

ОСОБЛИВОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ У КОНТЕКСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ТЕХНОЛОГІЙ

Стаття висвітлює питання, пов'язані з напрямками вдосконалення асинхронного двигуна. Розглядаються особливості модернізації асинхронних двигунів, направлені на підвищення їх енергоефективності.

Аналізуються причини низького середнього завантаження цього двигуна в електроприводі, особливості традиційного та новітнього підходів до розрахунку таких двигунів.

Характеризується новий спосіб виконання статорної обмотки (суміщені обмотки) електродвигуна, котрий дає значний економічний ефект.

Зазначається, що цей спосіб виконання статорної обмотки забезпечує: можливість регулювання обертів при незмінній частоті струму шляхом плавної зміни величини напруги у всьому швидкісному діапазоні; м'яку та стійку механічну характеристику; споживання менших пускових струмів і збільшення пускового крутного моменту; покращення вібро-шумових характеристик.

У статті обґрунтовується важливість та особливості вивчення майбутніми учителями технологій способів підвищення енергоефективності асинхронних двигунів.

У цьому контексті вивчення напрямів підвищення ефективності електроустановок, зокрема асинхронних двигунів, має важливе значення у формуванні фахових компетентностей педагогів, пов'язаних із здатністю аналізувати й оцінювати об'єкти технологічного середовища та умінням організовувати дослідницько-пошукову діяльність школярів у процесі роботи над навчальними проєктами.

Основними методами формування зазначених компетентностей визначено метод конкретних ситуацій (кейс-метод), а також метод алгоритму розв'язання винахідницьких задач.

Ключові слова: асинхронний двигун, енергоефективність, технологічні процеси, електропривод, суміщені обмотки, майбутні учителі технологій, метод конкретних ситуацій (кейс-метод), метод алгоритму розв'язання винахідницьких задач (АРВЗ).

Kurach M. S.,
Yemets A. P.

FEATURES OF IMPROVING ASYNCHRONOUS ENGINES IN THE CONTEXT OF TRAINING FUTURE TEACHERS OF TECHNOLOGY

The article covers issues related to the ways of improvement an asynchronous engine. The features of modernization of asynchronous motors aimed at increasing their energy efficiency are considered.

The reasons for the low average load of this engine in the electric drive, especially the traditional and the newest approaches to the calculation of such engines, are analyzed.

A new method of executing a stator winding (combined windings) of an electric motor, which has a significant economic effect, is characterized.

It is noted that this method of performing the stator winding provides: the ability to adjust the speed at a constant current frequency by gradually changing the voltage throughout

the speed range; soft and stable mechanical characteristics; consumption of smaller starting currents and increase of a twisting moment; improvement of vibration and noise characteristics.

The importance and peculiarities of studying the methods of increasing the energy efficiency of asynchronous engines by future teachers is substantiated.

In this context, the study of improving the efficiency of electrical installations, in particular induction motors, is important in the formation of professional competencies of teachers related to the ability to analyze and evaluate objects of the technological environment and the ability to organize research activities of students in the process of working on educational projects. .

The main methods of forming these competencies are the method of specific situations (case method), as well as the method of algorithm for solving inventive problems.

Key words: asynchronous engine, energy efficiency, technological processes, electric drive, combined windings, future teachers of technology, the method of specific situations (case method), the method of algorithm for solving inventive problems (the Innovation Algorithm).

Розвиток інформаційного суспільства, глобалізація, посилення міграційних процесів, мобільність ринку праці, постійне вдосконалення різних технологій визначили одним із найбільш актуальних питань поставили питання енергоефективності. Сьогодні зекономити одиницю енергетичних ресурсів, 1 т умовного палива, дешевше, як мінімум вдвоє, аніж його добути.

Енергоефективність зачіпає всі сторони життя, оскільки має відношення не лише до зекономлених коштів, але й до збереження життя та здоров'я людей. Згідно з аналізом сучасних характеристик електромеханічних систем та електроприводів близько двох третин електричної енергії, яка виробляється у світі, перетворюється за допомогою електромеханічних систем на енергію механічного руху технологічних об'єктів [5, с. 619].

Для приводу більшості видів технологічного обладнання застосовують трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Ці двигуни отримали широке поширення завдяки конструктивній простоті, низькій собівартості та високій експлуатаційній надійності при мінімальному обслуговуванні [9, с. 226].

За окремими даними, на їх долю у промисловості припадає приблизно 60% електроенергії, яка виробляється; в системах водопостачання – до 90%. Вони беруть участь практично у всіх технологічних процесах і охоплюють всі сфери життєдіяльності людини.

У пропонованій здійснено розвідку про напрями вдосконалення асинхронного двигуна, направлені на підвищення його енергоефективності; приділено значну увагу так званому асинхронному двигуну з суміщеними обмотками. Така інформація може бути використана при підготовці майбутнього вчителя технологій, оскільки в існуючій навчальній літературі цьому питанню, на нашу думку, приділено недостатньо уваги.

За сто років існування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором вдосконалювались електротехнічні матеріали, конструкція окремих вузлів і деталей, технологія виготовлення; однак принципові конструкторські рішення, запропоновані їх творцем Доліво-Добровольським, в основному залишилися незмінними.

Однією з характерних помилок при розрахунках асинхронних двигунів та електроприводів з ними є використання середнього значення $\cos\varphi$, що веде до

спотворення фактичної картини співвідношення активної та реактивної енергій; зниження струму непропорційно зниженню потужності зменшення коефіцієнта потужності супроводжується ще й додатковими втратами в розподільчих мережах.

Відомо, що середнє завантаження електродвигуна (відношення потужності, яка споживається робочим органом машини до номінальної потужності електродвигуна) на пострадянському просторі у електроприводах складає 0,3-0,4 (в європейській практиці 0,6). Це пояснюється не лише змінністю значень навантажень при реалізації технологічних процесів (наприклад, розкрий на тому ж круглопилковому верстаті об'ємів пиломатеріалів, переріз яких різко відрізняється один від одного). Справа ще й у тім, що раніше, в Радянському Союзі, коли завдання економії енергоресурсів не стояли так гостро, при проектуванні обладнання прагнули підстрахуватись і підбирали двигуни з потужністю більше розрахункової; враховуючи те, що парк застарілих технологічних машин (верстатів) до цього часу досить значний, а асинхронний двигун у їх приводі має тривалий термін експлуатації, стає зрозумілим, що це є однією з причин низького середнього завантаження електродвигуна. Окрім цього, у стандартного асинхронного двигуна малий пусковий момент (кратність пускового моменту всього 1,5-2), що примушує конструкторів і спеціалістів із експлуатації обладнання завищувати встановлену потужність у 1,5-2 рази, а в випадках важкого пуску – в 3-4 рази. Зразу ж після запуску такий електродвигун попадає в зону низьких коефіцієнтів корисної дії (ККД) і низьких $\cos\varphi$, оскільки недовантажується. Недостатнє завантаження електроприводу з асинхронним двигуном призводить до додаткових втрат електроенергії щонайменше (ця величина сягає до 20% сумарного споживання електроенергії). І навпаки, при перевантаженні частота обертання валу двигуна зменшується порівняно незначно, проте струм різко росте, що призводить до перегріву. Ще одна проблема в тім, що ККД серійного асинхронного двигуна різко падає при зниженні напруги, тому допустиме відхилення її +10% і -5%. У реальних умовах експлуатації ця цифра може сягати -30% і більше, що з великою ймовірністю призводить до «перевертання» двигунів, оскільки обертовий момент пропорційний квадрату напруги [8].

Європейським Союзом розроблений і прийнятий до дії стандарт ІЕС 60034-30-1-2016, ІЕС 60034-30-2-2016, згідно з якими встановлено п'ять класів енергоефективності трифазних асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором.

За вимогами вказаного стандарту зміни торкнулися практично всіх двигунів у широкому діапазоні потужностей. З січня 2017 року в Європі ці двигуни випускаються з класом енергоефективності не нижче ІЕ3, допускається також застосування двигунів класом енергоефективності ІЕ2 при роботі в частотно-регульованому приводі. Всі двигуни виготовлені з класом енергоефективності ІЕ3 при певних умовах економлять значний відсоток електричної енергії.

У світовій практиці склалися два основних напрями вирішення проблеми енергоефективності для асинхронного електроприводу.

Перший напрям – проектування та виробництво енергоефективних асинхронних двигунів, котрі відповідають вказаному стандарту (клас енергоефективності ІЕ3), в яких застосовано нові електротехнічні матеріали й

оптимізовано їх основні розміри. Технологія, котра при цьому застосовується, дозволяє максимально зменшити втрати в обмотці статора, пластинах магнітопроводу статора і ротора, зменшити втрати, пов'язані з вихровими струмами; звести до мінімуму втрати при проходженні струму через пази і контактні кільця ротора та втрати на тертя у підшипниках. Щоправда, такий підхід приносить користь, якщо навантаження міняється мало, а регулювання швидкості не вимагається. На європейському ринку пропонуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, у яких за рахунок збільшення маси активних матеріалів, їх якості, а також за рахунок спеціальних прийомів проектування вдається підняти на 1–2% (потужні двигуни) і навіть на 4–5% (двигуни малої потужності) номінальний коефіцієнт корисної дії при певному збільшенні ціни двигуна.

Другий напрям – енергозбереження засобами електроприводу за рахунок подачі робочим органам технологічного обладнання в кожний момент часу необхідної потужності за допомогою застосування регульованого асинхронного електроприводу, в якому застосовуються перетворювачі частоти. При цьому тонке налагодження асинхронного двигуна дозволяє досягти показників роботи, подібних із двигуном постійного струму, при зниженні загального енергоспоживання.

І хоча при цьому вдається знизити споживання електроенергії та поліпшити характеристики асинхронного двигуна, наблизивши їх, як вже було вказано, до характеристик менш надійного двигуна постійного струму, однак частотні перетворювачі в такому приводі поки що коштують в два-три рази (!) дорожче самого двигуна, а надійність їх в рази нижча, аніж надійність цього ж двигуна. Тому тривають роботи конструкторів над здешевленням та підняттям надійності таких перетворювачів, однак наведені недоліки поки що, на жаль, залишаються.

В існуючих традиційних підходах до розрахунку асинхронних двигунів використовується постулат про ідентичність синусоїдної форми потоку магнітного поля і його рівномірності під всіма зубцями статора. Так, у навчально-довідковій літературі вказується, що вираз для обчислення електромагнітного моменту такого двигуна отриманий у припущенні, що магнітне поле на кожному полюсному діленні розподілене по синусоїдному закону. Виходячи з цього постулату, розрахунки велися для одного зубця статора, а подальше моделювання проводилося, виходячи з вищевказаних тверджень. При цьому невідповідність між розрахунковими та реальними моделями компенсувалася застосуванням великої кількості поправочних коефіцієнтів. Варто зауважити, що розрахунок при цьому проводився для номінального режиму роботи двигуна, так як в цьому режимі ККД має високе значення [9].

При сучасних дослідженнях ученими існуючих двигунів проводився зріз значень магнітного потоку для кожного зубця на фоні розподілення поля всіх зубців. Покроковий почасовий зріз динаміки значень магнітного потоку для всіх зубців статора серійних асинхронних двигунів дозволив встановити, що: поле на зубцях має не синусоїдну форму, а ступінчасту; поле почергово відсутнє у частині зубців; при цьому несинусоїдне по формі та маюче розриви в просторі магнітне поле формує таку ж структуру струму [4]. Різкозмінне поле викликає гармоніки, котрі призводять до виникнення гальмівних моментів і вібрацій. Вищевказане зменшує ККД асинхронного двигуна, підвищуючи енергоспоживання приводу.

Науковцями протягом тривалого часу проводилися багатотисячні вимірювання та розрахунки миттєвих значень параметрів магнітного поля в просторі асинхронних двигунів різних серій, що дозволило відпрацювати нову методологію розрахунку та розробити ефективні шляхи для поліпшення їхньої роботи, тобто мова може йти про третій напрям вирішення проблеми енергоефективності для асинхронного електроприводу.

Основа цього напрямку лежить у схемі підключення асинхронного двигуна до трифазної мережі. Ця схема, на відміну від традиційних «зірки» або «трикутника», поєднує і першу, і другу, й називається схемою з суміщеними обмотками статора (зірка-трикутник).

При цьому отримується дві системи струмів, котрі утворюють між векторами індукційних магнітних потоків кут у 30 електричних градусів, тобто підключаючи двигун до трифазної системи, отримуємо шестифазну систему. Досліди показують, що це приводить до отримання в зазорі між статором та ротором більш згладженої кривої магнітного поля і до різкого зниження впливу непарних гармонік, які індуюють протилежно направлені магнітні потоки.

На рисунку 1 показана форма поля в стандартному двигуні з 24 пазами в статорі при частоті обертання 3000 хв⁻¹.

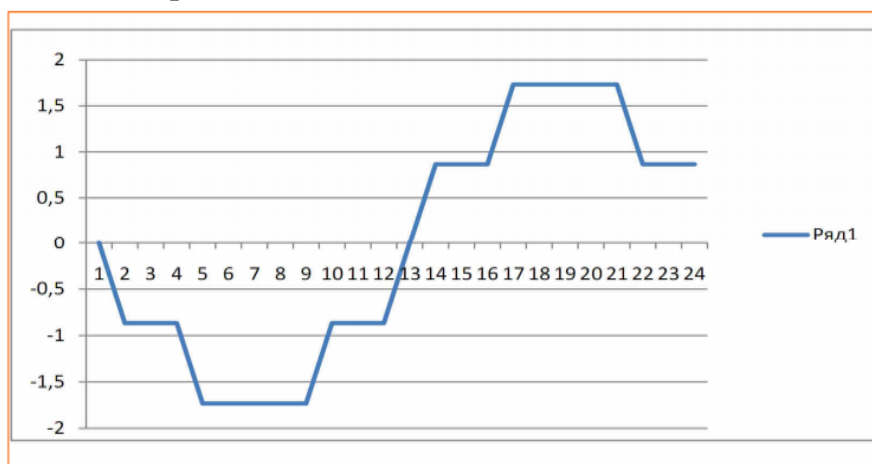


Рис.1. Форма поля в робочому зазорі стандартного двигуна.

На рисунку 2 відображено форму поля в тому ж двигуні після його модернізації.

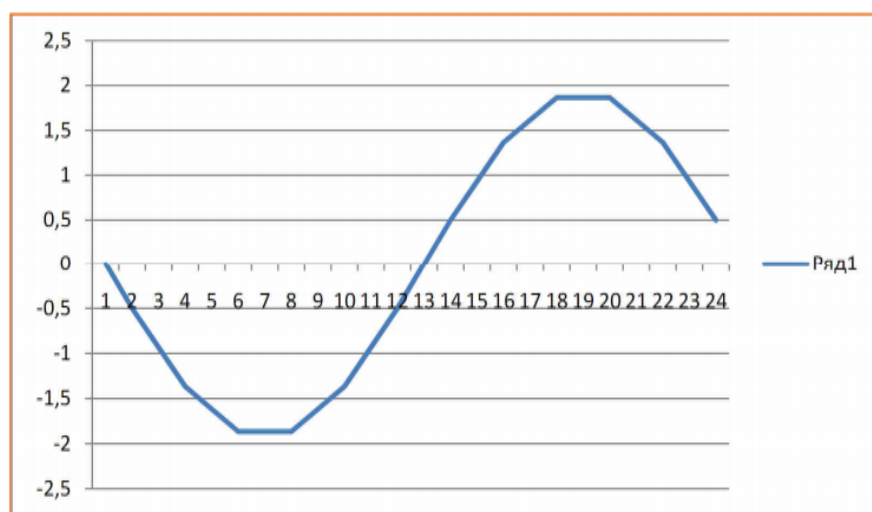


Рис.2. Форма поля в робочому зазорі двигуна з суміщеними обмотками.

Вказане призводить до висновку, що отримується, як наслідок, значне зменшення втрат у магнітопроводі, підвищення перевагуючої здатності та питомої потужності двигуна, зменшення пускових струмів при більш високих пускових моментах, можливості виконання двигунів для роботи на більш високій частоті напруги живлення з застосуванням стандартної сталі для магнітопроводів. Це важливо для обладнання, яке працює з частими і затяжними пусками та перезапусками, підключеного до мережі з високими навантаженнями, значної довжини і, зрозуміло, з високим значенням втрати напруги. ККД таких двигунів буде мати високе значення не лише в режимі номінального навантаження (як у стандартного двигуна), а й при різних навантаженнях на валу. Це матиме суттєве значення в установках з цілодобовим режимом роботи або при високому навантаженні (системи водопостачання, установки вентиляторів, транспортерів, ескалаторів, підйомників) [3].

Випробування асинхронних двигунів із суміщеними обмотками на австрійському машинобудівному підприємстві «ELIN» (Fabrik Weiz) із залученням спеціалістів Department QR практично засвідчило наступне (нижче, в таблиці 1, надано результати випробувань на цьому підприємстві модернізованого по схемі з суміщеними обмотками серійного асинхронного електродвигуна А4 - 400Х - У3 потужністю 500 кВт).

Таблиця 1.

Результати випробувань модернізованого по схемі з суміщеними обмотками серійного асинхронного електродвигуна А4 - 400Х - У3 потужністю 500 кВт

№ з/п	Найменування параметру	До модернізації	Після модернізації
1.	Номінальна потужність, кВт	500	646
2.	Номінальна напруга, В	6000	6000
3.	Номінальний струм фази, А	58	72,5
4.	Ковзання, %	1,3	1,14
5.	Маса, кг	2070	2070
6.	Коефіцієнт корисної дії, %	94,7	95,6
7.	Коефіцієнт потужності	0,88	0,896
8.	Момент інерції ротора, кг·м ²	11	11
9.	Час перехідного процесу, с	0,538	0,345
10.	Допустимі відхилення напруги, %	+10%-5%	+20%-80%
11.	Пусковий момент, кГм	322,6	517
12.	Сумарні втрати двигуна, кВт	28	29
13.	Перевищення температури обмотки статора над температурою оточуючого середовища, t° С	60	28
14.	Діапазон регулювання обертів за напругою при постійній частоті струму n_{min}/n_{max}	1	1:500

Як бачимо, двигуни з суміщеними обмотками порівняно зі стандартними, традиційними двигунами мають ряд суттєвих переваг. Наступний за потужністю серійний асинхронний електродвигун А4 - 400Х - У3 має за паспортом потужність 630 кВт., а маса його на 220 кг більша. Отже, до того ж отримується значна економія матеріалів на дорогій електротехнічній сталі магнітопроводу статора та міді провідників. Окрім цього при досліджах для регулювання частоти обертання валу зміною напруги використовувався простий трифазний автотрансформатор.

Таким чином, застосування трифазного модернізованого асинхронного двигуна з суміщеними обмотками матиме такі переваги:

1. Регулювати оберти при незмінній частоті струму можна шляхом плавної зміни величини напруги у всьому швидкісному діапазоні, при цьому отримується більш м'яка механічна характеристика.

2. Механічна характеристика є стійкою.

3. При неномінальному навантаженні ККД двигуна з суміщеними обмотками на відміну від серійних знижується незначно; встановлено, що ККД та $\cos\phi$ близькі до номінальних їх значень у діапазоні навантажень від 25 до 150%.

4. При коливаннях напруги, в тому числі при суттєвому її падінні, двигун не «перевертається», а продовжує стійко працювати з меншою потужністю та високим ККД.

5. Пускові струми менші на 35%, при цьому пусковий момент збільшується на 35% (за самими обережними оцінками).

6. Критичне перевантаження двигуна супроводжується плавним зниженням обертів валу, тобто різка зупинка відсутня.

7. Середнє завантаження електродвигуна (відношення потужності, яка споживається робочим органом машини до номінальної потужності електродвигуна) піднімається до 0,8, що значно знижує енергоспоживання, щонайменше до 20-35% залежно від режиму.

8. Збільшується максимальний момент (на 20%), а отже збільшується й перевантажувальна здатність.

9. Покращуються вібро-шумові характеристики та надійність.

Враховуючи сучасні тенденції зниження впливу промисловості на оточуюче середовище, двигун із суміщеними обмотками буде необхідний, так як при значному зменшенні електроспоживання кількість корисної роботи залишається попередньою, що призводить до зменшення питомого споживання вуглеводів. Суттєвим є і те, що двигун з суміщеними обмотками генерує менше перешкод у мережу та менше впливає на форму напруги живлення, що має важливе значення для цілого ряду об'єктів, котрі укомплектовані складною електронікою та обчислювальними системами.

Практика показала, що якихось кардинальних затрат для організації виробництва двигунів із суміщеною обмоткою або організації модернізації традиційних стандартних двигунів не потрібно, що є ще одним важливим чинником.

Модернізацію двигунів можна здійснювати на стандартному обладнанні підприємств електромашинобудівної галузі без внесення якихось суттєвих змін у його конструкцію. Ще однією позитивною стороною модернізованого двигуна є те, що він може бути виготовлений у металоконструкції стандартного

трифазного асинхронного двигуна шляхом відносно простої заміни статорної обмотки. Немає необхідності перевчати персонал і обладнувати виробництво якимось новими верстатами і обладнанням.

У контексті підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій вивчення напрямів підвищення ефективності електроустановок, зокрема асинхронних двигунів відіграє важливе значення у формуванні їх фахових компетентностей, пов'язаних із здатністю аналізувати й оцінювати об'єкти технологічного середовища та умінням організовувати дослідницько-пошукову діяльність школярів у процесі роботи над навчальними проектами.

Для ефективної професійної діяльності сучасний учитель технологій має володіти достатньо складною системою техніко-технологічних і методичних знань і вмінь. У подальшому розвитку вищої технологічної освіти ця вимога буде лише посилюватися, а безпосередньо система техніко-технологічних знань і вмінь – зростати й ускладнюватися. Ефективність політехнічної підготовки майбутніх учителів технологій у педагогічних закладах вищої освіти залежить від багатьох чинників: матеріально-технічного забезпечення, ступеня фахової кваліфікації та педагогічної майстерності викладачів, рівня базової техніко-технологічної підготовленості та вмотивованості студентів, використовуваних принципів, змісту, методів навчання, форм організації освітнього процесу тощо. Безсумнівно, що всі ці аспекти є важливими складовими ефективності будь-якої методики навчання, у тому числі й методики формування у майбутніх учителів технологій вищезгаданих фахових компетентностей.

Стало традиційним, що політехнічні знання й уміння формуються у процесі вивчення майбутніми вчителями технологій різних навчальних дисциплін, починаючи від нарисної геометрії, креслення, електротехніки та закінчуючи науковими засадами технологічної освіти та ін. При вивченні цих дисциплін на лекційних, практичних й індивідуальних заняттях студенти отримують первинні політехнічні знання й уміння. Проте для кваліфікованого вчителя технологій цього недостатньо, адже отримані ним таким чином знання й уміння зазвичай розрізнені та несистематизовані, а найголовніше – недостатньо спрямовані на формування умінь і навичок організації та здійснення техніко-технологічної, науково-дослідницької та творчо-пошукової діяльності школярів.

Тобто ці знання й уміння, професійно значущі для сучасних учителів технологій, зароджуються, розвиваються та найкраще проявляються у процесі самостійної науково-пошукової діяльності під час реалізації науково-дослідницьких і творчих проектів. Саме тому провідною освітньою технологією, яка забезпечить майбутнього учителя трудового навчання та технологій здатністю аналізувати і оцінювати об'єкти технологічного середовища та умінням організовувати дослідницько-пошукову діяльність школярів вважаємо проектну технологію та застосування проблемних методів і способів розв'язання проектних завдань.

Проблемні методи дають змогу студентам раціоналізувати дослідницько-пошукову діяльність. Адже проблемна ситуація не існує сама по собі, вона виникає у результаті взаємодії сукупності зовнішніх чинників й умов з активно діючим суб'єктом, який прагне ці чинники та умови привести у відповідність з системою власного світогляду та наявної системи знань й умінь.

До основних методів оптимізації шляхів пошуку розв'язання зазначених завдань у процесі підготовки майбутніх учителів технологій належать такі, як

метод мозкової атаки, метод морфологічного аналізу, кейс-метод, метод алгоритму розв'язання винахідницьких задач.

Зупинимося детальніше на останньому методі, який ще називають методом аналізу конкретних ситуацій. Він являє собою педагогічну технологію проблемно-ситуаційного типу, яка передбачає використання в навчальному процесі реальних (або близьких до реальних) ситуацій економічного, управлінського або виробничого характеру з подальшим їх аналізом, оцінкою, прийняттям обґрунтованих рішень. Психолого-педагогічна сутність методу конкретних ситуацій полягає у визначенні та вирішенні реальних, актуальних проблем у ситуаціях невизначеності, причому досить часто суперечливих. Суть кейс-методу полягає в аналізі на практичних заняттях спеціально розроблених професійних ситуацій, пошуку шляхів і способів їх вирішення, оцінці та прогнозуванні наслідків прийнятих рішень. Ходом обговорення зазвичай керує викладач, при груповій формі роботи керівництво процесом делегується лідеру групи.

У процесі загальної дискусії студенти виявляють найбільш суттєві проблеми, які потребують вирішення, аналізують всю наявну у них інформацію, відбирають з неї найбільш значущу, на основі наявних у них знань пропонують можливі шляхи вирішення, оцінюють імовірність успіху того чи іншого варіанту.

Особливістю застосування кейс-методу є реальність описуваних у ситуаціях подій, тому конкретні ситуації розробляються на основі справжніх фактів.

При цьому студенти стикаються з необхідністю виявлення проблем, визначення їх типології, характеристик, наслідків і шляхів вирішення; аналізу взаємозв'язків з оточуючим середовищем; встановлення причин, які привели до виникнення даної ситуації і можливих наслідків (причинно-наслідкові зв'язки); обговорення проблеми в малій групі, її рішення у процесі командної роботи (комунікативні дії, критичне мислення); підготовки прогнозу щодо ймовірних результатів (прогностичний аналіз); вироблення планів, програм дій в процесі вирішення даної ситуації (програмно-цільовий аналіз); рефлексії процесу вирішення проблеми.

Застосування кейс-методу базується на організації навчальних дискусій, у ході яких з різних позицій аналізується конкретна ситуація, виявляються причини виникнення проблем і конфліктів, пропонуються дії щодо їх подолання, оцінюється їхнього ефективність, робляться прогнози щодо подальшого розвитку ситуації.

Можна виділити такі основні принципи підготовки педагогів до застосування цього методу:

- викладач повинен керувати процесом обговорення, в ході якого окремі студенти та група в цілому досліджують конкретну ситуацію в усій її складності;
- ключовою умовою ефективності керівництва дискусією є вміння викладача використовувати деталі, що містяться в описі ситуації;
- викладачів необхідно і можна навчити технології створення кейсів та ведення їх обговорення.

Технологічними особливостями реалізації методу конкретних ситуацій є: формування дидактичної мети кейса, визначення проблеми; побудова програми кейса; побудова або вибір моделі ситуації, яка відображає принципи досліджуваного об'єкта; написання тексту кейса, його апробація, підготовка остаточного варіанта; підготовка методичних рекомендацій щодо використання кейса; впровадження кейса у практику навчання.

Джерелами для створення кейсів є інформація, яка обробляється викладачем і адаптується для вирішення конкретних дидактичних завдань.

Так, вивчення студентами енергоефективності асинхронного двигуна та пошуку шляхів її підвищення рекомендовано побудувати на прикладі реальних життєвих (виробничих) ситуацій. Для прикладу можна використати ситуацію з потребою економії електроенергії під час експлуатації електрообладнання шкільної навчальної майстерні.

З метою оптимізації подальших етапів політехнічної підготовки майбутніх учителів технологій раціональним є використання методу АРВЗ (алгоритму розв'язання винахідницьких задач), який сприяє виробленню загальних принципів діяльності у процесі творчого пошуку під час розв'язання складних винахідницьких задач. Цей метод заснований на теорії розв'язання винахідницьких завдань (ТРВЗ), яку у 1946 р. запропонував відомий учений-винахідник Г. Альтшуллер [2].

Теорія Г. Альтшуллера ґрунтується на законах розвитку технічних систем, удосконалення яких відбувається у процесі реалізації творчих (винахідницьких) завдань із дотриманням певних стандартів і вимог. При цьому слід пам'ятати, що будь-яке завдання стає творчим, винахідницьким, коли містить суперечності, у подоланні яких виявляється сутність творчого процесу. Тому теорію розв'язання винахідницьких завдань та розроблений на її основі метод АРВЗ рекомендується застосувати для визначення способів підвищення енергоефективності технологічного обладнання.

Процес розв'язання завдань із допомогою методу АРВЗ полягає у послідовному виконанні дій з виявлення, уточнення та подолання технічних суперечностей. У спрощеному вигляді процес розв'язання творчого завдання з допомогою методу АРВЗ можна представити у формі алгоритму дій, що складається з кількох етапів.

Перший етап передбачає виконання дій, спрямованих на оцінювання поставленого завдання: ознайомлення із завданням; вивчення завдання, розуміння його сутності, змісту та вимог щодо його виконання.

Ознайомлюючись із завданням, студентам необхідно чітко зрозуміти його умову, значення нових, інколи незрозумілих слів і термінів, записати умову завдання з уведенням позначень, зображень, схем або рисунків. При вивченні умов завдання необхідно проаналізувати зміст, з'ясувати фізичну сутність, виділити її головні елементи: результат, який необхідно отримати, наявні дані та умови. Внаслідок ознайомлення з технічним завданням студенти не лише повинні його усвідомити, в них має з'явитися непереборне бажання його розв'язати, реалізувати на практиці.

Другий етап передбачає виконання дій, спрямованих на розв'язання завдання: складання плану розв'язку та його реалізації.

Третій етап – вивчення отриманого варіанту розв'язку. Цей етап містить оцінку фізичного смислу та реальності передбачуваного результату пошукової діяльності: перевірку перебігу виконання завдання, пошук оптимальних шляхів його розв'язання тощо.

При використанні методу АРВЗ у процесі визначення способів підвищення енергоефективності технологічного обладнання провідну роль в упорядкованому переліку послідовності дій студента відіграє пошук та усунення наявних технічних суперечностей, що, як правило, виникають при спробі покращення,

об'єднання або перенесення певних властивостей об'єкта дослідження. Оскільки прагнення покращити певні характеристики об'єкта викликає незгодженість з іншими його властивостями, то така суперечність, властива кожному конкретному завданню, вказує на ті основні проблеми, які необхідно вирішити студентам у процесі дослідницької діяльності.

Висновки. Проблема підвищення енергоефективності, а як наслідок – економічності та, в багатьох випадках, екологічності технологічного обладнання є актуальною та перспективною. У світі застосовують низку напрямів поліпшення енергоефективності асинхронного двигуна, один із них, дуже перспективний – застосування суміщених обмоток статора. Випуск асинхронних двигунів з суміщеними обмотками, модернізація асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором шляхом переведення їх на роботу з суміщеними обмотками дає можливість різко поліпшити техніко-економічні показники роботи електроприводу, підняти рівень його енергоефективності.

У контексті сучасних тенденцій реформування економіки, виробництва та освіти зазначена проблематика є необхідним компонентом результатів навчання здобувачів вищої освіти – майбутніх учителів трудового навчання та технологій. Основними методами формування зазначених результатів навчання вважаємо метод конкретних ситуацій (кейс-метод), а також метод АРВЗ (алгоритму розв'язання винахідницьких задач), які з успіхом можуть бути використані у процесі формування фахових компетентностей майбутніх учителів трудового навчання та технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андриади И. П. Основные направления применения кейс-технологий в профессиональной подготовке учителя. *Теория инновационной и экспериментальной деятельности*, 2010. №3. С. 2-4.
2. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач. Москва : Альпина Паблишер, 2014. 320 с.
3. Асинхронный двигатель с совмещенными обмотками. URL : http://energsovet.ru/bul_stat.php?idd=372
4. Дуюнов Е. Д., Дуюнов Д. А. Совмещенные обмотки электрических машин : справочник. Москва : Издательство МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2017. 426 с.
5. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посіб. / М. Г. Попович та ін. Київ : Либідь, 2005. 680 с.
6. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках : справочник. Москва : Энергоатомиздат, 1991. 143 с.
7. Микола Корчемний, Валерій Федорейко, Володимир Щербань. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. 984 с.
8. Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф. Загальна електротехніка : теорія і практикум: підручник. Київ : Каравела, 2004. 440 с.
9. Токарев Б. Ф. Электрические машины: учебное пособие для вузов. Москва: Энергоатомиздат, 1990. 624 с.

REFERENCES

1. Andriadi I. P. (2010). Osnoanye napravleniya primineniya kejs-tekhnologij v professionalnoj podgotovke uchitelya. *Teoriya innovacionnoj i eksperimentalnoj deyatel'nosti*. № 3. Pages 2-4. [in Russian].

2. Altshuller G. S. (2014). Najti ideyu. Vvedenie v TRIZ – teoriyu resheniya izobretatelskikh zadach. Moskva : Alpina Pablisher. Page 320. [in Russian].
3. Asinkhronnij dvigatels sovmeshhennymi obmotkami. URL : http://energsovet.ru/bul_stat.php?idd=372
4. Duyunov E. D., Duyunov D. A. (2017). Sovmeshhennye obmotki elektricheskikh mashin : spravochnik. Moskva : Izdatelstvo MGTU im.N.E. Baumana. Page 426. [in Russian].
5. Elektromekhanichni sistemi avtomatichnogo keruvannya ta elektroprivodi: navch. posib. / M. G. Popovich ta in. Kiyiv : Libid, 2005. Page 680. [In Ukrainian].
6. Leznov B. S. (1991). Ekonomiya elektroenegrii v nasosnykh ustanovkakh : spravochnik. Moskva : Energoatomizdat. Page 143. [in Russian].
7. Mykola Korchemnyi, Valerii Fedoreiko, Volodymyr Shcherban. (2001). Enerhozberezhennia v ahropromyslovomu kompleksi. Ternopil : Pidruchnyky i posibnyky, Page 984. [In Ukrainian].
8. Panachevnyi B. I., Sverhun Yu. F. (2004). Zahalna elektrotekhnika : teoriia i praktykum: pidruchnyk. Kyiv : Karavela, Page 440. [In Ukrainian].
9. Tokarev B. F. (1990). Электрыческые машыны: учебное пособие для вузов. Moskva: Энерхоatomyzdat, Page 624. [in Russian].

kurachnick@meta.ua

Рецензент: д. техн. н., професор Пашечко М. І.