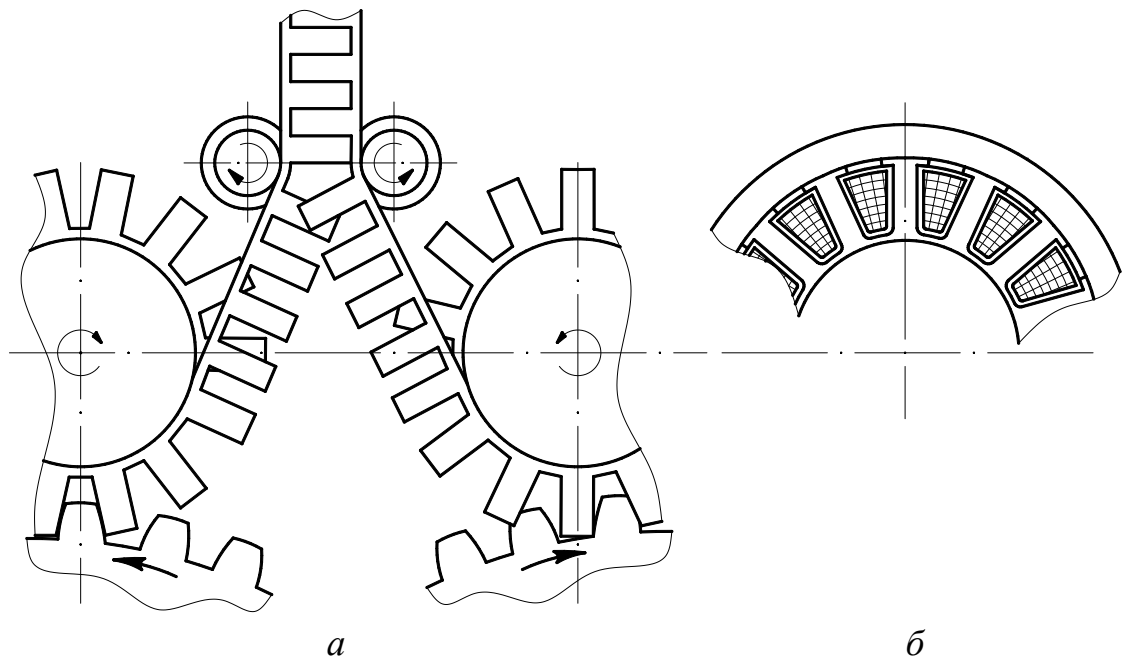


Рис. 11.3. Навивка суцільного магнітопроводу (*а*) з гребінчастої локально деформованої стрічки та складання "обернених" зубцевих зон (*б*) стикового магнітопроводу з додатковим зниженням відходів

Технологічним розвитком циліндричного стикового магнітопроводу з ортогональними шарами ЕТС зубців і ярм є варіанти виготовлення зубцово-пазового шару статора (рис. 11.6, *а*) і ротора (рис. 11.6, *б*) гофрируванням полоси рулонної ЕТС (рис. 11.6, *в*). Однак незалежно від патентних подробиць, гофрована зона в АД перетинається $2p$ разів головним магнітним полем і є джерелом «екранних» витрат. Розмикання закріплень гофри механічною обробкою призводить до втрати конструктивної жорсткості і потребує попереднього укладання та капсулювання обмотки.

В цілому виготовлені зразки АД з витими і гофрованими активними шарами циліндричних маловідходних магнітопроводів показали погіршені енергетичні характеристики відносно аналогів класичного виконання. Витрачені на їх розробку та дослідження витрати виявились невиправданими [48 – 50].

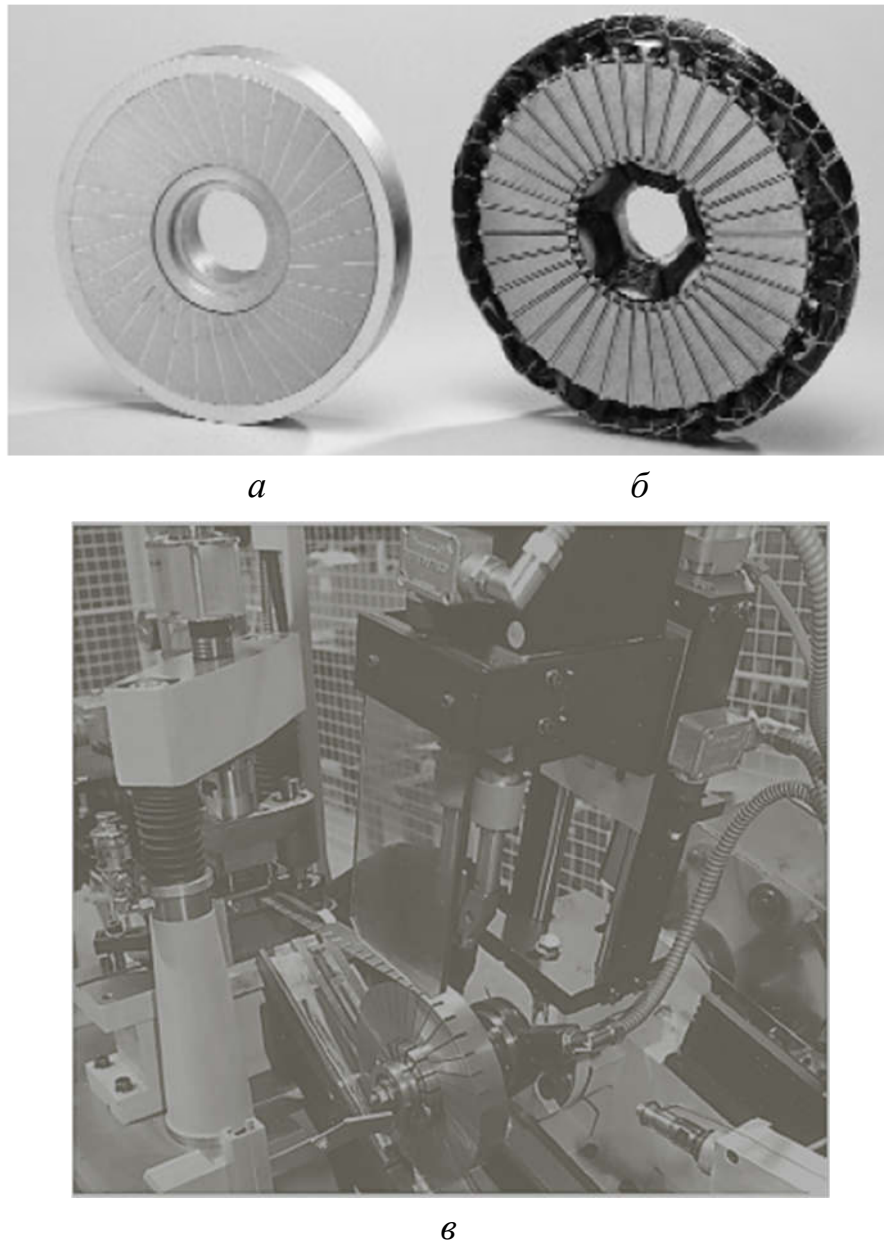


Рис. 11.4. Аксиальні магнітопроводи в складі ротора (а) і статора (б) та технологічний пристрій штампування пазових виємків при формуванні витого аксиального магнітопроводу (в)

Складність рішення конструкторсько-технологічної задачі створення маловідходних магнітопроводів електромашин змінного струму стимулювала розробку компромісних пропозицій і використання резервів класичної технології виробництва [49].

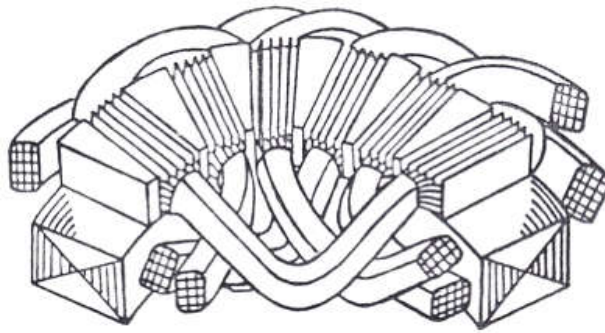


Рис. 11.5. Торцевий статор з активним розподіленим шаром

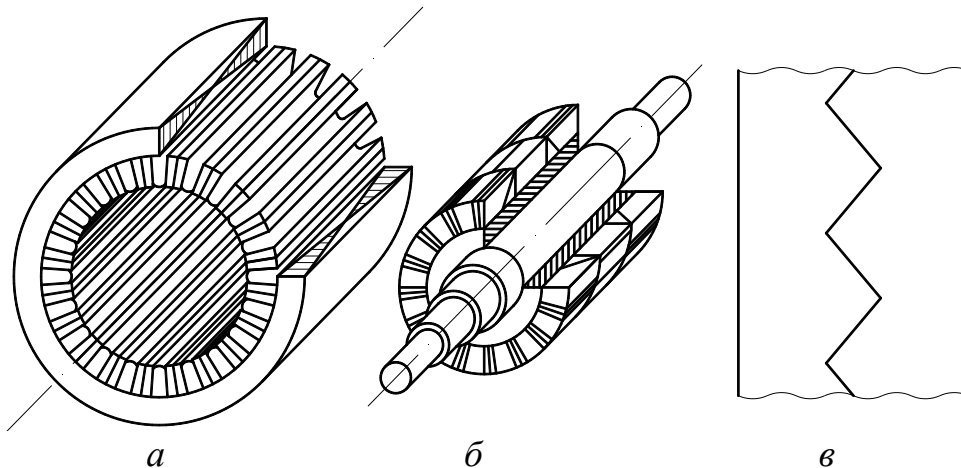


Рис. 11.6. Магнітопроводи статора (а) і ротора (б) з гофрованими зубцово-пазовими шарами та розділенням рулону електротехнічної сталі (в) для крайніх секцій активного шару ротора

Компромісними пропозиціями є: скручення в циліндр плоского шихтованого пакету (рис. 11.7), подрібнення кутових відходів і пресування з них зовнішньої частини складеного ярма, тобто доповнення середньої квадратної частини магнітопроводу до циліндричної. В пропозиції скручення плоскої шихтованої заготовки в циліндр пакет шихтують з зубчастих гребенок (рис. 11.7, а) і закручують на пристосуванні (рис. 11.7, б). В процесі скручення впливають на перемички яремних ділянок гребенок до повного сопряжіння кромek просічок, що зсунуті у суміжних шарах (шихтовка з стиками "вперепліт"). Пакет 1 заготовки (рис. 11.7, б) розташовують між оправкою 2 і обкаточним роликem 3 до упору в обмежувач 4. Повертанням рычага 5 частину пакету обжимають навколо оправки і після фіксації її прижимним роликem 6 рычаг повертають у вихідний стан. Подальшим повертанням в протилежному напрямку деформують іншу частину пакету. Отриманий циліндр проварюють в площині стику двох крайніх напівзубців [70, 71].

Відомим також є напрямок розробки і виробництва магнітопроводів мікромашин з феромагнітного композиційного матеріалу

(магнітодіелектрика) [51]. Однак зразки АД, що створені та випробувані з вказаними пропозиціями мали значно погіршені енергетичні показники.

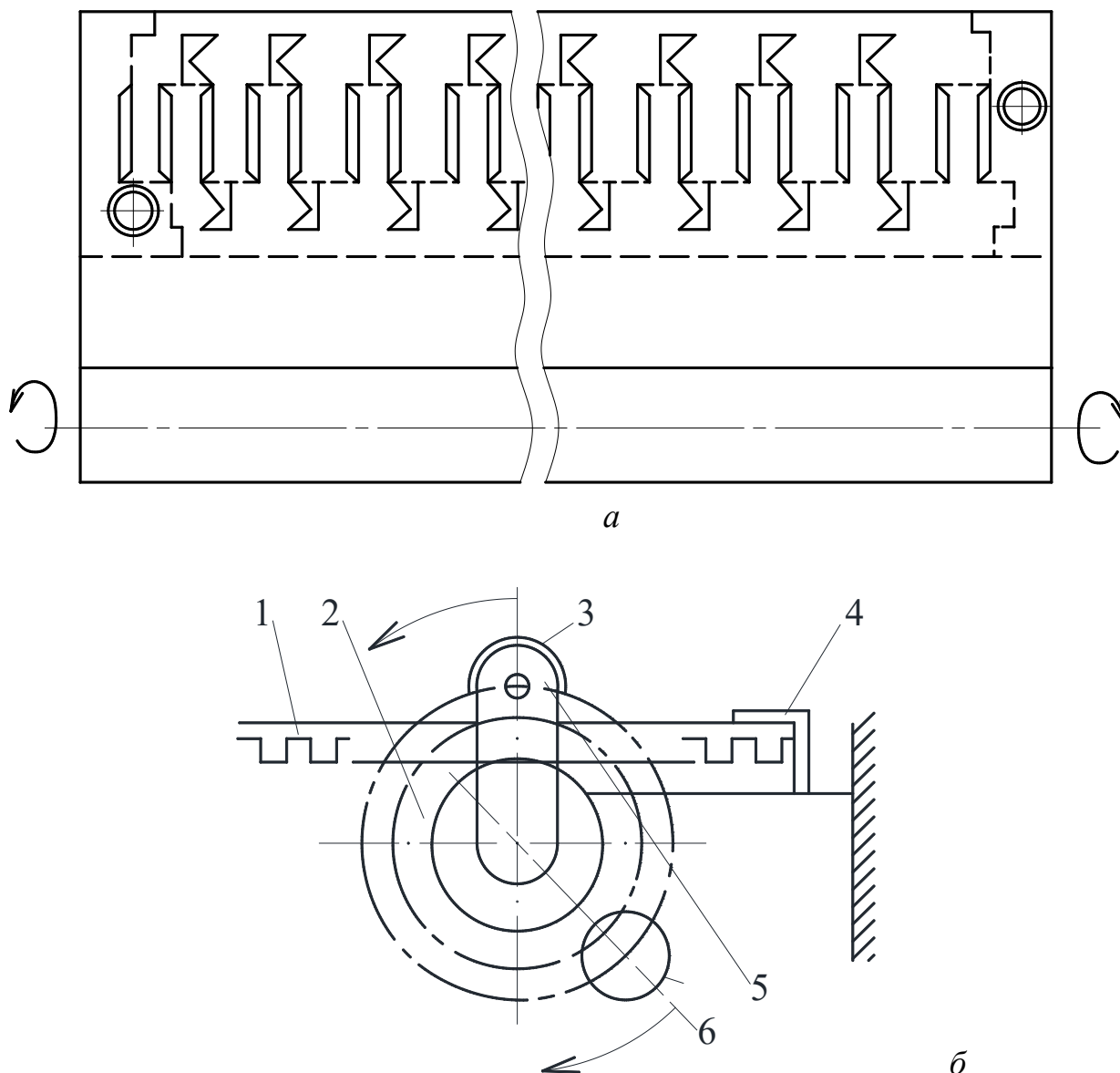


Рис. 11.7. Схема вирубк гребенок з зсунутими просічками в зоні ярма (а) і пристосування для згортання плоских шихтованих пакетів в циліндричні пакети (б)

Для зменшення відходів ЕТС також запропоновано статорні листи вирубати з значними, близько до дна пазів, діаметрально розташованими лисками (рис. 11.8, а). Пакети таких листів доповнюються до циліндрів сегментами (рис. 11.8, б), що виштамповані в кряях полоси між пластинами (рис. 11.8, а). В іншому варіанті маловідходного магнітопроводу листи ЕТС мають форму, що наближається до квадрата, а сегментні частини, які їх доповнюють до кола, штампуються з малими відходами розкроєння зі стрічки ЕТС. При цьому в ярмах замість двох (рис. 11.8, б) виникають чотири стикових зазора (рис. 11.8, в). Сегментні пакети приєднуються до основних зубцевих

пакетів статора зварюванням [49]. Ускладнюється технологія виготовлення і, в зв'язку з круговою неоднорідністю, створюється тангенціальна періодична несиметрія ярма. Наслідком є погіршення гармонічного складу обертового магнітного поля та виникнення доданих до дії факторів дискретності зубцево-пазових структур додаткових втрат і підсилення магнітних складових вібрації і шуму [70, 71].

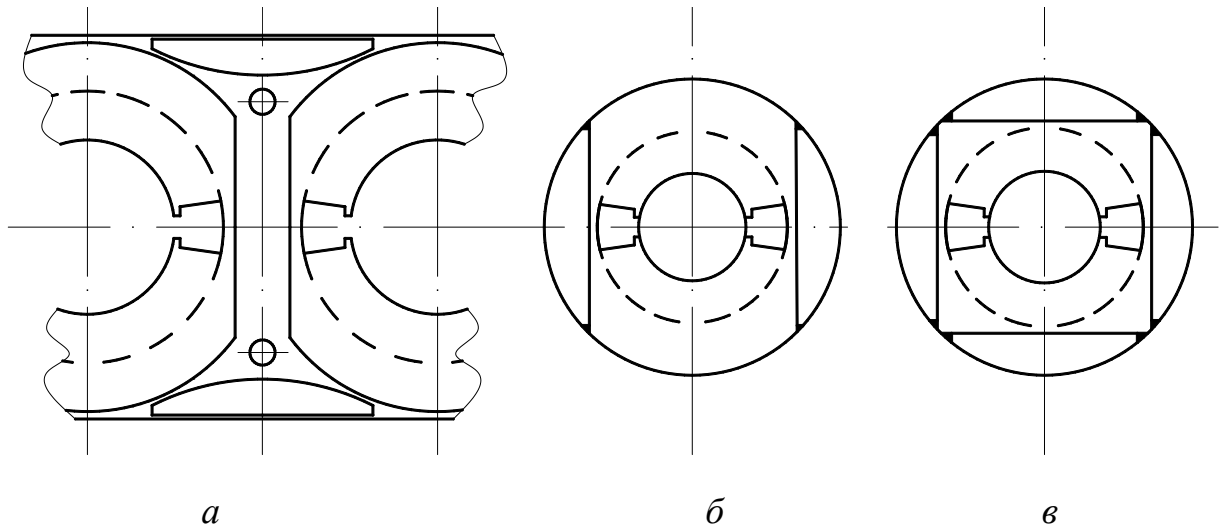


Рис. 11.8. Схеми розкroєння смуги зі зниженням витрат сталі (а) і варіантів маловідходного магнітопроводу з накладними сегментними частинами (б, в)

Таким чином вказані спроби зниження відходів (рис. 11.7, рис. 11.8), як і інші систематизовані в [5] спроби створення нетрадиційних конструкцій магнітопроводів (рис. 11.2 – рис. 11.6) не є вдалим в зв'язку з ускладненням технології виготовлення та погіршенням енергетичних характеристик створених зразків відносно АДК [50].

Основне сучасне світове виробництво загальнопромислових АДК базується на традиційній будові активних і конструктивних частин (рис. 10.4, а, рис. 10.5, а).

11.2. Безкорпусні виконання статорів з переривчастими ребрами аксіально-тангенціального охолодження

Для виготовлення АДК і синхронних машин потужністю до 1000 кВт (кВ·А) кожен рік електротехнічним виробництвом провідних держав витрачається сотні тисяч тон ЕТС, міді, алюмінію, конструктивних металів. Традиційна і незмінна протягом більш 120 років технологія виробництва магнітопроводів вказаних машин штампуванням і шихтуванням кругових листів ЕТС (рис. 11.1) крім незадовільного коефіцієнту використання ЕТС, потребує застосування металоємкої оболонки. При традиційній будові статорів, що

встановлені в оребренних корпусах (станинах) з чавуну, алюмінієвого сплаву або сталі, застосовуються екологічно шкідливі технології повторного ливарного використання заготівельних відливок для виготовлення елементів оболонок.

Конструкція і технологія виготовлення магнітопроводів статорів визначає три найважливіші напрямки комплексної економії в електромашинобудівному виробництві, а саме напрямки зменшення відходів сталі, зниження металоємності при збереженні механічної міцності елементів корпусу, а також підвищення надійності і ресурсу ЕМ інтенсифікацією теплообміну активної частини з навколишнім середовищем або холодоагентом при зовнішньому охолодженні статора [70, 71].

Основна частина теплової енергії, що виділяється в статорі закритого АД, передається через тепловий опір, що визначається відомим, в тому числі з [52] виразом:

$$R_{\theta} = \frac{h_{aS}}{\lambda_c \Pi_a} + \frac{\delta'_k}{\lambda'_k \Pi_a} + \frac{\delta_k}{\lambda_k S_m} + \frac{1}{\alpha_v S_m}, \quad (11.6)$$

де h_{aS} – висота ярма статора; λ_c – теплова провідність сталі в напрямку шихтовки; Π_a – площа поверхні контакту ярма з корпусом; δ'_k і λ'_k – величина і теплова провідність контактного зазору між ярмом і корпусом; δ_k і λ_k – товщина і теплова провідність матеріалу корпусу; S_m і α_v – зовнішня поверхня тепловідведення і коефіцієнт тепловіддачі оболонки охолоджуючому середовищу.

Традиційними засобами поліпшення теплового стану АД, обумовленими (11.6), є: збільшення S_m і зменшення δ_k при збереженні жорсткості оболонки шляхом оребрення корпусу, збільшення α_v шляхом, наприклад, зовнішнього обдуву і зменшення δ'_k [52]. Однак, у відповідності з [4, 48] найбільш ефективним і, згідно (11.6), найбільш радикальним рішенням завдання підвищення інтенсивності охолодження і зниження металоємності є повна відмова від охоплюючої ярмо і прилеглої до нього оболонки як в захищеному, так і закритому виконаннях АД [70, 71].

В цілому корпус статора і підшипникові щіти створюють необхідні для нормального функціонування машини жорсткість будови, площу поверхонь охолодження та захист ЕМС від зовнішнього середовища, а також рух ротора та установку елементів приводу. Актуальним завданням є розробка нових рішень активної і конструктивної частин електромашини, таких, що забезпечать усунення або зменшення енергоємного і шкідливого ливарного виробництва та забезпечення енергоресурсозбереження. Ефективним рішенням задач зниження матеріаломісткості і підвищення ефективності охолодження при покращенні екологічності виробництва є повна відмова від оболонки, що охоплює ярмо

статора як в захищеному, так і в закритому виконаннях машини. При конструктивному забезпеченні захищеності і стійкості (жорсткості) загальної будови, станина може бути вилучена і замінена, при необхідності спрямування обдуву, легким кожухом. Проблема захисту ЕМС і зовнішньої поверхні машини від впливу навколишнього середовища може вирішуватися якісним просоченням і нанесенням довготривало стійких покриттів [70, 71].

Розкрій ЕТС з нульовими перемичками по довжині і ширині може забезпечити тільки внутрішні відходи в разі вирубки квадратних пластин гранованого магнітопроводу (рис. 11.9, *а, б*) або пластин з напівкруглим вирізом (рис. 11.9, *в*). При цьому в разі збереження розкрою смуги (стрічки) штампування круглих пластин пунктирні контури (рис. 11.9, *а*) кутові ділянки гранованих пакетів при невиправданому збільшенні маси декілька знижують намагнічувальний струм АД, але по суті є прихованими відходами.

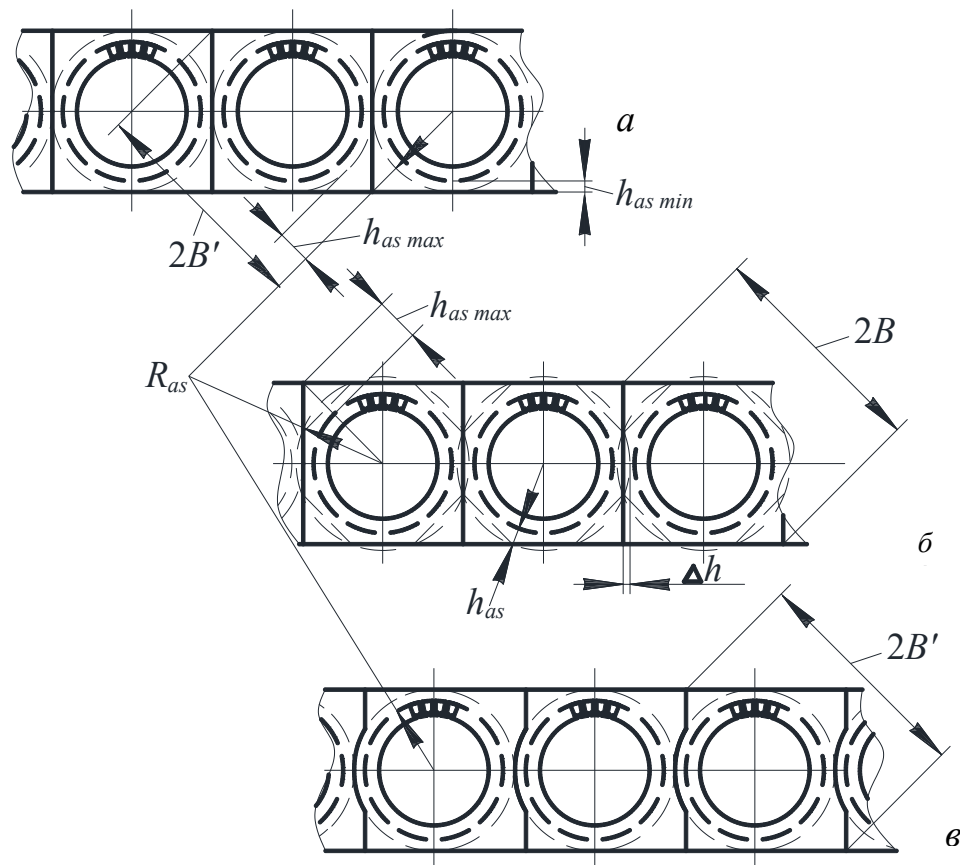


Рис. 11.9. Конфігурація зовнішнього контуру ярма та розкрій пластин електротехнічної сталі без зовнішніх відходів: *а* – розкрій квадратних пластин для гранованого та тангенціального магнітопроводів; *б* – розкрій квадратних пластин з зонами насичення по довжині та ширині; *в* – розкрій з напівкруглим вирізом для утворення ребер тангенціального охолодження.

У разі зниження витрати смуги (стрічки) при забезпеченні середньої висоти ярма h_{as} на рівні круглого магнітопроводу (рис. 11.9, б), в гармонійному спектрі індукції АД з гранованим магнітопроводом присутні вищі низькочастотні складові, що погіршують енергетичні показники і віброакустичні характеристики. Тому, в зв'язку з насиченням зони $h_{as \min}$, такі магнітопроводи не можуть бути застосовані.

Енергоресурсозбереження при виробництві АД можливо на основі розробки безкорпусних конструкцій з магнітопроводами статора з некруглих тангенціально зсунутих пластин. По суті пропонується використовувати приховані відходи розкроїв сталі (рис. 11.9, а) для розвитку поверхонь і інтенсифікації охолодження магнітопроводів (рис. 11.10). Для цього запропонована «віярна» збірка пластин (або секцій у вигляді груп пластин) з утворенням гвинтоподібного оребрення (рис. 11.10, а). Однак на основі теплових досліджень АД з тангенціальним магнітопроводом схеми (рис. 11.10, а), що містив 24 модуля по 4 пластини, які зсунуті на кут $\gamma_{\pi} = \pi/6$, встановлено [53], що збільшення поверхні охолодження не призводить до помітного зниження температури. Тому зроблено висновок про необхідність підвищення тепловідводу з поверхні магнітопроводу (рис. 11.10, а). Покращення тепловідводу можливо інтенсивним зовнішнім обдувом каналів, що утворені між виступами, тобто кутовими зонами зсунутих на $\pi/4$ пакетів прямокутних пластин секціонованого магнітопроводу статора (рис. 11.10, б) [70, 71].

На основі аналізу стану електромашинобудування констатується "глухий кут" подальшого розвитку АД з шихтованими магнітопроводами і пропонується вихід з застою в удосконаленні на основі розробки "інтелектуальних", згідно [4], безкорпусних машин схем (рис. 11.10, в). Такі машини містять секційний магнітопровід (рис. 11.11, а), який складається з поверненням на $\pi/2$ пакетів пластин маловідходного розкроєння з напівкруглим вирізом (рис. 11.11, б). Закритий безкорпусний АД з подібним статором вперше представлений в 1985 році на Ганноверській "ярморці", а французька фірма «Індастрі Юнісерв» випустила на ринок нову серію АД вказаної будови з примусовою вентиляцією і інтеграцією теплообмінника з магнітопроводом статора. Конструкція магнітопроводу (рис. 11.11, а) характеризується розвиненим переривчастим оребренням і аксіально-тангенціальним рухом повітря, що підвищує коефіцієнт α_v та підсилює тепловідвод. Складовими конструктивної частини машин з магнітопроводами статора (рис. 11.10, б, в, рис. 11.11, а) є торцеві циліндричні опорні елементи, наскрізні планки, що проходять крізь отвори в виступах – ребрах магнітопроводу і легкий зовнішній кожух. Опорні елементи і планки зтягують магнітопровід, що замінює скріплюючу дію станини. Серія відрізняється поліпшеною системою аксіально-тангенціального охолодження

з поворотанням потоку повітря. Збільшення інтенсивності теплообміну дозволило знизити розміри і підвищити ефективність АД з пластин магнітопроводу статора маловідходного розкроєння (рис. 11.11, б) [4, 70, 71].

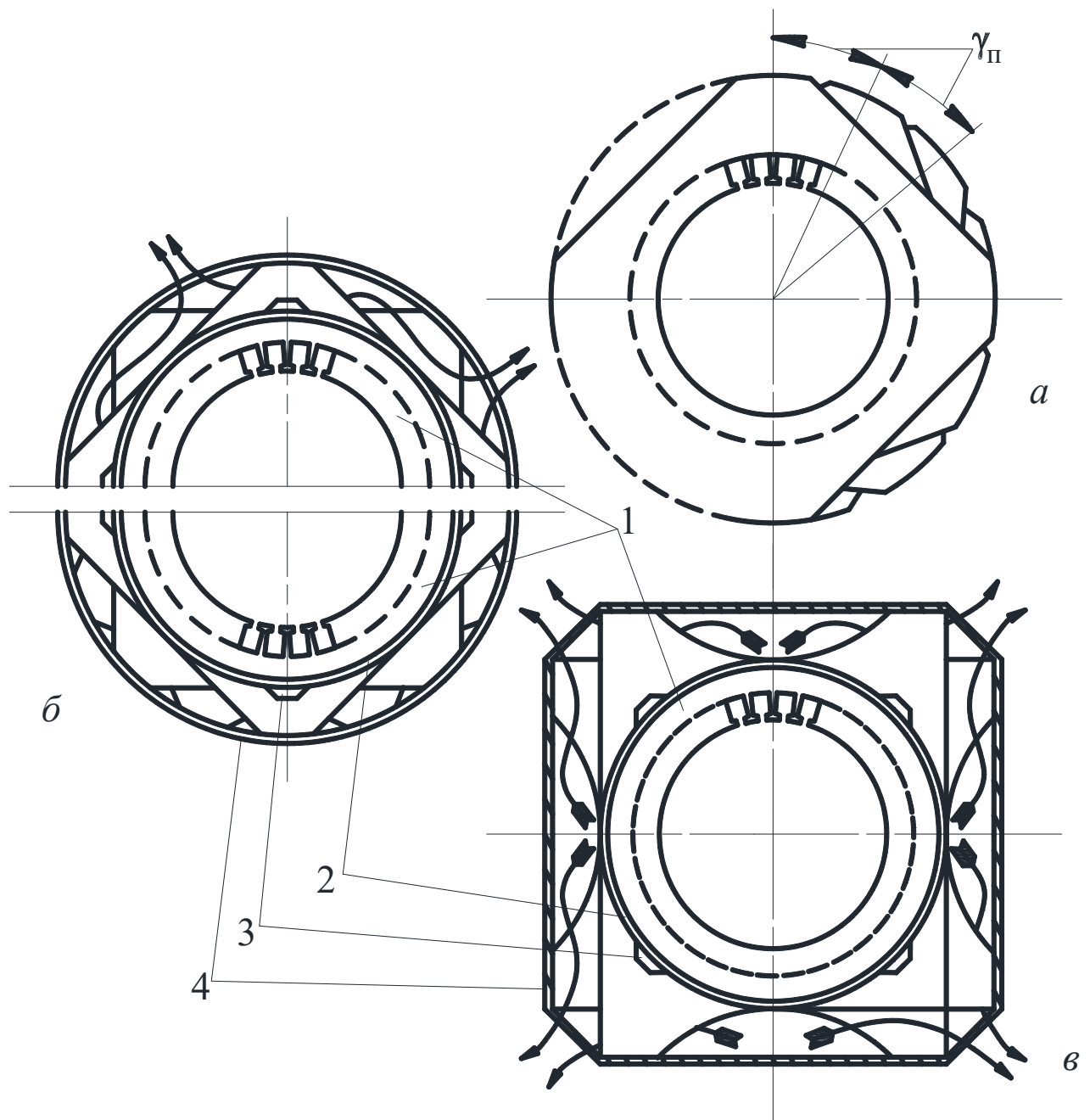


Рис. 11.10. Магнітопроводи зі збільшеною поверхнею охолодження: *a* – з віярним складанням (тангенціально-віярний) та з тангенціальним зсувом і з ребрами тангенціального охолодження, що утворені кутовими зонами пластин прямокутної форми (*б*) і з пластин, що мають напівкруглий виріз: 1 – магнітопровід; 2 – стягуючий циліндр; 3 – ребра жорсткості; 4 – кожух.

Удосконалення конструкції (рис. 11.11, *a*) є можливим складанням магнітопроводу статора (рис. 11.12, *a*) без повороту пакетів ЕТС на основі зміни порядку руху смугової заготовки і змінного силового впливу на цю заготовку,

тобто при поперечному розділі смуги (рис. 11.12, б) з подвійним кроком $2t_{\text{ш}}$ по відношенню до кроку $t_{\text{ш}}$ штампування пазових і допоміжних отворів [54]. При цьому також досягається зниження металоємності і відсутність зовнішніх відходів розкроєння пластин ЕТС.

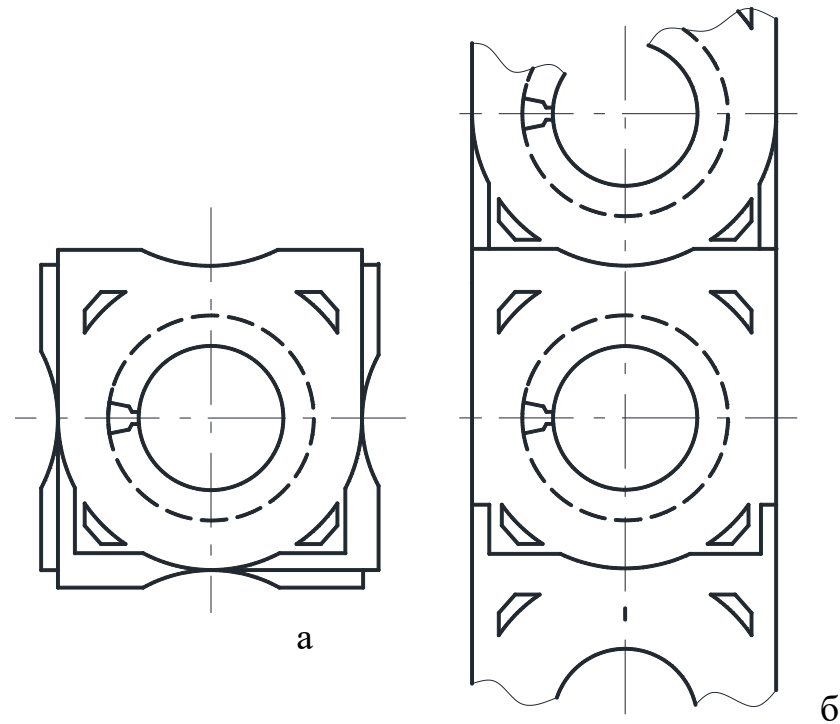


Рис. 11.11. Принципові схеми варіантів складання пакетів (а) і розкроєння пластин (б) магнітопроводу статора безкорпусної електромашини з аксіально-тангенціальним охолодженням та восьмирядним переривчастим oreбренням

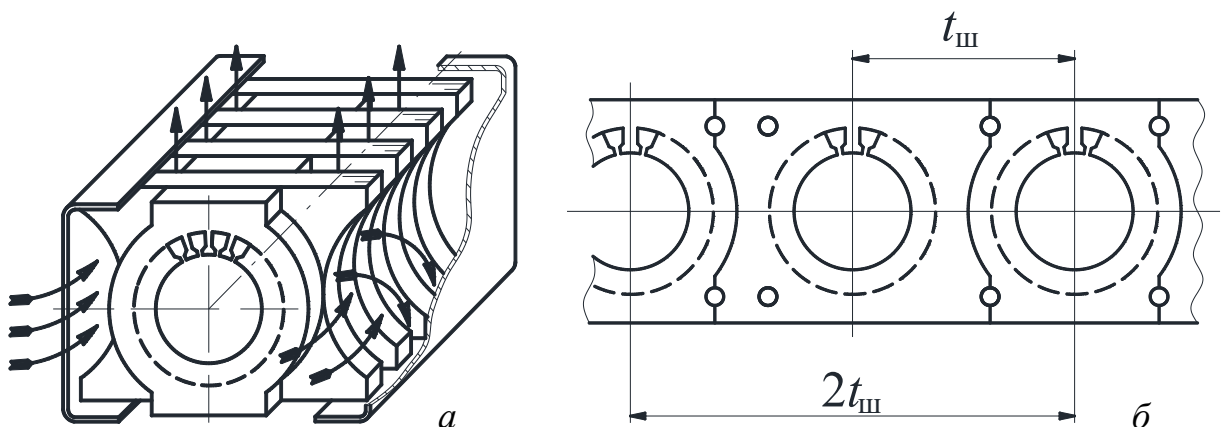


Рис. 11.12. Принципові схеми магнітопроводу статора і руху повітря охолодження (а) і розкроєння смуги (б) електротехнічної сталі без зовнішніх відходів для складання пакетів з чотирирядним переривчастим oreбренням

Спільними недоліками тангенціальних магнітопроводів (рис. 11.10, рис. 11.11, *а*), (рис. 11.12, *а*) є відсутність можливості перерозподілу магнітного поля з високо використовуваної зони ярма $h_{aS \min}$ в недовикористану зону $h_{aS \max}$ (зрівняльний потік перпендикулярний площинам пластин) і збільшення габаритного розміру магнітопроводів (рис. 11.9, *б, в*) з $2R_{aS}$ до $2B$ ($2B'$).

11.3. Безкорпусне виконання статора з багатоплощинним магнітопроводом

Іншим рішенням задачі зниження металоємкості і інтенсифікації тепловідводу при безкорпусному виконанні АД є зміна конфігурації і заміна плоских шарів пакетів на просторову багатоплощинну структуру шихтованого магнітопроводу статора (рис. 11.13, *а*) [14 - 16, 48, 55]. Просторова структура вказаного магнітопроводу утворюється тангенціальним зсувом пластин квадратної форми і вигином їх кутових зон на 60° по лініям граней восьмигранника (рис. 13.13, *б*). На вершинах кутів суміжні шари ЕТС товщиною δ_c зсуваються на b_{zc} (рис. 13.13, *в*). Виникає шорсткість і підвищення площі зовнішньої поверхні ярма, що покращує охолодження і суттєво знижує заготівельний об'єм ЕТС [56 - 59].

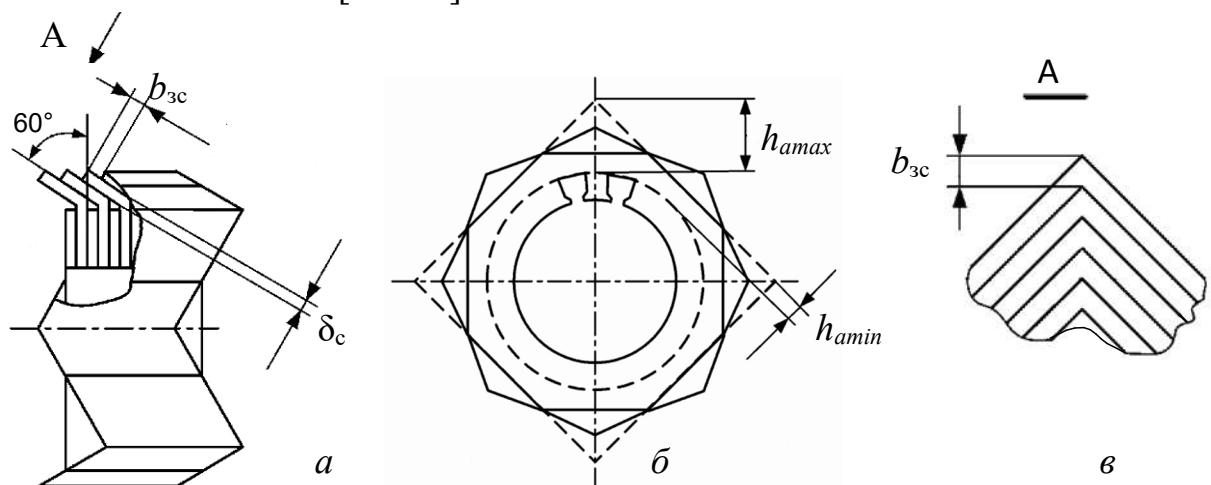


Рис. 11.13. Багатоплощинний магнітопровід (*а*) і конструктивно-структурні особливості просторових шарів електротехнічної сталі і зовнішньої поверхні ярма (*б, в*)

В закритому безкорпусному АД (рис. 11.14, *а*) магнітопровід статора (рис. 11.13, *а*, рис. 11.14, *б*) з пластин і шарів ЕТС (рис. 11.14, *в, г*) зтягнутий несучими опорними елементами. Просторова структура ярма в 1,5 – 2 рази (і більше при формуванні зубчастих кутових зон пластин) збільшує площу зовнішньої поверхні тепловідводу магнітопроводу відносно зовнішньої циліндричної поверхні вищезгаданого класичного аналогу. Операція вигину

граней і суміщення торцевих зон магнітопроводу з нажимними елементами (рис. 11.14, *a*) виконується в складеній заготовці і суміщується з операцією пресування пакету з подальшим закріпленням зварюванням в кутових зонах через пластину [60].

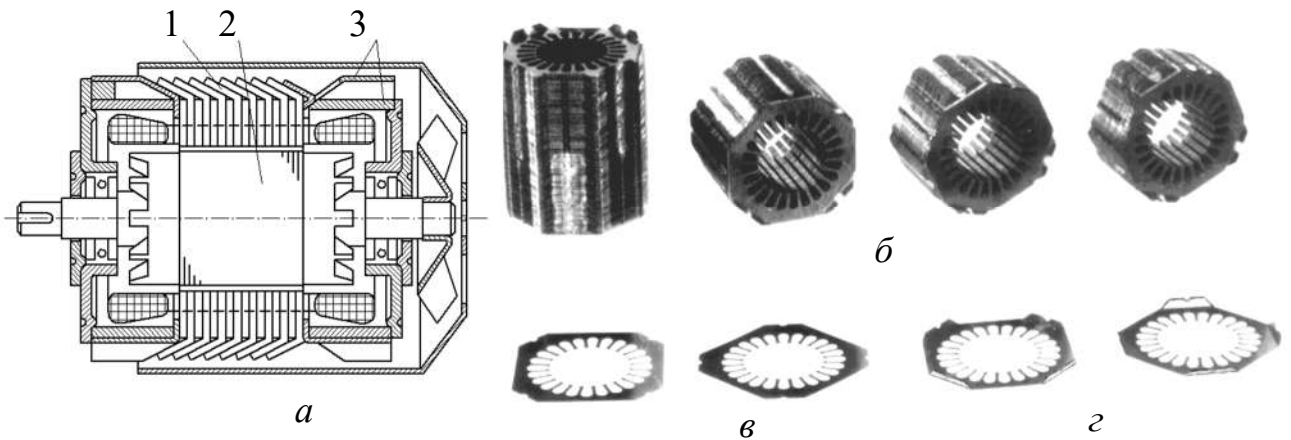


Рис. 11.14. Конструктивна схема закритого безкорпусного асинхронного двигуна (*a*) з магнітопроводом статора (*б*), плоскі заготовки (*в*) і елементарні шари (*г*) електротехнічної сталі просторової структури: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – опорно-стяжний елемент.

Магнітопровід статора (рис. 11.13, *a*, *б*) з середню висотою ярма h_{as} , крім вилучення корпусної станини в АД (рис. 11.14, *a*), знижує витрати ЕТС відносно витрат виготовлення традиційного магнітопроводу з аналогічною висотою ярма. При цьому збереження прокату ЕТС визначається коефіцієнтом зниженням кроку ходу штампу на $2\Delta h$ (рис. 11.9, *б*)

$$K_{зк} = (R_{as} - \Delta h)^2 / R_{as}^2,$$

де R_{as} – зовнішній радіус ярма циліндричного статора АДК.

Зубцьово – пазовий шар магнітопроводу статора (рис. 11.13, *a*) з зовні відкритими пазами може бути відокремлений від ярма, що спрощує обмотково-ізоляційні роботи (рис. 11.15, *a*). Також ярмо магнітопроводу статора (рис. 11.13, *a*) може бути розділено на зовнішню багатоплощинну частину, що виконує функцію станини і внутрішню кільцеву частину з зубцево-пазовим шаром на внутрішній поверхні (рис. 11.15, *б*). Крім того можливо створення штампувального обладнання з поворотним пуансоном (рис. 11.15, *в*). Вказані рішення усувають операцію повертання зубцево-пазової зони на 45° в кожній парі суміжних пластин [70, 71].

Багатоплощинний магнітопровід (рис. 11.13 – рис. 11.15) має зовнішню поверхню з шорсткістю, що дозволяє інтенсифікувати теплообмін при турбулентній течії охолоджувача. Теплообмін підвищується, як що відношення параметрів шорсткості (кроку $t_{ш}$ і висоти $h_{ш}$) складає $t_{ш}/h_{ш} \geq 1$.

Вказаної умові задовольняють параметри зсунутих ділянок кутових зон пластин на поверхнях охолодження (рис. 11.13, *а, в*) [59, 61]:

$$t_{\text{ш}} = \delta_c / \sin(\pi/6); h_{\text{ш}} = \delta_c \sin(\pi/3); t_{\text{ш}}/h_{\text{ш}} = 2,31. \quad (11.7)$$

Якщо в зонах кутових відходів (рис. 11.16, *а*) виконати виступи висотою $h_{\text{в}}$, можливо отримати магнітопровід з багатоплощинною структурою виступів ЕТС, тобто ребер (рис. 11.16, *б*). На периметрах цих ребер утворюється штучна шорсткість з параметрами (11.7). При вигині периметри виступів $FBCD$ зсуваються в положення $F'B'C'D'$ на величину $b_{\text{зс}}$, при цьому суттєво підвищується поверхня охолодження [59]. Додаткова штампувальна деформація гранених пластин по лініям ac , $a'c'$... кутових зон abc , $a'b'c'$... зменшує магнітний опір магнітопроводу (рис. 14.4, *в, з*) [62].

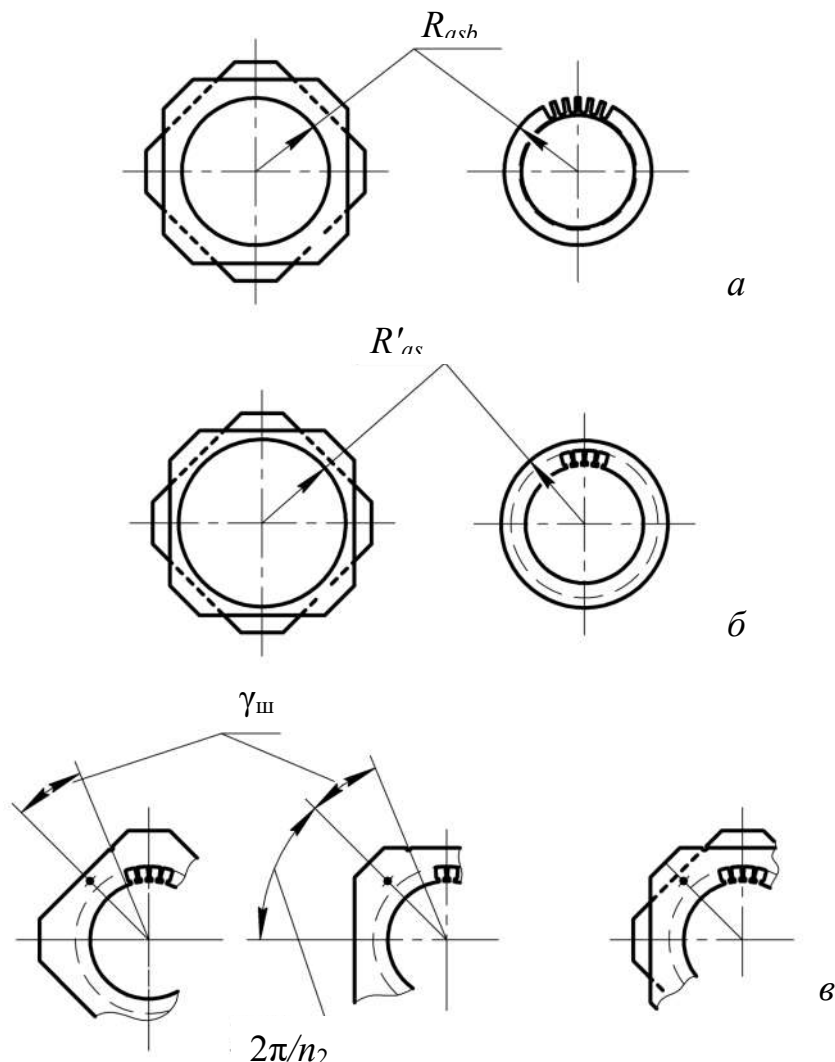


Рис. 11.15. Способи виготовлення тангенціальних та багатоплощинних магнітопроводів при зниженій точності штампованого інструменту:
а – відокремлення зубців від ярма; *б* – розділення ярма на дві зони;
в – використання штампу з поворотним пуансоном.

Додаткова особливість багатоплощинних магнітопроводів – просторова структура сталі пов’язана з формоутворенням елементарних шарів. Завдання забезпечення заданої форми окремого шару магнітопроводу статора (рис. 11.14, в, г) технологічних труднощів не представляє, але передбачається наявність додаткового згинального штампа і додаткової операції відгину утворених гранями виступів в кожній окремій пластині. Зазначений недолік усувається на основі способу інтегрального формоутворення багатоплощинного магнітопроводу [60].

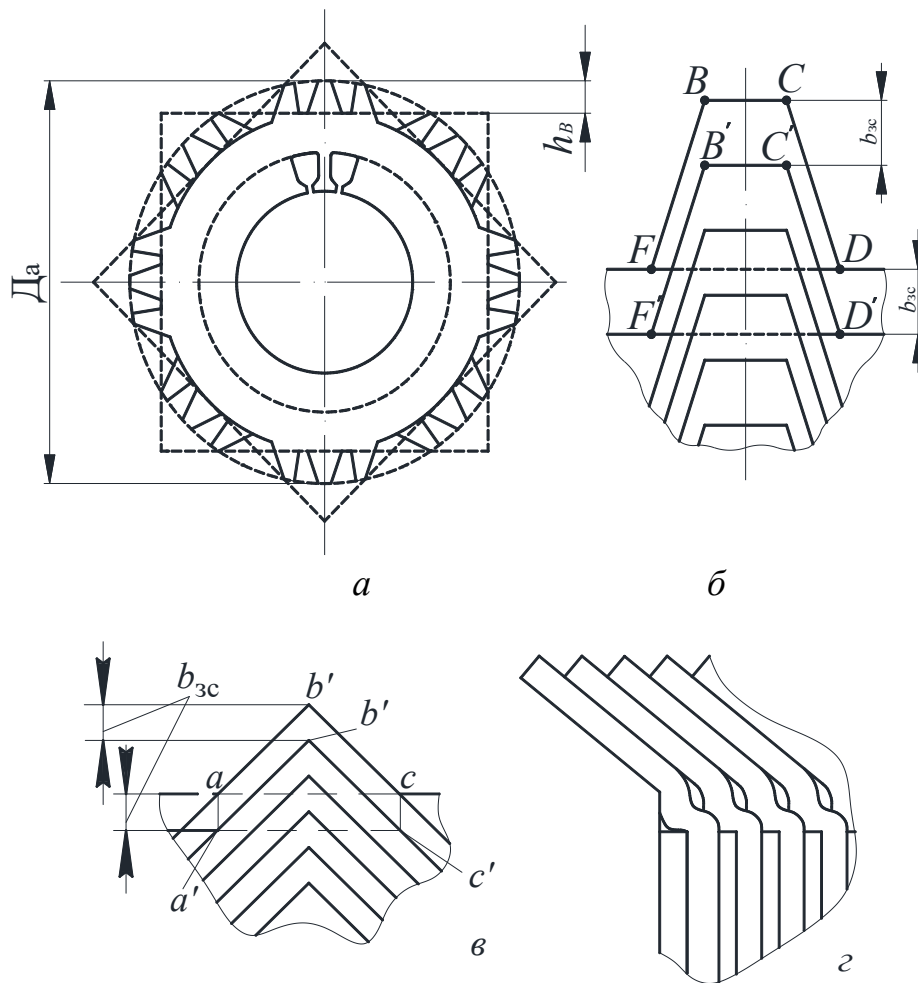


Рис. 11.16. Особливості конфігурації (а), зсув зубчастих виступів (б) і деформація в зонах стиків ділянок (в, г) шарів електротехнічної сталі варіантів багатоплощинного магнітопроводу

Такий спосіб включає набір заготовки у вигляді пакету кільцевих гранених пластин з виступами, що зсунуті в тангенціальному напрямку на половину кута граней в кожній парі суміжних пластин, установку заготовки на оправку-основу інструменту (рис. 11.17, а) і формування магнітопроводу відгином виступів переміщенням інструменту на оправці уздовж активної довжини статора l_s (рис. 11.17, б). Формування магнітопроводу здійснюється

послідовним впливом на заготовку деталей оснастки (використовується стандартний прес подвійної дії) – циліндрів обжимання та згинальних виступів пуансона. Особливістю способу є те, що внутрішня (щодо відгинаємих ділянок заготовки) кромка поверхні впливу на заготовку кожного виступу пуансона розташовується на відстані h від координати осі OO' магнітопроводу, що дорівнює відстані від цієї осі кромок відігнутих ділянок елементарних шарів, які утворені після відгину виступів. Деталі пуансона при відгинанні переміщуються уздовж осі OO' на відстань l_n , що перевищує довжину l_δ магнітопроводу ($l_n \geq l_\delta$) [70, 71].

Описаний спосіб дозволяє отримати за одну операцію (одне переміщення пуансона) задану форму і конфігурацію багатоплощинного магнітопроводу (рис. 11.14, а, рис. 11.14, б).

Для забезпечення суміщення поверхонь сполучення пластин ЕТС і нажимних елементів перед відгинанням виступів на оправку з боку торців магнітопроводу встановлюються нажимні елементи (рис. 11.17, в) у вигляді об'ємних штампованих деталей чашоподібної форми [63].

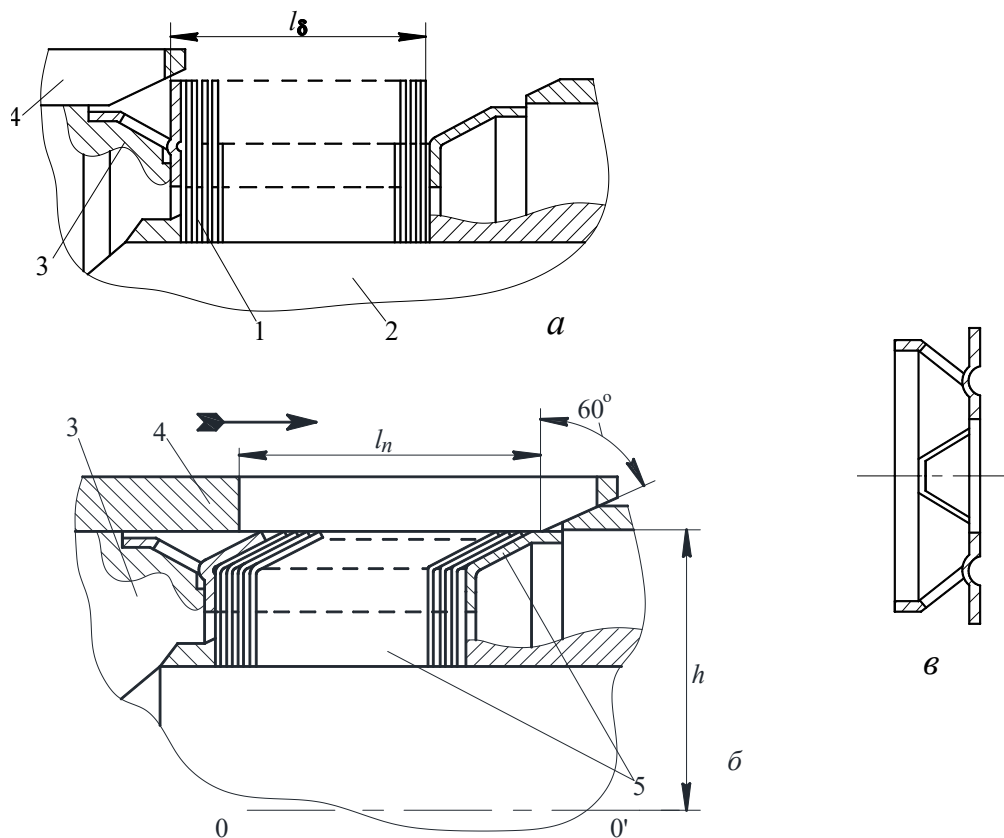


Рис. 11.17. Пристрій для опресування та зкріплення багатоплощинного магнітопроводу статора: а – вихідне положення; б – кінцеве положення; в – нажимний елемент (в зменшеному масштабі); 1 – заготовка магнітопроводу; 2 – оправка; 3 – циліндр обжиму; 4 – виступ пуансона; 5 – магнітопровід у зборі з нажимними елементами.

Формування магнітопроводу здійснюється тиском і деформаційним вигином кутових зон ЕТС до сполучення торцевих поверхонь виступів крайніх пластин з ділянками похилих поверхонь нажимних елементів (рис. 11.17, б). Можна використовувати нажимні елементи (рис. 11.17, в) з виштампуваними виїмками на похилих поверхнях і відігнутими ділянками між виїмками. В цьому випадку відгин виступів магнітопроводу здійснюється спільно з відгином на 60° ділянок нажимних елементів між виїмками [63].

Після формування магнітопровід статора і нажимні елементи в опресованому стані з'єднуються один з одним і скріплюються зварними швами через одну пластину та аксіальні пази в виступах пуансона. Таким чином, без додаткових опорно-зміцнюючих і стяжних елементів можна забезпечити виробництво багатоплощинних магнітопроводів досить жорстких і міцних статорів без корпусної установки як в захищених, так і закритих АД (рис. 11.14, а) з мінімальною металоємністю, що є комплексним рішенням задачі енергоресурсозбереження [70, 71].

11.4. Вплив форми активної поверхні і розташування ротора на використання активного об'єму та частоту власних коливань статора і удосконалення двигунів аксіально-торцевого та оберненого виконань

Для покращення масогабаритних та експлуатаційних характеристик ряду механізмів загальнопромислового та спеціального призначення, як відомо, додатково до АДК застосовують ТАД і АДЗР. Зміна положень в просторі і конфігурації активних поверхонь статора і ротора впливає на показники різновидів АД і відповідно потребує аналізу.

На рис. 11.8 показані перерізи магнітопроводів роторів еквівалентних АДК, АДЗР і ТАД з традиційною конструкцією магнітопроводу, що містять відповідно плоскі та коаксіальні шари ЕТС.

Співвідношення між геометричними та електромагнітними параметрами роторів (рис. 11.8) можна визначити виходячи з умов електромагнітної еквівалентності, тобто рівності електромагнітних потужностей та навантажень [26, 64]. Вказаним умовам відповідають рівності магнітних потоків, чисел витків та величин робочих зазорів δ , а також ідентичність конфігурацій і площин пазів та перерізів провідників. При цьому довжини l_R активних поверхонь роторів рівні між собою, а діаметри визначаються через однаковий у всіх еквівалентних двигунів діаметр D активної поверхні статора (для ТАД - середній діаметр активної поверхні) [70, 71]:

$$\begin{aligned} D_T &= D = (D_H + D_{BH})/2; \\ D_B &= D + 2\delta; \quad D_K = D - 2\delta, \end{aligned} \quad (11.8)$$

де $D_{Т(В)}$ - відповідно діаметри активних поверхонь ТАД і АДВР; D_H і $D_{ВH}$ - зовнішній та внутрішній діаметри активної поверхні ТАД; D_K - діаметр ротора АДК.

Зубцевим зонам роторів (рис. 11.8) при рівності середньої ширини пазів b_{Π} відповідають наступні співвідношення для ширин і індукцій зубів, що свідчить про погіршення електромагнітного використання активного об'єму ТАД и АДЗР відносно АДК [65]:

$$\begin{aligned} b_{zT} &= b_{zK} + \Delta b_z; \quad b_{zT} = b_{zK} + 2\Delta b_z; \\ B_{zT} &= B_{zK}/(1 + k_{Bz}); \quad B_{z3} = B_{zK}/(1 + 2k_{Bz}), \end{aligned} \quad (11.9)$$

де $b_{zT(3)}$ і $B_{zT(3)}$ - відповідно середня ширина і індукція в середньому перерізі зубців ротора ТАД (АДЗР); b_{zK} і B_{zK} - середня ширина та індукція в середньому перерізі зубців ротора АДК; Δb_z і k_{Bz} - збільшення ширини та коефіцієнт зміни індукції зубців.

Величини b_{zK} , B_{zK} і Δb_z , k_{Bz} визначаються виразами:

$$\begin{aligned} b_{zK} &= (\pi D/z) - (b_{\Pi} + \Delta b_z); \quad B_{zK} = B_{\delta}/b_{zK}; \\ \Delta b_z &= \pi(h_z + 2\delta)/z; \quad K_{Bz} = \Delta b_z/b_{zK}, \end{aligned} \quad (11.10)$$

де z і h_z - число та висота зубців кожного ротора (рис. 11.8); B_{δ} - середнє значення індукції у зазорі δ .

Збільшення маси зубців і ярма висотою h_a магнітопроводів відповідно ТАД и АДЗР (рис. 11.8) характеризується виразами:

$$\begin{aligned} m_{zT} &= m_{zK} + \Delta b_z \gamma_c k_c h_z l_R; \quad m_{aT} = m_{aB} + \Delta m_a; \\ m_{z3} &= m_{zK} + 2\Delta b_z \gamma_c k_c h_z l_R; \quad m_{aB} = m_{aK} + 2\Delta m_a, \end{aligned} \quad (11.11)$$

де $m_{zT(b)}$ і $m_{aT(b)}$ - відповідно маса зубців та маса ярма ТАД і АДЗР; γ_c і k_c - щільність ЕТС та коефіцієнт заповнення магнітопроводу; Δm_a - приріст маси ярма; m_{zK} і m_{aK} - маси зубців та ярма АДК:

$$m_{zK} = \gamma_c k_c z b_{zK} h_z l_R; \quad m_{aK} = \pi \gamma_c D l_R h_{aR} - \Delta m_a,$$

де h_{aR} - висота ярма магнітопроводу ротора.

Величина Δm_a визначається виразом

$$\Delta m_a = \pi \gamma_c l_R h_{aR} [2(h_z + \delta) + h_{aR}]. \quad (11.12)$$

Зазначені недоліки посилюються тим, що у реальних конструкціях АД зі схемами магнітопроводів (рис. 11.8), геометричні параметри умови (11.8) близькі тільки при $2p \geq 6$. При $2p < 6$ мінімально можливі діаметри D_T і D_B перевищують значення діаметра активної поверхні статора АДК, що пов'язано з труднощами розміщення лобових частин і підшипників ТАД у зоні $D_{ВH}$ [66], а також тим фактом, що площа паза статора перевищує площу паза ротора. Тому в практичних випадках при заданій полюсності та номінальній потужності $D_{Т(В)} > D$, а середні значення індукції у зубцях роторів ТАД і АДЗР відповідно не перевищують $B_{zT} = 0,7 - 1,1$ Тл и $B_{z3} = 0,6 - 1,0$ Тл, а для

роторів АДК нормальними є значення $B_{zk} = 1,0 - 1,8$ Тл. Підвищені маси роторів у ТАД і АДЗР, що застосовуються на транспорті, зумовлюють необхідність посилення підшипників та інших елементів конструкції, що сприймають «гіроскопічне» навантаження, величина якого пропорційна моменту інерції ротора [65, 66].

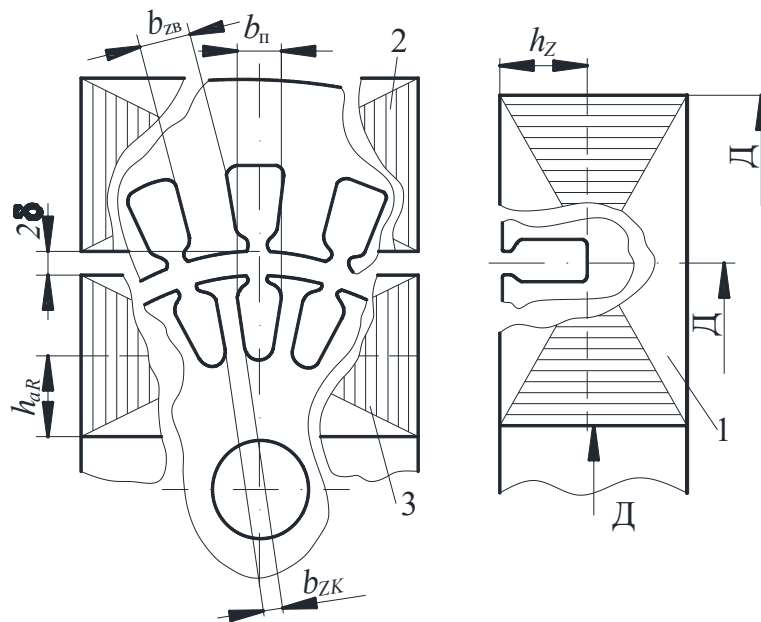


Рис. 11.18. Схеми магнітопроводів роторів еквівалентних асинхронних двигунів:

1 - з аксіальним робочим зазором; 2 - з зовнішнім ротором; 3 - з внутрішнім ротором.

Аналогічним чином неважко переконатися, що при рівності щільностей струмів та ідентичності конфігурацій перерізів елементів короткозамкнених кліток, маси матеріалу, а також активні та індуктивні опори обмоток роторів ТАД та АДЗР перевищують аналогічні величини АДК.

Крім розподілу і інтенсивності теплового поля в ЕМС та ефективності охолодження, іншим головним чинником підвищення ресурсу і терміну служби є віброакустичний стан ЕМ [7, 8, 72, 73].

Надійність і ВАХ різновидів ЕМ, крім конструктивно-структурних рішень зубцево-пазових зон та особливостей конструктивних частин, що впливають на рівномірність робочого зазору, залежать від частот власних коливань статора [72, 73].

Динамічні коливання статора АД з циліндричним зазором під дією радіальних віброобурюючих сил відбуваються в площинах елементарних шарів ЕТС і розглядаються як вібрації ярма з приєднаними масами зубців і обмотки.

Такі вібрації розглядаються як коливання кільця у власній площині з частотами [72, 73]

$$\omega_{aц} = \frac{r(r^2 - 1)}{\sqrt{r^2 + 1}} \sqrt{\frac{E \mathcal{Y}_{aц}}{\rho F_{aц} R_{aц}^4}}, \quad (11.13)$$

де r - число ізгибних напівхвиль коливань кільця (рис. 1.11); E , $\mathcal{Y}_{aц}$ - модуль пружності і момент інерції поперечного перерізу кільця; ρ - об'ємна густина матеріалу кільця; $F_{aц}$, $R_{aц}$ - площа поперечного перерізу і середній радіус кільця ярма циліндричного статора.

Зі зниженням частоти (11.13) підвищуються рівні магнітних вібрацій і шумів, при чому зростання $R_{aц}$ збільшує число вібронебезпечних частот (можливість резонансів) [72, 73].

При гіпотетичній ідентичності діаметрів активних поверхонь при середніх радіусах $R_{aцк}$, $R_{aцз}$ статорів АДК і АДЗР у випадку дотримання умови електромагнітної еквівалентності:

$$R_{aцк} = 0,5Д + 2h_{zs} + 2h_{as}; \quad (11.14)$$

$$R_{aцз} = 0,5Д - 2h_{zs} - 2h_{as} - \delta. \quad (11.14)$$

У вказаному випадку (ідентичність $Д$ і складових (11.14), (11.15)), з (1.13) випливає, що частоти власних коливань $\omega_{aцк}$, $\omega_{aцз}$ АДК та АДЗР є мінімальними в АДЗР, що надає можливість забезпечення кращих ВАХ. Однак в реальних конструкціях діаметри АД наближені лише при числі помосів $2p \geq 6$, а при $2p < 6$ діаметри статоров АДЗР, як і ТАД збільшені відносно АДК, що обумовлено, як вже згадано, складнощами розміщення лобових частин і виконання внутрішніх ділянок зубцево-пазових зон магнітопроводів статорів ТАД і АДЗР [65 – 67].

На магнітопровід статора ТАД віброобурюючи сили діють ортогонально його площини і викликають просторові коливання торцевого ярма. Просторовий рух ярма статора ТАД, що розглядається як кругове кільце, визначається рівнянням [74]

$$\frac{\partial^4 U}{\partial \varphi^4} - \frac{G_m}{E \mathcal{Y}_{am}} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} + \left(1 + \frac{G_m}{E \mathcal{Y}_{am}}\right) R_{am} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} + \frac{R_{am}^4 \rho F_{am}}{E \mathcal{Y}_{am}} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}, \quad (11.16)$$

де G_m , $\mathcal{Y}_{am}$ - кручена жорсткість і момент інерції поперечного перерізу кільця відносно центральних координатних вісей; U - координата напрямку нормального (аксіального) зсуву; ψ , φ - ортогональні до U інші просторові координати.

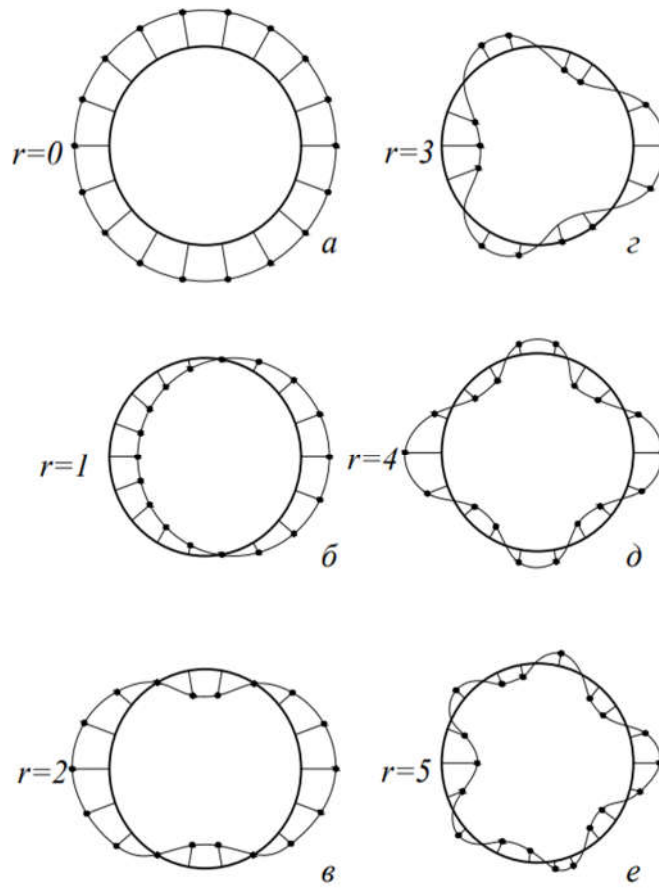


Рис. 11.19. Види деформацій ярма статора з циліндричним магнітопроводом

З рівняння (11.16) можливо отримати вираз частот власних просторових коливань торцевого ярма [74]

$$\omega_{am} = \frac{r(r^2 - 1)}{\sqrt{1 + r^2 G_m / (E Y_{am})}} \sqrt{\frac{G_m}{\rho F_{am} R_{am}^4}}, \quad (11.17)$$

де F_{am} і R_{am} - площа поперечного перерізу і середній радіус кільця ярма торцевого статора.

З урахуванням виразу моменту інерції поперечного перерізу кільця ярма циліндричного статора [72] і виразу для площі його поперечного перерізу рівняння (11.13) перетворюється до виду

$$\omega_{ac} = \frac{r(r^2 - 1)}{\sqrt{r^2 + 1}} \sqrt{\frac{E h_{as}}{\rho R_{ac}^4}}. \quad (11.18)$$

Аналогічне перетворення на основі відомих виразів для модуля зсуву, яке залежить від модуля пружності, крутильних характеристик площі поперечного перерізу, що визначається активною довжиною і аксіальною висотою [63], приводить вираз (11.17) до виду

$$\omega_{am} = \frac{r(r^2 - 1)}{\sqrt{1 + r^2 6\beta}} \sqrt{\frac{\beta E h_{as}^2}{2\rho R_{am}^4}}, \quad (11.19)$$

де β - коефіцієнт [72].

Для порівняння частот власних коливань статора АДК і ТАД середній радіус ярма АДК виражається через середній діаметр активної поверхні ТАД. Підстановка цього виразу перетворює вираз (11.18) [73]

$$\omega_{aц} = \frac{r(r^2 - 1)}{\sqrt{1 + r^2}} \sqrt{\frac{E h_{as}}{12\rho (R_{aц} + 2h_{zs} + h_{as})^4}}. \quad (11.20)$$

З порівняння частот власних коливань ярем АДК і ТАД (11.18), (11.19) та порівняння виразів (11.19) і (11.20) з врахуванням значень β , які знаходяться в межах (0,14...0,33), впливає, що статор ТАД може мати більш значні частоти власних коливань. Тому амплітуди коливань статора і рівень магнітних вібрацій і шумів при рівних обурюючих силах і частотах є вищими у електромагнітно-еквівалентного АДК.

Для спрощення аналізу виразу (11.19) висоту ярма статора доцільно виразити через середній радіус активної поверхні R_c

$$h_{as} = \frac{F_{am}}{\ell_\delta} = \frac{\Phi_n}{2B_{as}\ell_\delta} = \frac{\alpha_\delta S_\delta B_\delta}{4pB_{as}\ell_\delta} = \frac{\pi\alpha_\delta}{8p} \frac{B_\delta}{B_{as}} R_c, \quad (11.21)$$

де ℓ_δ і S_δ - активна довжина статора і площа поверхні робочого зазору; Φ_n - номінальний магнітний потік; B_{as} , B_δ - індукція в ярмі статора і робочому зазорі; α_δ - коефіцієнт полюсного перекриття.

З врахуванням (11.21) вираз (11.19) перетворюється [73]

$$\omega_{cm} = \frac{r(r^2 - 1)}{\sqrt{6\beta r^2 + 1}} \frac{\pi\alpha_\delta}{8p} \frac{B_\delta}{B_a R_{am}} \sqrt{\frac{\beta E}{2\rho}}. \quad (11.22)$$

З (11.22) впливає, що для покращення ВАХ ТАД підвищенням частоти власних коливань, середній діаметр активних поверхонь необхідно обирати мінімально можливим.

Відповідно до (11.19) покращення ВАХ ТАД також можливо зниженням середнього діаметру ярма.

Перевагами ТАД і АДЗР щодо електромагнітно еквівалентних АД єдиних серій традиційної будови є менша металоємність, маса і основні втрати в ЕТС статора, що позитивно впливає на ККД. Однак недоліками є погіршення використання активного об'єму і завищена металоємність відповідно торцевого і зовнішнього роторів. За питомою металоємністю елементів і вартістю ЕМС реальні ТАД з $2p \leq 6$ і АДЗР з $2p \leq 4$ поступаються «традиційним» АД, [66, 67]. Рішення задач зниження інерційності, підвищення технічного рівня і

конкурентоспроможності ТАД і АДЗР можливо структурними перетвореннями магнітопроводів.

Удосконалення ТАД і АДЗР досягається заміною спірально-циліндричної структури шарів ЕТС витих аксіальних магнітопроводів (рис. 11.4, *а, б*, рис. 11.9, *а*) на конусно-циліндричну структуру (рис. 11.9, *б-г*) відповідно до конструкцій і способів виготовлення [68 - 70]. Крім зниження серединних діаметрів і мас елементів магнітопроводу знижуються довжина струмових контурів і об'єм і маса лобових частин обмоток. Таким чином зниження маси і металоємності ТАД (рис. 11.9, *б*) відносно аналога (рис. 11.9, *а*) досягається з деяким покращенням енергетичних показників [70, 71].

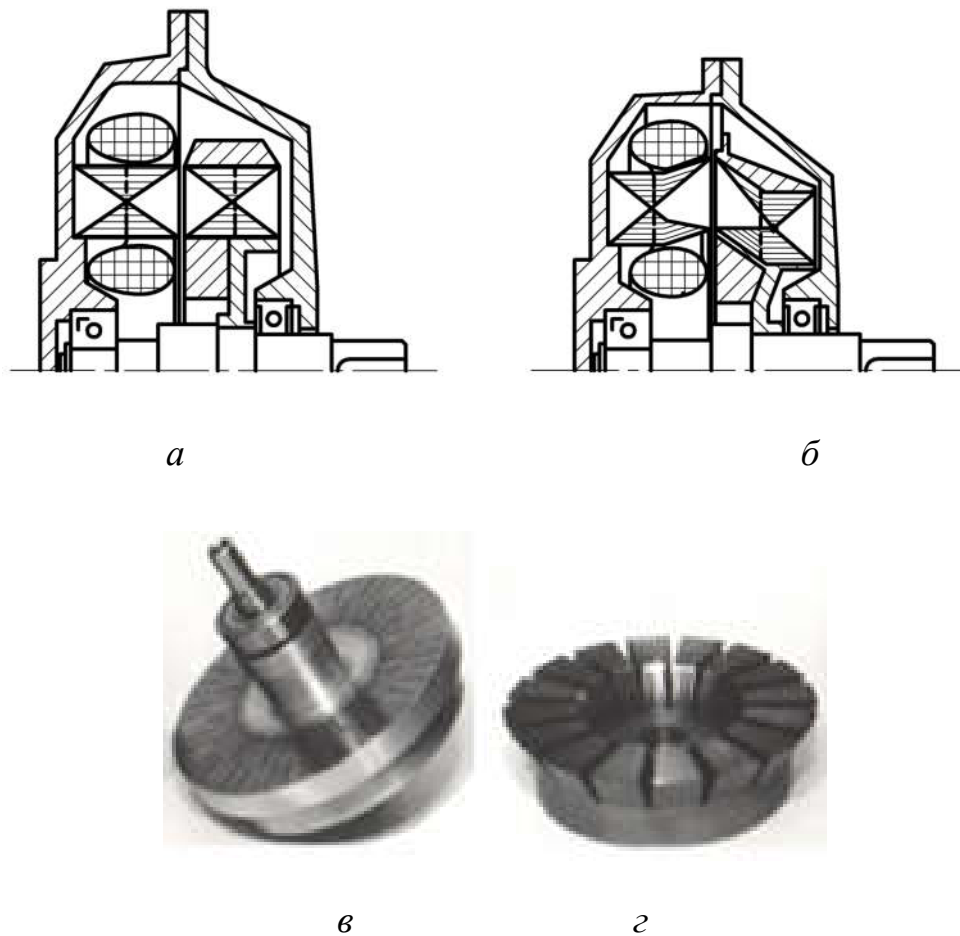


Рис. 11.20. Варіанти конструктивної схеми торцевого асинхронного двигуна з традиційними спірально-циліндричними (*а*) і конусно-циліндричними магнітопроводами статора і ротора; короткозамкнутий ротор (*в*) і магнітопровід (*г*) конусно-циліндричної структури

Також удосконалення АДЗР невеликої потужності можливо використанням замість традиційної конструкції ротора (рис. 11.10, *а*) будови ротора з секціонованим магнітопроводом і просторовою конусно-площинною структурою шарів ЕТС (рис. 11.10, *б*) [70, 71]. Відносно аналога з окремими підшипниковими щітками і фланцем кріплення механізму на серединні зовнішньої поверхні ротора

(рис. 11.10, *в*), в роторі (рис. 10.10, *б*) підшипникові щіти і фланець кріплення відливаються сумісно з відливкою стрижнів і кілець окремих короткозамкнених обмоток напівроторів. Надається можливість обробки з однієї установки активних і посадкових підшипникових та замкових поверхонь кожного з напівроторів (рис. 11.10, *б*, *г*). Досягається зниження металоємності і трудоемності виробництва, підвищуються рівномірність робочого зазору, надійність і енергетичні показники, покращуються ВАХ АДЗР (рис. 11.10, *б*) відносно аналогів з загальноприйнятою будовою магнітопроводів [71].

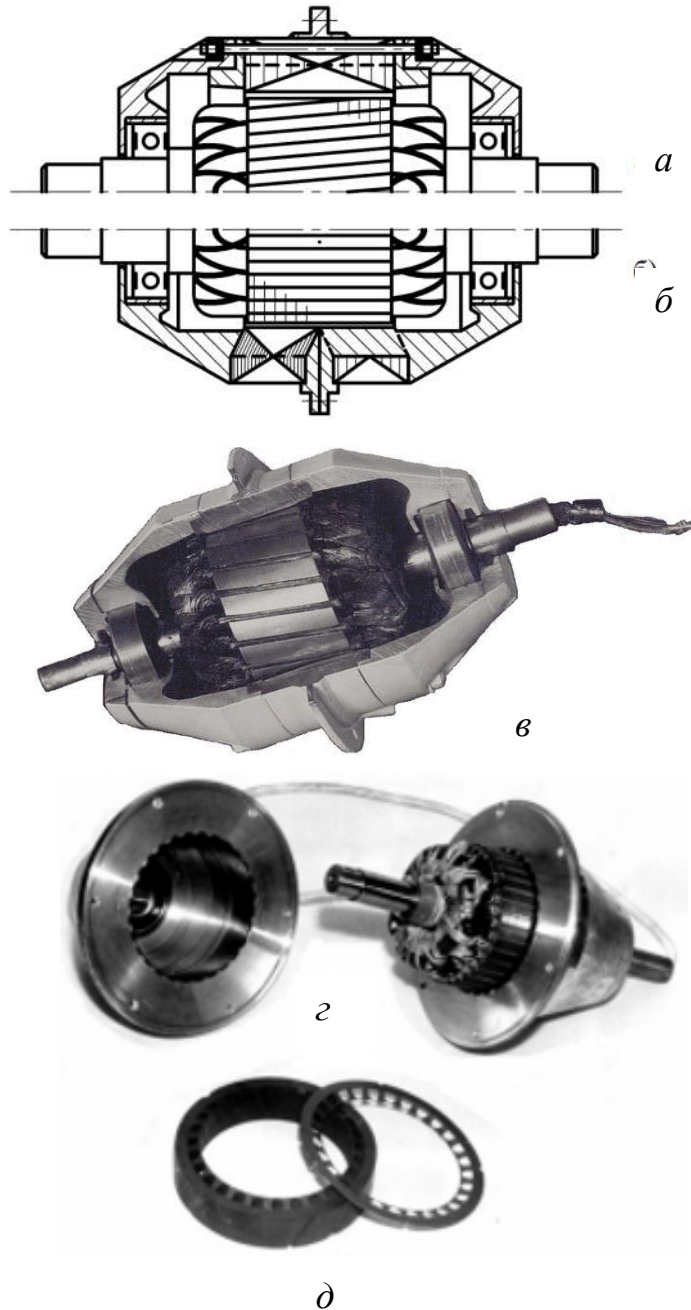


Рис. 11.21. Варіанти конструктивних схем асинхронного двигуна з зовнішнім ротором і традиційним (*а*) та конусно-площинним (*б*) магнітопроводами ротора; зразки (*в*, *г*) різновидів такого двигуна з суцільним і секціонованим роторами та конусно-площинний магнітопровід (*д*)

Іншим технічним рішенням зниження металоємності і моменту інерції ротора АДЗР є зміна конфігурації шліцевої зони паза при зменшенні висоти зубця і збереженні площі перерізу стрижня обмотки ротора. Як відомо, пускові властивості АД при умові збереження площі перерізу стрижня обмотки ротора покращується при збільшенні висоти зубця, що обумовлено підвищенням інтенсивності пазового розсіяння ротора при пуску. Зовнішнє положення ротора викликає, в зв'язку з зростанням діаметру розташування пазів, збільшення розміру зубцевого кроку і зниження магнітної індукції зубців відносно традиційного аналогу. При глибоких пазах (збільшеної h_{zR}) в оберненому виконанні АД (рис 11.10, *a*) додатково зростає зовнішній діаметр D_R , відповідно зростають металоємність і електромагнітне недовикористання зубців ротора та його маса і інерційність.

Заміна традиційної симетричної конфігурації шліцевої зони (рис 11.11, *a*) на несиметричну зі зсувом пазового відкриття до стінки поверхні зубця при збільшенні ширини паза (рис 11.11, *б*), викликає в момент пуску насичення зубців на ширині b'_{zR} і проходження частини магнітного потоку крізь шліці і переріз стрижня з витисканням струму в зонах I, II (рис 11.11, *в*). Це забезпечує покращення пускових характеристик. При заданій висоті ярма h_{aR} досягається зменшення зовнішнього діаметру D'_R , металоємності і моменту інерції ротора (рис. 11.11, *a, б*):

$$h'_{zR} < h_{zR}; \quad b'_{zR} < b_{zR}; \quad D'_R < D_R; \quad J_R < J'_R.$$

Технічні рішення (рис. 11.9, *б-з*, рис. 11.10, *б, з, д*, рис. 11.11, *б*) також знижують середні діаметри короткозамикаючих кілець і металоємність та втрат в короткозамкнених обмотках ТАД і АДЗР, що підвищує ККД.

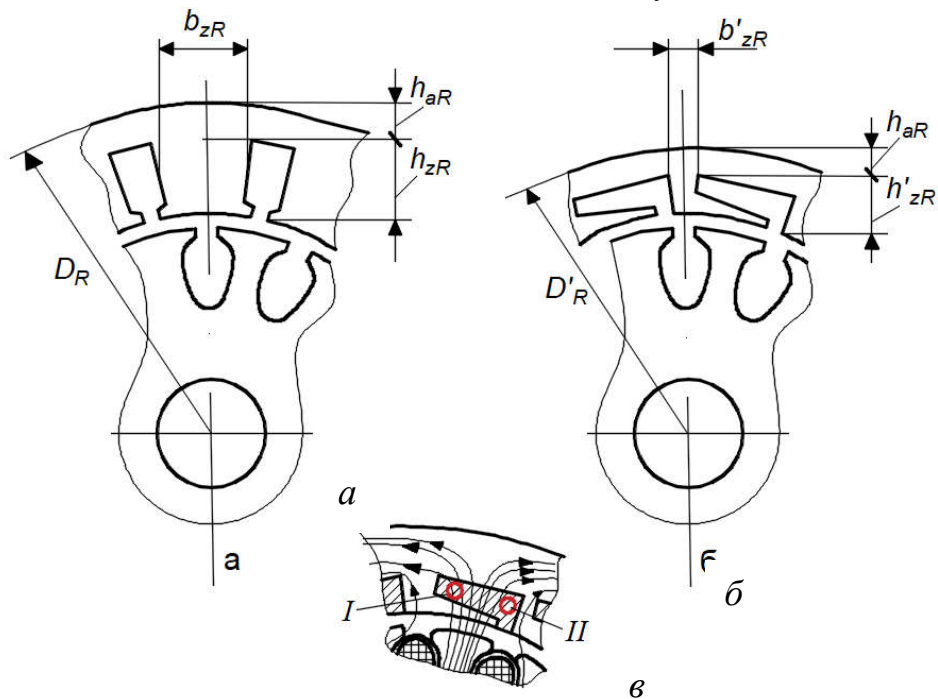


Рис. 11.22. Фрагменти зубцево-пазових структур варіантів магнітопроводу ротора оберненого асинхронного двигуна при традиційній (*a*) і асиметричній (*б*) конфігураціях шліцевих зон та умовний розподіл силових ліній магнітного поля при пуску (*в*)

Аксіальна конструктивна схема ЕМ дозволяє підвищити частоту власних коливань статора без зміни геометрії активної поверхні і індукції в ярмі. Це досягається виконанням зубців магнітопроводу статора з конусними радіальними поверхнями. У вказаній конструкції (рис. 11.9, б) зменшуються, відносно традиційній конструкції (рис. 11.9, а) об'єми сталі ярма і зубців, довжина ділянки витків зовнішньої лобової частини і об'єм статора. При цьому підвищуються магнітна напруга і втрати в зубцях, однак знижуються магнітна напруга і втрати в ярмі. Тому підвищення підсумкової МРС і втрат в зубцях компенсується їх зниженням в ярмі за рахунок зменшення довжини замикання силових ліній поля і об'єму сталі. Також зменшуються відходи сталі виготовлення пазів. В зв'язку з цим конусно-площину структуру шарів ЕТС (рис. 11.9, г) доцільно застосовувати також в магнітопроводі статора [70, 71].

ЛІТЕРАТУРА

1. Гусев С. А. Очерки по истории развития электрических машин. Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1955. 215 с.
2. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. А. Очерки по истории электротехники. Москва : Издательство МЭН, 1992, 220 с.
3. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 1988. 368 с.
4. Khatri A. Optimal design of transformer: A Compressive bibliographical survey / A. Khatri, O.P. Rahi. *International Journal of scientific Engineering Technology*. 2012. April. Pp. 159-167.
5. Яковлев А. И. Электрические машины с уменьшенной материалоемкостью. Москва : Энергоатомиздат, 1988. 304 с.
6. Казанский В. М. Кризис и перспективы развития малых двигателей. *Электричество*. 1996. № 8. С. 37-42.
7. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко, Ю. В. Гаинцев, Ю. М. Ковалев и др. ; под ред. В. М. Петрова, А. Э. Кравчика. Москва : Энергия, 1980. 488 с.
8. Унифицированная серия асинхронных двигателей интерэлектро / В. И. Радин, Й. Лондин, В. Д. Розенкноп и др. ; под. ред. В. И. Радина. Москва : Энергоатомиздат, 1990. 416 с.
9. Ткачук В. І. Електромеханотроніка. Львів : Львівська політехніка, 2001. 404 с.
10. Chaker N., Ben Salah I., Tounsi S., Neji R. Design of axial-flux motor for traction application. *Journal of Electromagnetic Analysis & Applications*. 2009. №1(2). P. 73-83.
11. Nasiri-Gheidari Z., Lesani H. A Survey on Axial Flux Induction Motors. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*. 2012. Vol. 88, №2. P. 300-305.

12. Ojaghly P., Vahedi A. Specification and design of ring winding axial flux motor from driven thruster of ship electric propulsion. *IEEE Transactions on vehicular Technology*. 2019. Vol. 68(2). P. 1318-1326.
13. Костинский О. С. Обзор состояния трансформаторного производства и тенденций развития конструкций силовых трансформаторов. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2018. Т. 20, №1-2. С. 14-32.
14. Ставинский А. А., Ставинский Р. А., Классификации структур и элементов электромагнитных систем электромеханических и индукционных статических преобразователей. *Електротехніка і електромеханіка*. 2008. №2. С. 53-58.
15. Ставинский А. А. Тищенко И. А., Зеленый Н. И. Перспективы и особенности дальнейшего усовершенствования индукционных электромеханических и статических преобразователей. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2010. № 1 (77). С. 64-69.
16. Ставинский А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики. *Електротехніка і електромеханіка*. 2004. № 1. С. 57-61.
17. Шинкаренко В. Ф. Основы теорії еволюції електромеханічних систем. Київ : Наукова думка, 2002. 288 с.
18. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. Москва : Высшая школа, 2001. 327 с.
19. Домбровский В. В. Справочное пособие по расчету электромагнитного поля в электрических машинах. Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. 256 с.
20. Иванов-Смоленский А. В. Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физическое моделирование. Москва : Энергия, 1969. 304 с.
21. Андронов С. А. Методы оптимального проектирования : текст лекций. Санкт-Петербург : СПбГУАП, 2001. 169 с.

22. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва : Наука, 1976. 279 с.
23. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н. Ф., Копилов И. П. Планирование эксперимента в электромеханике. Москва : Энергия, 1975. 184 с.
24. Системный анализ и принятие решения : словарь-справочник / под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. Москва : Высшая школа, 2004. 616 с.
25. Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности / под ред. М. Г. Карпуника. Москва : Энергоатомиздат, 1987. 288 с.
26. Паластин Л. М. Электрические машины автономных источников питания. Москва : Энергия, 1972. 464 с.
27. Специальные электрические машины (Источники и преобразователи энергии) : учебное пособие / А. А. Бертиков, Д. А. Бут, С. Р. Мизюрин и др. ; под ред. А. И. Бертинова. Москва : Энергоатомиздат, 1982. 552 с.
28. Ставинский А. А. Особенности назначения и использования специальных электрических машин. *Електротехніка і електромеханіка*. 2008. № 1. С. 44-48.
29. Конохов Н. Н. Анализ концепций развития конструкций крупны взрывозащищенных электродвигателей. *Електротехніка і електромеханіка*. 2005. № 1. С. 47-50.
30. Гловацкий А. В., Кубарев Л. П., Макаров Л. Н. Основные направления развития электрических машин и электромеханических систем на их основе. *Електротехніка*. 2008. № 4. С. 2-8
31. Кравченко А., Метельский В. Сухие энергосберегающие трансформаторы. *Електрик*. 2013. № 4. С. 12-15.
32. Кравченко А., Метельский В. Масляные энергосберегающие трансформаторы. *Електрик*. 2013. № 4. С. 15-17.
33. Милях А. Н., Барабанов В. А., Двойных Е. В. Трехстепенные электрические машины. Киев : Наукова думка, 1979. 312 с.

34. Гусельников Э. М., Цукерман Б. С. Самотормозящиеся электродвигатели. Москва : Энергия, 1971. 96 с.
35. Вербовой П. Ф., Счяков А. М. Конфигурации асинхронных двигателей с внешним ротором. Киев : ИЭД АИ УССР, 1985. 37 с.
36. Лизунов С. Д., Лохонин А. К. Силовые трансформаторы : справочная книга. Москва : Энергоатомиздат, 2004. 616 с.
37. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов : учебное пособие. Москва : Альянс, 2013. 528 с.
38. Бальян Р. Х. Трансформаторы для радиоэлектроники. Москва : Советское радио, 1971. 720 с.
39. Белопольский И. И. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности : учебное пособие. Москва : Альянс, 2013. 400 с.
40. Энергоэффективность электродвигателей. URL: <https://uesk.org/blog/articles/24-energoeffektivnost-elektrodvigateli/>
41. Савинцев Ю. М. Инновационный прорыв на рынке силовых трансформаторов. URL: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/4965/>
42. Novel high-speed induction motor for a commercial centrifugal compressor / W. L. Soong, G. B. Kliman, R. N. Johnson, R. A. White, J. E. Miller. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2000. Vol. 36, Issue 3. P. 706-713.
43. Holik P. J., Dorrell D., Popescu M. Performance Improvement of an External-Rotor Split-Phase Induction Motor for Low-Cost Drive Applications Using External Rotor Can. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2007. Vol.43. P. 2549-2551.
44. Ставинский А. А. Асинхронный двигатель с двухпакетным внешним ротором для привода судового встраиваемого вентилятора. *Электротехническое производство. Передовой опыт и научно-технические достижения для внедрения*. 1990. Вып. 6 (30). С. 4-7.
45. Ставинский А. А. Усовершенствование конструкции короткозамкнутого ротора торцевого асинхронного двигателя для привода

транспортных механизмов. *Регулируемые асинхронные двигатели* : сб. науч. тр. Киев : Институт электродинамики АН УССР, 1988. С. 96-103.

46. Месенжик Я. З., Осягин А. А. Силовые кабельные линии для погружных электросистем. Москва : Энергоатомиздат, 1987. 240 с.

47. Блинцов В. С., Ставинский Р. А., Авдеева Е. А., Садовой А. С. Трансформаторы для встраивания в оболочки ограниченного диаметра объектов специальной техники и постановка задачи их усовершенствования. *Електротехніка і електромеханіка*. 2012. № 2. С. 16-21.

48. Traction motors for electric vehicles: Maximization of mechanical efficiency – A review / M. Gobbi et al. *Applied energy*. 2024. Vol. 357. P. 122496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122496>

49. Virlan B., Benelghali S., Livadaru L., Outbib R. Induction motor with outer rotor and ring stator winding for multispeed applications. *IEEE transactions on energy conversion*. 2013. Vol. 28, no. 4. P. 999–1007. DOI: <https://doi.org/10.1109/tec.2013.2279841>.

50. Chaker N., Ben Salah I., Tounsi S., Neji R. Design of axial-flux motor for traction application. *Electromagnetic Analysis & Applications*. 2009. № 2. P. 73-83.

51. Mushid F. C., Dorrell D. G. Review of axial flux induction motor for automotive applications. *2017 IEEE workshop on electrical machines design, control and diagnosis (WEMDCD)* (Nottingham, United Kingdom, 20–21 April 2017). 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/wemdc.2017.7947738>.

52. Ставинский А. А., Шевченко В. В., Чекунов В. К. Возможности усовершенствования судовых электромеханических комплексов на основе нетрадиционных технических решений электрических машин. *Вісник Національного університету кораблебудування*. 2010. № 2. С. 98-105. URL: <https://eir.nuos.edu.ua/bitstreams/a6c42329-7254-4fa9-b981-07cc816e5162/download>.

53. Philip Marketos, Turgul Meydan Novel Transformer Core Design Using Consolidated Stacks of Electrical steel / P. Marketos. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2006. Vol. 42. № 10. October . Pp. 2821-2823.

54. Ставинский А. А., Пальчиков О. О. Использование метода относительных коэффициентов показателей технического уровня в решении задач оптимизации асинхронных двигателей. *Електротехніка і електромеханіка*. 2014. № 5. С. 37-44.

55. Ставинский А. А., Пальчиков О. О. Целевые функции сравнительного анализа энергетической эффективности электромагнитных систем асинхронных двигателей с внутренними и внешними роторами. *Електротехніка і електромеханіка*. 2015. № 1. с. 41-45.

56. Ставинский А. А., Пальчиков О. О. Сравнительный анализ массостоймых показателей асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором. *Електротехніка і електромеханіка*. 2015. № 3. с. 20-26.

57. Ставинский А. А., Пальчиков О. О. Сравнительный анализ потерь активной мощности асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором. *Електротехніка і електромеханіка*. 2015. № 5. с. 31-35.

58. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах / пер. с англ. ; под ред. З. Г. Качанова. Москва : Энергия. 1981. 352 с.

59. А.с. №1693685 СССР. Магнитопровод электрической машины / А.А. Ставинский. №4647796/07; Заявл. 24.11.88. Оpubл. 23.11.91. Бюл. №43.

60. А.с. №1742946 СССР. Способ изготовления витого магнитопровода электрической машины / А. А. Ставинский. №47523610/07; Заявл. 23.10.89. Оpubл. 23.06.92. Бюл. №23.

61. Детинко Ф. М., Загородная Г. А. Поточность и колебания электрических машин. Ленинград : Энергия, 1969. 440 с.

62. Шубов И. Г. Шум и вибрация электрических машин. Ленинград : Энергия, 1973. 200 с.

63. Игнатов В. А., Ставинский А. А., Хроманова Н. Ф. Улучшение виброакустических характеристик торцевых асинхронных двигателей. *Електротехніка*. 1984. № 8. С. 4-7.

64. А.с. №1234922 СССР. Короткозамкнутый ротор электрической машины / А. А. Ставинский, В. А. Игнатов, И. Г. Забора и др. №3713513/24-07; Заявл. 23.03.84. Опубл. 30.05.86. Бюл. №20.

65. Ставинский А. А. Усовершенствование конструкции короткозамкнутого ротора торцевого асинхронного двигателя для привода транспортных механизмов. *Регулируемые асинхронные двигатели* : сб. науч. тр. Киев : Институт электродинамики АН УССР, 1988. С. 96-103.

66. Ставинский А. А. Асинхронный двигатель с двухпакетным внешним ротором для привода судового встраиваемого вентилятора. *Электротехническое производство. Передовой опыт и научно-технические достижения для внедрения*. 1990. Вып. 6(30). С. 4-7.

67. Павлов В. А. Гироскопический эффект. Его проявление и использование. Ленинград : Судостроение, 1972. 285 с.

68. Flanagan W. M. Handbook of transformers desing and applicatio / W. M. Flanagan. Boston : Mc Graw Hill, 1993. 232 p.

69. Kulkarni S. V., Khaparde S. A. Transformer Engineering: Design and Practica. New. Marcel dekker. 2004. 452 p.

70. Технології наукових досліджень : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм здобуття вищої освіти / уклад. А. А. Ставинський, О. А. Авдєєва, О. М. Циганов, Р.А. Ставинський. Миколаїв : МНАУ, 2023. 83 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15996>

71. Ставинський А. А., Авдєєва О. А., Ставинський Р. А., Циганов О. М. Основи наукових досліджень і приклади рішення винахідницьких, польових та оптимізаційних задач електромеханіки : монографія / за ред. А. А. Ставинського. Миколаїв : МНАУ, 2023. 168 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/16350>

Наукове видання

Ставинський Андрій Андрійович

Ставинський Ростислав Андрійович

Авдєєва Олена Андріївна

Циганов Олександр Миколайович

**ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ
ВИНАХІДНИЦЬКИХ, ПОЛЬОВИХ ТА ОПТИМІЗАЦІЙНИХ
ЗАДАЧ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ**

монографія

Редактор: А. А. Ставинський

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. _____

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.