Академія педагогічних наук України

Донецький інститут післядипломної освіти ІППП

Костюченко М.П.

Сучасний стан і перспективи розвитку електроенергетики й електротехнічної промисловості

Донецьк - 2005

ББК 74. 567.1
УДК620.9, 620.92,621.311,621.313,621.315, (075.8)
П16

Рецензенти:
В.М.Молчанов, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри педагогічних технологій і педагогічної майстерності Донецького інституту післядипломної освіти інженерно-педагогічних працівників
Г.М. Кірсанов, кандидат фізико-математичних наук, доцент Донецького інституту психології і підприємництва.

Костюченко М.П.

Сучасний стан і перспективи розвитку електроенергетики й електротехнічної промисловості: навчально-методичний посібник. – Донецьк: ДІПО ІПП, 2005. – 78 с.

Навчально-методичний посібник призначений для підвищення кваліфікації та самоосвіти педагогічних працівників електроенергетичного профілю професійно-технічних навчальних закладів, а також викладачів технікумів. Відбір ряду питань реалізований на основі прогностичного підходу.

У навчально-методичному посібнику висвітлений сучасний стан, тенденції розвитку та основні напрями науково-технічного прогресу у вітчизняній і світовій електроенергетиці та електротехнічній промисловості. Приведені посилання на публікації, які вийшли в останні роки.

Рекомендовано Вченою радою Донецького інституту післядипломної освіти інженерно-педагогічних працівників (протокол № 5 від 21.06.2005 р.)

© М.П. Костюченко.

ВСТУП

У відповідності з Концепцією розвитку професійно-технічної (професійної) освіти в Україні, зміст професійної освіти повинен мати випереджувальний характер і постійно оновлюватися з урахуванням динамічних змін у галузях економіки. Вказане можна здійснити за умови безперервності освіти інженерів-педагогів, майстрів виробничого навчання та педагогів професійного навчання, які органічно поєднують функції викладача та майстра виробничого навчання.

В умовах ринкової економіки, прискореного науково-технічного прогресу, широкого запровадження наукоємних, інформаційних й електронних технологій, безперервність освіти реалізується шляхом самоосвіти, модернізації системи післядипломної освіти, розвитком дистанційної освіти. Це забезпечує зростання рівнів професійної та фахової компетентностей педагогічних працівників, їх конкурентоспроможності на ринку освітніх послуг.

Даний посібник призначений для педагогічних працівників електроенергетичного профілю професійно-технічних навчальних закладів, а також для викладачів технікумів.

Мета посібника забезпечити інформування даної категорії педагогічних працівників з сучасним станом розвитку електроенергетики та електротехнічної промисловості, а також з деякими тенденціями та прогнозами цього розвитку. Це в деякій мірі буде сприяти завданню ліквідації розриву між наявними освітніми потребами денної категорії фахівців і відсутністю доступних науково-технічних літературних джерел і науково-методичним забезпеченням курсів електротехніки та спеціальної технології.

1. Сучасний стан і перспективи розвитку електроенергетики

Електроенергетика є основою розвитку економіки країни і, насамперед, суміжних галузей – енергомашинобудівництва й електротехнічної промисловості. Це пов'язано з універсальністю електричної енергії, та таких її цінних властивостей, як легка трансформація в інші види енергії та за різною потужністю, можливість передачі на великі відстані при малих втратах, екологічна чистота тощо. Масова електрифікація економіки сприяє НТП, значно підвищує продуктивність праці та якість продукції.

Подальший розвиток суспільного виробництва, широке впровадження електрообладнання, електронної техніки й автоматизація виробничих процесів можливі тільки при збільшенні темпів споживання електроенергії, тому роль електроенергетики й електрифікації значно підвищиться.

Об'єктивні тенденції та закономірності розвитку електроенергетики безпосередньо відображаються на вдосконаленні електротехнічного виробництва і продукції галузі, а також на розвитку об'єктів (предметів), засобів і змісту праці електромонтерів.

Установлена потужність електростанцій України в 2005 р. становить 54,0 млн. кВт, серед яких на теплові приходиться приблизно 65%, на ядерні – 26% і на гідроелектростанції 9%. Близько 10% від сумарного вироблення електроенергії (177млрд. кВт. год.) поставляється на експорт.

Разом з тим, електроенергетика України характеризується старінням і практичною зношеністю обладнання, використанням застарілих технологічних процесів, відносно низькими (порівняно з високо розвинутими країнами) значеннями *коефіцієнта використання установленої потужності* (КВУП), низькою продуктивністю праці в енергетичній галузі та в економіці в цілому. Зокрема $КВУП_{ТЕС}$ України 27–29%, $КВУП_{АЕС}$ України 82–83%, що приблизно на 10% менше, ніж в Кореї. Питомі витрати умовного палива на відпущену

електроенергію ТЕС України становить 373 г. у.п. / кВт. год (ККД 32,9%), а середньосвітові показники – 315 год у.п. / кВт. г. (ККД 39%) [53].

Кінець XX ст. характеризується кризисною фазою циклічного розвитку електроенергетики, технологічний уклад якого встановлений ще в 50-х рр., тому повністю вичерпав свої можливості. Вказана фаза циклу розвитку визначається переважанням енергетичного й електротехнічного обладнання, яке відпрацювало нормативний ресурс і фізично та морально застаріло, зокрема 53% енергоблоків теплових електростанцій [36].

Основою енергетики України є ***теплові електростанції (ТЕС)***, які складаються з 99 конденсаційних енергоблоків потужністю 175 – 800 МВт з параметрами гострого пару 14 МПа, 540/540 або 24 МПа, 540/540. Основним видом палива для ТЕС є вугілля. Частково використовується природний газ, а мазут служить аварійним паливом. Разом з тим, 53% енергоблоків фізично і морально застаріло [37].

Серед завдань, які конче необхідно розв'язувати, є реконструкція енергоблоків потужністю 200-300 МВт і введення нових потужностей до 2 млн. кВт. ТЕС з ККД не менше 50% будуть розвиватися в напряму удосконалення *паротурбінних установок* як традиційних (прямоструминних, барабанних тощо), так і нових (котлоагрегати з киплячим шаром, з використанням вихрового або кільцевого палення тощо). Будуть здійснені спроби збільшення одиничних потужностей парових турбін ТЕС на газомазутному паливі від 1200 до 2000 МВт. Неминуче залучення в паливний баланс низькосортного вугілля, а самі котлоагрегати повинні стати універсальні для всіх видів палива: торфу, горючих сланців, бітумінозних пісків та ін.

У галузі генерування електроенергії відслідковуються такі ***тенденції***: укрупнення *одиничних потужностей* електрогенераторів при одночасному покращенні споживчих властивостей електроагрегатів – забезпечення необхідної надійності, зниження втрат енергії в генераторах, покращення їх експлуатаційних характеристик і показників; зниження матеріальних і трудових витрат на виготовлення агрегатів в розрахунку на одиницю корисного ефекту.

Збільшення одиничних потужностей генеруючого обладнання пов'язане з підвищенням напруги, *коефіцієнта корисної дії* (ККД), а також зі зниженням питомих витрат матеріалів на одиницю потужності, що обумовлено технологічною й економічною доцільністю. Це відповідає одній із стратегічних цілей розвитку економіки України – ***глобальної електрифікації***, зокрема зростання сумарних генеруючих потужностей до рівня, якому відповідає на душу населення не менше 1000 кВт. год, електроенергії прийнятої ціни.

Буде продовжено вдосконалення уніфікованої серії турбогенераторів освоєних потужностей 63 – 800 МВт, а також створення нових типів і типорозмірів турбогенераторів потужністю 1000МВт для ***атомних електростанцій*** **(АЕС)**. Великі надії покладаються на впровадження в електроенергетику ***надпровідникових турбогенераторів*** (***НТ***), тому, що механічна міцність традиційних матеріалів обмежує генеруючі потужності значенням 2500-3000 МВт.

Підвищення потужності традиційних турбо- і гідрогенераторів досягається переходом на систему повного водяного охолодження або охолодження обмотки і осердя статора фреоном або нетоксичним маслом. Останнє дозволяє побудувати енергоблок з високовольтним масляним турбогенератором, що виключає необхідність у підвищувальному трансформаторі. До 2010 р. прогнозується створення НТ потужністю більш 10000 МВт [37].

У перших ***високотемпературних надпровідників*** **(ВН)** критична густина струму становила лише 100 – 1000 А /см^2. У 1999 р. у ВН на основі Bi Pb Sr CaCu досягнуто 50000 А /см^2 при Т = 77К. Для металооксидних надпровідників Hg Sr_2 Ca_2 Cu_3 O_7 температура переходу в надпровідний стан рівна 135 К. "Блакитна мрія" електроенергетиків і електромашинобудівників-надпровідності при кімнатній температурі (300-400 К).

У грудні 2001р. компанія "General Electric Co" повідомила про створення надпровідникового генератора потужністю 100 МВт. Розрахунки свідчать, що за весь термін експлуатації цього генератора можна заощадити електроенергію

на суму більш ніж 0,5 млн. дол. США, а генератора потужністю 1200 МВт – на млн. дол. США [54].

Теплова електроенергетика України перевантажена великим базисним обладнанням: 44 блока по 300 МВт, 24-по 500 МВт, 8-по 800 МВт. Оптимізація структури перспективних генеруючих потужностей вимагає близько 50 – 55% базисних, 30 – 35% маневрених і 10 – 15% пікових потужностей [54].

Для покриття напівпікових навантажень раціонально використовувати ***газотурбінні та парогазові установки (ГТУ, ПГУ)***. Якщо перші функціонують на природному газі, то другі – на продуктах циклової газифікації вугілля або за схемою високонапірного парогенератора, який має топку з киплячим шаром.

У перспективній структурі електроенергетичних потужностей широке розповсюдження отримають ГТУ на природному газі, а також нагромаджувачі енергії – ***повітряноакумулюючі електростанції (ПАЕС).*** Паралельна робота повітряного акумулятора і газової турбіни має високу ефективність для покриття пікової зони графіка навантаження ***електроенергетичної системи (ЕЕС).*** Передбачається освоєння нового покоління ГТУ з температурою газу 1645^0С і одиночною оптимальною потужністю 150 – 200 МВт.

Вельми перспективні нові технології одночасного виробництва теплової й електричної енергії ***(когенерація)***. Енергія первинного палива (газу) спочатку використовується в газових турбінах, а потім на виході із газових турбін, пройшовши систему теплообмінників – в парових турбінах. Об'єднання газових і теплових турбін – ***парогазова установка (ПГУ).*** Така установка має ККД (ефективність) на 10 – 12% більше, ніж конденсаційні теплові електростанції з блоками великої потужності 800 –1000 МВт і ККД біля 40 %.

Оптимально використовуються ПГУ із двох газових блоків по 150 – 200 МВт кожний і одного парового блока тієї ж потужності. Це дозволяє збільшити ККД електростанцій до 52% і вище при одночасному покращенні їх екологічності (зменшення кількості шкідливих речовин у відпрацьованих газах) за рахунок спалювання палива при більш високих температурах.

Хоча переважна більшість проектів ПГУ базуються на газі при питомих витратах умовного палива на відпущену електроенергію 145 – 210 г. у.п. / кВт.год (ККД 60 – 70%), але й розробляються схеми ПГУ з внутрішньо цикловою газифікацією вугілля, а також ПГУ з високонапірним парогенератором, який має топку з киплячим шаром.

Для забезпечення ефективності агрегатів меншої потужності з використанням газових турбін бажаний перехід від стандартизованої частоти обертання 3000об/хв на частоту 6000 об/хв. Для мінігенераторів потужністю від 250 до 1500 кВт зі збудженням від постійних магнітів Nd FeB раціональні частоти обертання 15000 – 24000 об / хв і більше. Міцність роторів забезпечується використанням титанових бандажів, а самі генератори мають модульне виконання.

По замовленню споживачів потужність мінітурбогенераторів може змінюватися в залежності від числа модулів [14]. Турбогенератори малої потужності та високих і надвисоких частот обертання незамінні для автономних (локальних) джерел енергії.

До кінця XX ст. потужність двополюсного турбогенератора досягла 1333МВ.А при 3000 об/хв (ВАТ "Електросила", Росія) і 1700 – 1800 МВ·А при 1500 об/хв ("Alstom", Франція).

Проте у кінці 80-х рр. після аварії на Чорнобильській АЕС поширилася думка, що більш ефективна економія електроенергії, а не безмежне збільшення її виробництва. Це пояснюється тим, що розроблення й упроваджування турбогенераторів все більш великої одиничної потужності (1,2 – 1,5 млн. кВт) хоча і спричиняє до зниження питомих затрат (у тому числі й матеріалоємкості) та зростання ККД, але призводить до зниження надійності енергоблоків внаслідок зростання електромагнітних, механічних і теплових навантажень. Відмова від водню у системах охолодження турбогенераторів, перехід на водяне або повітряне охолодження, підвищує їх вибухо - і пожежобезпечність.

Таким чином, особливість турбогенераторобудування на рубежі XXI ст. – повернення до систем повітряного і водяного охолодження для синхронних турбогенераторів середньої потужності (100 – 500 МВт), необхідність створення турбогенераторів малої потужності (0,1 – 30 МВт). Забезпечення безпеки АЕС вимагає обмеження одиничної потужності турбогенераторів граничним значенням 1000 МВТ.

Зокрема, високих показників надійності досягла експлуатація на АЕС турбогенераторів потужнстю 1000 МВт на 300 об/хв з повним водяним охолодженням типу ТЗВ ВАТ " Електросила".

Важливим завданням енергетики є підвищення ефективності перетворенням енергії первинного палива (хімічного, ядерного) в механічну, а потім в теплову й електричну енергії. Підвищення ККД перетворення енергії пов'язано з підвищенням ефективності використання первинного палива і зниження утрат безпосередньо в самих електрогенераторах.

Для оптимізації режимів роботи синхронних турбогенераторів (по реактивній потужності та нормалізації напруги електричної мережі) до шин електростанції підключають статичні компенсатори або ***комутуючі шунтуючі реактори.***

Від шунтуючих реакторів можна відказатися за умови використання енергетичних електромашин нового покоління – ***асинхронізованих турбогенераторів (АСТГ).*** Цей тип генераторів має поздовжньо-поперечне збудження, що дозволяє їм служити керованими джерелами реактивної потужності.

АСТГ має ряд явних техніко-економічних переваг у порівнянні з традиційними синхронними турбогенераторами, а саме: відносно велика статична й динамічна стійкість роботи ("*живучість*") в режимах генерування електроенергії та регулювання реактивної потужності в широкому діапазоні; незалежність регулювання моменту (активної потужності) та напруги (реактивної потужності) турбогенератора; стійкість та безпечність роботи енергоблока при робочих режимах генератора (в т.ч. при коливаннях

навантаження), а також в аварійних режимах (при відмовах системи збудження);скорочення на 5 – 10% технологічних утрат електроенергії в мережі [54].

АСТГ раціонально виконувати по типу ТЗВ з повним водяним охолодженням. Можливий ряд АСТГ за потужністю може складати 110, 160, 220, 320 і 400 МВт.

Покладають великі надії в енергетиці майбутнього на ***магнітогідродинамічні (МГД) генератори*** *і* ***термоемісійні перетворювачі енергії (ТЕП)***.

МГД – метод, здатний підвищити ККД ТЕС до 60% і відповідно знизити питомі витрати палива до 20ч35 %. Спочатку передбачається побудова МГД – електростанцій на газомазутному паливі, а в перспективі – на твердому паливі потужністю 1000МВт. У свою чергу, використання ТЕП як надбудови до паротурбінного циклу ТЕС або АЕС дозволить в перспективі збільшити ККД електростанцій на 12 – 15% [45].

МГД – технологія здатна знизити питомі витрати палива до 20 – 35% за умови отримання не тільки електроенергії, але й синтетичного рідкого палива, азотної кислоти та інших цінних продуктів з одночасним вирішенням проблеми захисту довкілля від шкідливих викидів.

Отримають розвиток традиційні МГД - установки з луговою іонізуючою присадкою, а також МГД - генератори без присадки, які використовують ефект Т-шару.

Істотне підвищення ефективності та покращення техніко-економічних параметрів МГД - установок пов'язано з розробками надпровідних магнітних систем.

Ключова проблема енергетики – забезпечення високої енергоекологічної ефективності виробництва та використання енергії. ***Принцип "двопроцентного рішення"*** (two percent solution) в економіці означає, що для забезпечення стійкого глобального розвитку в ближні 50 років достатньо мати 2% зростання основних показників і, у першу чергу, енергетичної ефективності. Відповідно

до спрощеної формули стійкого розвитку (**3 → 2→ 1**), споживання первинної енергії щорічно зростає приблизно на 2 %, валовий світовий продукт (ВСП) щорічно зростає приблизно на 3 %, у той же час кінцева енергоємність ВСП знижується у середньому приблизно на 1 % за рік [16]. Тому припущення відносно ефективності енергетичних технологій майбутнього та їх впливу на зовнішнє середовище займають центральне місце в світових і національних енергетичних сценаріях і прогнозах.

Домінуюча у другій половині XX ст. тенденція зростання одиничних потужностей турбогенераторів ТЕС і АЕС, незважаючи на зниження питомих витрат і матеріалоємкості, зростання ККД, в цілому виявляється неконкурентоспроможною, особливо в частині забезпечення високого ступеня надійності роботи потужних агрегатів, їх вибухо - і пожежобезпечності й екологічності.

Світове виробництво електроенергії на теперішній час перевищує 0,05 % енергії, яку отримує наша планета від Сонця, а до кінця XXI століття може зрости до 0,4 – 0,5% і більше [20].

Разом з тим, як зазначають фахівці, ТЕС можуть завдати непоправну шкоду навколишньому середовищу і самому життю на Землі за рахунок забруднювання атмосфери золою і шкідливими хімічними сполуками (CO_2, SO_2, NO_x та ін.). Спалювання у великих масштабах органічного палива може призвести до проявлення “парникового ефекту” і глобального зниження концентрації кисню на значних територіях. Зараз спалюється тільки для покриття потреб в електроенергії біля 2 т умовного палива на душу населення за рік.

Повний гідроенергетичний потенціал України біля 45млрд. кВт · год. за рік (у тому числі 20 млрд. кВт · год. – економічно ефективний). Річне вироблення електроенергії на ***гідроелектростанціях (ГЕС)*** і ***гідроакумулюючих електростанціях (ГАЕС)*** становить 9 – 12 млрд. кВт · год. за рік (тобто використовується 45ч60 % гідроенергетичного потенціалу).

У відповідності зі стратегією розвитку енергетики України, необхідно довести загальну потужність ГЕС і ГАЕС до 9668 МВт (близько 16 % загальної установленої потужності) і річне вироблення електроенергії до 20млрд. кВт · год., тобто приблизно 5,4 % від загального вироблення електроенергії [36].

Потужність гідрогенераторів ГЕС обмежується механічною міцністю матеріалів, граничною масою поковки ротора і питомим пусковим навантаженням на підп'ятник.

З екологічних міркувань, в доступній для огляду перспективі буде розвиватися мала гідроенергетика на базі гідроагрегатів з поворотно - лопатевими і радіально-осьовими турбінами, а також капсульні гідроагрегати для рік з малим напором води. Перспективні тихохідні генератори ***безгребльових гідроелектростанцій***, які використовують низькопотенційну енергію рівнинних рік, морських течій, припливну і хвильову енергію морів. Гребльові ГЕС нераціональні тому, що вони затоплюють великі площі земель.

Для практичного використання малих водотоків потрібні ***мінігідрогенератори*** безпосередньо з'єднаних з турбіною на потужності в декілька кіловат при частотах обертання 75 – 100 об/хв. Мінігідрогенератори виконані на постійних магнітах Nd FeB з дрібним числом пазів на полюс і фазу ($q < 1$), а обмотка статора замонолічена, що дає можливість функціонувати в погружному режимі [14].

Сьогодні експлуатується 15 ***ядерних енергоблоків*** сумарною потужністю 13,818 млн.кВт з реакторами типу ВВЕР-1000. Планується довести вироблення електроенергії на АЕС до 95 – 100млрд.кВт·год. (38 – 40% від накресленого загального виробництва електроенергії в Україні), що дасть економію органічного палива 32 – 34 млн. т за рік. Запаси природного урану і цирконію можуть забезпечити країну енергією на 100 – 200 років при використанні сучасної технології [36].

Серед пріоритетів розвитку ядерної енергетики належить виділити проблеми забезпечення експлуатаційної й екологічної безпеки АЕС, надійності енергоблоків, захоронення радіоактивних відходів. Частота пошкоджень активної

зони українських реакторів більше 10^{-4} ч 10^{-5} 1 / реактор - рік, у кращих закордонних АЕС – не більше 10^{-6} [53].

Крім підвищення надійності та живучості основного генеруючого обладнання АЕС, необхідно підвищити КВУП до 94 – 95%.

З міркувань безпеки не буде зростати одинична потужність традиційних ядерних енергетичних реакторів типу ВВЕР вище ніж 1000 – 1500 МВт.

Ймовірно, ядерна енергетика перейде на ***реактори-брідери*** та газоохолоджувальні ядерні реактори. Ці реактори можуть працювати в режимі самозабезпечення штучним ядерним паливом, а також крім електроенергії можуть бути джерелом для виробництва синтетичних палив і, зокрема, водню [37].

Ядерна енергетика потенційно більш небезпечна, ніж традиційні штучні джерела енергії. АЕС забруднюють зовнішнє середовище двома каналами – тепловим і радіоактивним. Для розв'язки проблеми радіоактивних відходів пропонуються створення каскадних АЕС, кожна із яких працює на відходах попередньої, допалюючи залишки радіоактивного палива. Є заклики "загнати" АЕС глибоко під землю, або взагалі відправити їх в Космос, для чого необхідна розробка бездротових ліній передачі енергії на лазерах або надвисокої частоти променях.

Загроза настання в оглядовій перспективі (40-50 років) енергетичного кризису (газового, нафтового) спонукають інтенсифікацію досліджень з технології виробництва електроенергії за допомогою ***ядерних реакторів на швидких нейтронах*** (***брідерах***). Можливий перспективний домінуючий стан брідерів над традиційними тепловими ядерними реакторами приведе до того, що ядерна енергетика приведе в режим самозабезпечення штучним ядерним паливом (плутонієм).

Прогнозується значний розвиток високотемпературних газоохолоджувальних реакторів, які крім вироблення електроенергії здатні виробляти синтетичні палива, зокрема водню.

Разом з тим головні зусилля вчених і конструкторів зосереджені на проблемах ***керованого термоядерного синтезу (КТС),*** який за питомою енергоємністю на три порядка більше, ніж енергоємність поділу важких ядер урану. Вирішення ряду фізико-технічних проблем, пов'язаних насамперед з досягненням критерія Лоусена, дозволить створити дослідно-промислові установки КТС, які є останнім кроком на шляху до ***термоядерних електростанцій.*** Досліджуються різні варіанти конструкцій і фізика роботи стаціонарних та імпульсних установок КТС.

У першій половині XXI ст. існуюча в Україні ***єдина електроенергетична система (ЕЕС)***, яка діяла в межах колишнього СРСР, збережеться при істотній модернізації її електрообладнання і електроустановок.

Забезпечення високої керованості та "живучості" ЕЕС пов'язано зі спрощенням її конфігурації, шляхом поділу її на ізольовано функціонуючі секції, які з'єднуються одна із другою ***вставками постійного струму (ВПС)***. Ймовірно буде створена достатньо розгалужена мережа постійного струму, яка буде надбудована над мережею змінного струму 500, 750 і 1150 кВ.

Використання ***передач постійного струму*** (**ППС**) має ряд переваг над ***лініями електропередач*** (**ЛЕП**) змінного струму, а саме:

- можливість передачі великого обсягу електроенергії при несинхронній роботі ЕЕС;
- об'єднання ППС і ВПС, з метою ізольовано працюючих секцій;
- повна керованість і незалежність передавання по ППС потужності при різних режимах роботи мережі змінного струму;
- висока швидкодія регулювання потужності;
- висока керованість і підвищена "живучість" – невразливість ППС каскадному вимкненню при пошкодженні шунтуючих її ЛЕП.

Незважаючи на порівняно високу вартість випрямляючих та інверторних підстанцій, а також засобів селективної комутації, віддається перевага концепції створення єдиної надбудованої мережі постійного струму.

Крім традиційних ЛЕП потужністю 35, 110 і 330 кВ, залишаться міжсистемні ЛЕП (500, 750 і 1150 кВ). Хоча максимальна потужність передачі для повітряних ЛЕП зростає приблизно прямо пропорційно квадрату напруги, перехід на напругу більше ніж 1150 кВ спряжений зі значними технічними й економічними труднощами, а також з точки зору екологічних міркувань (забруднення електромагнітними полями).

Разом з тим, вважається можливим підвищення напруги повітряних ЛЕП змінного і постійного струмів приблизно до 2000 – 2500 кВ із пропускною спроможністю 15 – 20 ГВт, а також використання кабельних ліній напругою 1000 – 1500 кВ змінного струму і ± 750 кВ постійного струму, пропускною спроможністю 10 – 12 ГВт.

З екологічних міркувань малоймовірно підвищення одиничної потужності окремого блока електростанції вище 1,5 ГВт, електростанції у цілому – 6 ГВт, а пропускної спроможності міжсистемних зв'язків – 2 ГВт [37].

Буде подальше вдосконалення експлуатаційних властивостей ЄЕЕС за рахунок покращення динамічних характеристик генеруючого, акумулюючого і передавального електрообладнання, а також шляхом секціювання системи на окремі автономні блоки.

Другим напрямом є вдосконалення ***системи оперативно-диспетчерського керування*** (**СОДК**) на базі перспективних електронно-комп'ютерних систем, засобів передачі інформаційних даних, систем регулювання і протиаварійної автоматики.

Подальший розвиток передбачається для систем автоматичного регулювання частоти і перетікання потужності по міжсистемним зв'язкам, автоматизованих і автоматичних систем керування технологічними процесами (**АСКТП**) електростанцій, автоматизованих робочих місць технологів-програмістів (**АРМ**), систем діагностики обладнання мережі, єдиної автоматизованої мережі передачі інформації.

Актуальними проблемами функціонування ЕЕС України є такі:

- недостатня пропускна спроможність міжсистемних і системоутворюючих ЛЕП;
- неоптимальний розподіл потоків потужності по паралельним ЛЕП різного класу напруги;
- слабка керованість електричних мереж, як наслідок цього вплив реактивних опорів ліній і потужностей споживачів на стабільність значення та фази напруги в різних пунктах ЛЕП, а також підвищення до небезпечних значень рівнів напруги в мережах в періоди сезонного та добового зниження навантаження.

Керування потоками передаваємої потужності традиційно здійснювалося електромеханічними засобами, серед яких найбільше розповсюдження отримали:

- ***компенсатори реактивної потужності*** на основі ***синхронних електричних машин (СЕМ)***, які спроможні в певних межах генерувати та споживати реактивну потужність;
- трансформаторні регулятори напруги з послідовним включенням вихідних обмоток в ЛЕП, які забезпечують ступеневе регулювання вихідної напруги та компенсацію реактивної потужності;
- ***керувальні шунтуючі реактори з підмагнічуванням (КШР);*** пристрої компенсації на основі послідовного підключення в ЛЕП блоків конденсаторів і насищаємих реакторів;
- ***статичні тиристорні компенсатори (СТК)*** реактивної потужності, які складаються із батареї конденсаторів з паралельно підключеним реактором зі зустрічно - включеними тиристорами.

Упровадження вказаних пристроїв дозволило частково розв'язати проблему передачі енергії на змінному струмі. Але можливості ефективного керування потоками енергії, швидкої зміни або перекидання потоків із одного пункту в інший, виключення небезпечних коливань і знищення вищих гармонік струму в ЛЕП при роботі СТК та інше не можуть у повній мірі реалізовані на їх основі.

Надання енергосистемам нових можливостей у сфері забезпечення керованості та надійності енергопостачання споживачів може відбутися при практичному втіленні західної концепції "Flexible AC transmission systems **(FACTS)**" – ***"гнучкі системи електропередач змінного струму"***.

В основі концепції FACTS лежить використання досягнень силової електроніки, а саме модулів на основі електронних приладів GCT, IGCT, IGBT та ін., для ефективного керування потоками електроенергії в режимі реального часу, регулювання напруги та фазового кута між напругами шин, компенсації реактивного опору ЛЕП (збільшення її пропускної спроможності), переборювати коливання потужності та напруги, які виникають у перехідних процесах при дії різноманітних збурень.

Перевага FACTS-технології над традиційною у тому, що вона дозволяє за заданим законом автоматично формувати (на виході перетворювача) напруги заданої форми та рівня (*процес модуляції*), фільтрувати високочастотні складові струму, забезпечувати стійкість роботи енергосистеми в нормальних, аварійних і післяаварійних режимах.

Електромашинними аналогами FACTS є ***асинхронізовані компенсатори (АСК)***, які разом з асинхронізованими генераторами (турбо- або гідрогенераторами) забезпечують можливість здійснення векторного регулювання в енергосистемах. На відміну від FACTS-пристроїв вони мають відносно меншу швидкодію і ККД, але не створюють вищі гармоніки струму, які властиві статичним напівпровідниковим перетворювачам [9].

Перспективними напрямами автоматизації енергосистем є:

- розроблення та дослідження нових методів комплексного оптимального керування нормальними й аварійними режимами енергосистем на базі сучасної цифрової технології обробки та передачі інформації, у тому числі транскомп’ютерних засобів;
- створення на базі мікропроцесорної техніки інтегрованих АСУ ТП електростанцій і високовольтних підстанцій за умови комплексного розв'язання завдань управління, контролю і діагностики

електротехнічного обладнання в аварійних, післяаварійних і нормальних режимах роботи енергооб'єкта;

- розроблення принципів побудови розподілених ієрархічних систем протиаварійного управління енергосистемами на основі методів функціонального (кібернетичного) моделювання;
- розроблення та дослідження адаптивних алгоритмів керування режимами енергетичних агрегатів;
- широке використання інтелектуальних датчиків, модулів уводу/виводу децентралізованої інформації та обробка даних візуалізації і контролю в центральних диспетчерських пунктах потужними персональними комп'ютерами і локальними обчислювальними мережами;
- гнучкість і спромо<u>жн</u>ість до розширювання АСУ ТП новими лініями зв'язку та новими функціями;
- ієрархічно розподілена структура АСУ повинна розвиватися відповідно до піраміди завдань управління [25].

ЕЕС – єдина можлива основа планомірної та ефективної ***електрифікації*** країни. Випереджуваний розвиток електрифікації зумовлений безперервним розширенням використання в промисловості та побуті електротехнологій і електроенергії.

Потрібно виділити силові, електрофізичні, електрохімічні, електробіологічні технології. За дослідженнями вчених, ріст використання електроенергії в Україні повинен складати за рік: 4,23 % (2010 – 2020р.р.), 1% (2020 – 2030р.р.) і 0,5% (2030 – 2050р.р.). Вказане відповідає тенденції зниження темпів річного електроспоживання при збереженні його абсолютного зростання [36].

Разом з тим, енергетична стратегія України повинна забезпечити державний пріоритет ефективної економії електроенергії перед необмеженим збільшенням її генерування: необхідно переконати споживачів енергії у тому

факті, що ***негават*** (одиниця збереженої електроенергії) майже удвоє дешевше мегавата ! [54].

Об'єднання перспективних технологічних процесів ЕЕС і споживачів, об'єднаних у певну ізольовано функціонуючу *секцію,* вимагає адекватної зміни вихідної потужності генеруючого агрегату на зміну потужності споживача. Це можливо завдяки безпосередньому або опосередкованому ***акумулюванню енергії.***

Роль опосередкованих ***нагромаджувачів енергії (НЕН)*** відіграють ***гідроакумулюючі та повітряноакумулюючі електростанції*** (**ГАЕС** і **ПАЕС**). Позмінна робота ГАЕС або паралельна робота повітряного акумулятора і ГТУ має високу ефективність при змінах режимів роботи споживачів електроенергії (день-ніч), а також у випадках покривання пікової зони графіка навантаження ЕЕС і як аварійні джерела енергії.

Крім пружнодеформованих середовищ і гравістатичних акумуляторів енергії, можуть мати широке застосування теплові, ємнісні та індуктивні нагромаджувачі енергії [2;3;45].

Відносно недавнє відкриття високотемпературної надпровідності стимулювало роботи з конструювання ***надпровідникових індуктивних і супермаховичних НЕН*** для електростанцій а також енергосистем майбутнього. Використання таких надпотужних НЕН спільно з НТ і надпровідними струмопроводами й кабелями з високотемпературною надпровідністю дозволить не тільки наблизити значення ефективного ККД до граничної (теоретичної) відмітки, але й значно підвищити *коефіцієнт корисного використання* (ККВ) енергоресурсів, який є основним показником ефективності енергетичних установок і систем (сьогодні ККВ не досягає 42%).

Світова енергетика знаходиться зараз на першій фазі нового циклу свого розвитку – фазі обновлювання матеріальних фондів і технологічних процесів, впровадження на практиці плідних науково-технічних ідей з енергозбереження, подальше забезпечення зростання надійності енергопостачання від рівня

99,99% (2000 р.) до рівня 99,99999999 (2050 р.), забезпечення високої енергоекологічної ефективності виробництва та використання енергії.

Тим часом глобальна тенденція забруднення навколишнього середовища по мірі збільшення масштабів енергоспоживання (теплова енергетика, транспорт) і загроза "парникового ефекту", екологічні обмеження розвитку ядерної енергетики (теплове і радіоактивне забруднення) спонукає пошук ***нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ)***. У країнах Європейського Союзу передбачається істотне збільшення НВДЕ – з 6 % у 1996 році до 12 % у 2010 р. Німеччина планує до 2050 року довести використання НВДЕ до 50 % [54].

Перший кандидат на роль НВДЕ – це ***термоядерні установки***. Але поряд з фізико-технологічними проблемами, розвиток термоядерної енергетики обмежений: сумарне виробництво тепла термоядерними установками не повинно перевершувати 0,1 % від енергії, яка поповнює Землю за рахунок випромінювання Сонця.

Разом з тим, величезні потенційні ресурси практично невичерпних НВДЕ (сонячна, вітрова, хвильова, припливна, океанічних течій і температурних градієнтів, біомаси і т.п.) можуть забезпечити потреби людства в енергії.

Зараз використовується (без врахування дров, промислових і побутових відходів) менше 0,1 % технічного потенціалу НВДЕ, причому головним чином сонячна і геотермальна енергії.

Українською програмою НВДЕ передбачається забезпечення 8 – 10% економії традиційних паливно-енергетичних ресурсів у 2010 р.[54].

Відзначимо, що одинична потужність ***вітроелектростанцій*** досягла 1 – 4 МВт. Роль перетворювачів енергії відіграють, як правило, асинхронізовані генератори змінного струму.

Одинична потужність ***сонячних установок*** з накопичувачами, які використовують термодинамічні цикли перетворень енергії (теплова → механічна → електрична), близько 100 – 300 кВт. Вказані установки мають модульне виконання [14].

Широке використання НВДЕ затримується їх низькою економічною ефективністю (в першу чергу, за рахунок малої густини потоку енергії), великою капітало- і матеріалоємкістю технологій перетворення енергії, непостійності в часі потоку енергії, необхідності використання НЕН або дублювання потужності установок [37].

Створення в майбутньому економічних НЕН (наприклад, надпровідних кілець) приведе до того, що НВДЕ (насамперед, сонячна) стануть конкурентоспроможні з АЕС. Відновлювані джерела енергії дозволять в майбутньому створити безпечні та екологічно чисті електростанції.

2. Сучасний стан і перспективи розвитку електротехнічної промисловості

Пріоритетність розвитку базових галузей енергетики і машинобудування визначили високі темпи розвитку виробництва електротехнічної продукції (електрогенераторів, турбін, електродвигунів, електрообладнання, приладів контролю і діагностики тощо).

Перехід на системи автоматизованого й автоматичного проектування (**САПР**) дозволило створювати оригінальні та перспективні електротехнічні вироби, яким притаманні висока продуктивність, надійність, екологічна чистота.

У галузі ***електромашинобудування*** реалізується широкомасштабна програма вдосконалення вітчизняних електрогенераторів і електродвигунів. Діапазон потужностей традиційних електрогенераторів від 63 до 1000 МВт.

Для ГАЕС будуть випускатися генератори-двигуни потужністю 300-400 МВт. Проектуються повністю автоматизовані гідроагрегати для малих річок і мікро – ГЕС, які забезпечують ефективне освоєння невеликих водотоків з малими напорами води [37].

Широке застосування будуть мати НТ потужністю 300 МВт і вище. Високотемпературна надпровідність повинна зробити технічну революцію в генераторобудуванні. Результати випробування НТ потужністю 300 МВт, дали можливість спроектувати НТ потужністю 1200 МВт, який повинен з часом замінити традиційні турбогенератори, потужність яких обмежена значенням 3000 МВт.

Остання закономірність відповідає ***принципу обмеженого розвитку***: розвиток головних параметрів технічної системи в межах однієї стадії моделюється S-функцією, зростання якої по осі ординат обмежене границею, яка регламентує теоретичні можливості реалізуємого методу, який покладений в основу створення даної технічної системи [29].

Очевидну перспективу має виробництво МГД - установок, які реалізують комбінований цикл генерування електроенергії. Одержать розвиток традиційні МГД - установки з луговою іонізуючою присадкою, та МГД - генератори, які використовують ефект Т-шару.

Суттєве підвищення ефективності та покращення техніко-економічних показників МГД - установок пов'язано з розробкою та виробництвом надпровідникових магнітних систем.

Зазначимо, що завдання технології сьогодення і майбутнього – це збільшення надійності й економічності турбогенераторів. Насамперед, це:

- зменшення матеріалоємкості (питомої маси машин, кг/кВт);
- збільшення одиничної потужності генеруючого обладнання, пов'язаного з підвищенням напруги;
- збільшення коефіцієнта потужності і ККД;
- збільшення середнього коефіцієнта готовності турбогенераторів;
- забезпечення необхідної надійності;
- зниження втрат енергії в машині, покращення її експлуатаційних характеристик і показників;
- зниження матеріальних і трудових витрат на виготовлення машин в розрахунку на одиницю корисного ефекту і при збереженні їх споживчих властивостей.

Основними перетворювачами електричної енергії в механічну (енергію руху) є ***електродвигуни (ЕД)***.

Масові серії ***асинхронних електродвигунів (АД)*** змінюються кожні 8 – 10 років. При цьому впроваджуються нові єдині серії АД. Основний шлях впровадження нової серії АД – уніфікація конструкції та технології виготовлення на різних заводах.

Зазначимо, що в останні десятиріччя в електротехнічній промисловості здійснювались заходи по зниженню матеріалоємності АД, використанню сучасних прогресивних конструкційних, активних і електроізоляційних матеріалів, зростанню *якості виробів* (збільшення класу їх точності аж до

прецизійної, глибокій уніфікації всіх виробів і покращення їх експлуатаційної технологічності).

Як показано в роботі [29], безперервний прогресивний розвиток головних параметрів технічних систем описується неспадною ступеневою функцією часу (***принцип дискретності та поступальності*** процесу розвитку техніки і технології).

Вказаний принцип припускає постійне зростання ступеня цілеспрямованості використовуємих технологічних процесів. Прикладом може служить динаміка розвитку АД з висотою осі обертання Н 90 мм (табл.1).

Таблиця 1

Динаміка розвитку АД

Серія АД	Рік розробки	Потужність, кВт	Питома маса, кг/кВт	ККД, %	cos φ
АО	1949	0,4	22,5	70,0	0,76
АО 2	1962	0,8	15,0	73,5	0,78
Д	1965	1,5	14,0	80,0	0,83
4А	1971	2,2	10,0	80,5	0,84
АІ	1981	2,2	7,0	82,0	0,86
5А	1995	2,2	6,7	83,0	0,87
"Siemens"	2001	2,2	6,3	85,0	0,89

У теперішній час спостерігаються такі ***тенденції в проектуванні та технології виготовлення електричних машин*** (**ЕМ**):

- поліпшення конструкції магнітних систем, обмоток і систем охолодження з метою зниження маси, габаритних розмірів машин і втрат енергії в них;
- зниження рівня шуму до регламентованих норм (МЕК IEC 60034-9 редакція 10-20003 року);

- підвищення надійності та довговічності ЕМ шляхом покращення якості ізоляції класу нагрівостійкості F (155^0 С) при фактичних температурах, які відповідають ізоляції класу В;
- впровадження більш досконалої технології обмоточно-ізолювальних робіт;
- створення нових схем електроприводу, які поєднують у собі АД з напівпровідниковими регуляторами і перетворювачами для підвищення надійності та енергетичних показників;
- розширення сфери використання синхронних ЕМ і машин постійного струму, які побудовані на потужних і стабільних постійних магнітах;
- істотне зниження рівня шуму АД нових серій, наближення їх до регламентуємих норм МЕК IEC 60034-9 (редакція 10-2003р.);
- підвищення ***енергоефективності*** (збільшення відповідно до Євронорм СЕМЕР рівня ККД і коефіцієнта потужності cos φ);
- покращення зовнішнього вигляду (удосконалювання дизайну);
- підвищення зручності монтажу й експлуатації;
- розробка більш досконалих технологічних конструкцій машин малої та середньої потужності та мікромашин, які пристосовані для масового і серійного виробництва;
- перехід на АД великої потужності з надпровідниковими високотемпературними обмотками, які працюють на рідкому азоті та мають безконтактні або надпровідникові підшипники;
- удосконалення методів оптимізаційних розрахунків ЕМ на основі САПР;
- подальший розвиток багатокоординатних крокових двигунів, АД з масивним, порожнистим, гнучким і катаючим роторами, а також двигунів з довільним переміщенням рухомого елемента;

– вдосконалення лінійних, дугових, ємнісних, імпульсних, параметричних двигунів, а також двигунів з використанням п’єзоефекту і магнітострикції;

Заслуговує уваги реалізація принципово нових технологій виробництва ЕМ, а саме [20]:

– технології кульових напівпровідників, волоконної оптики, електролітичного нарощування деталів потрібної форми, виготовлення деталів і вузлів із сплавів із запам’ятанням форми;

Спостерігається ***універсалізація стандартних*** АД, що досягається [28;32;42;56]:

– високим ступенем захисту (не нижче IP 55 за IEC 60034 -5);
– пусковими характеристиками, які відповідають вимогам МЕК IEC 60034-12;
– забезпеченням тривалої роботи при коливаннях напруги мережі до ± 10% $U_н$;
– наявністю сервіс-фактора, що дозволяє використовувати двигун при температурі зовнішнього середовища до 50^0 С без зниження потужності.

Розглянемо додаткові вимоги для проектування АД [28;32].

Євронорми СЕМЕР для двох - і чотириполюсних двигунів потужністю від 1,1 до 90 кВт передбачають три рівні ККД: нормальний (**EFF3**), підвищений (**EFF2**) і високий (**EFF1**). Нормальний рівень має значення ККД нижче рівня EFF2. Наприклад, для потужності 2,2 кВт високий і підвищений рівні мають відповідно значення 85,6 і 81%.

Рівень шуму АД, який характеризується значеннями звукової потужності або звукового тиску, регламентується нормами МЕК. Ці норми істотно переважають досягнуті на практиці рівні та не відповідають сучасним вимогам споживачів. Наприклад, для АД висотою осі обертання 90 мм рівні звукового тиску для двох - і чотирьохполюсних АД такі: 61 і 50 дБ (А).

Доведення рівнів шуму АД нових серій може бути досягнутий оптимізацією вентиляційних і підшипникових вузлів, зменшенням нерівномірності повітряного проміжку, якісним складанням осердь і двигуна в цілому.

АД нової серії повинні мати встановлювальні розміри (**S**, L і **M**), які відповідають Євронормам CENELEK. Їх температурний запас повинен бути не менше, ніж 20^0 С, тобто мати перевищення температури обмоток, які відповідають класу нагрівостійкості **B** при використанні ізоляції класу нагрівостійкості **F**. За функціональним дизайном та зовнішнім виглядом двигуни не повинні поступатися кращим закордонним аналогам.

Як відомо, більш 60% різноманітних механізмів, які функціонують на нашій планеті, використовують асинхронні електродвигуни (АД), які споживають майже 30 % всієї електроенергії, що виробляється у світі.

Використання комплектних ***частотно-регульованих електроприводів*** **(ЧРЕП)** дозволяє істотно зменшити питомі витрати електроенергії (реально економити електроенергію), а також оптимізувати роботу АД. Використання ЧРЕП діапазону потужностей від 0,75 до 160 кВт дозволяє змінювати частоту живлення від 0 до 300 Гц та змінювати частоту обертання ротора в широких межах, при цьому для висоти $H \leq 225$ мм, $ю_{max} = 4500$ об/хв і для $H \geq 250$ мм, $ю_{max} = 3600$ об/хв [10].

Вказані АД повинні мати спеціальне конструктивне виконання, зокрема мати ступінь захисту, який відповідає кліматичному виконанню, але не нижче IP44. Двигун для ЧРЕП, як правило, має вмонтований в обмотку статора датчик температурного захисту з температурою спрацювання 145^0 С.

Двигуни малої потужності ($P \leq 18$ кВт, $H \leq 160$ мм) становлять біля 60% всього парку АД у світі. Хоча кардинальних змін конструкції даних АД не прогнозується (практично досягнуті межі електромагнітних навантажень і питомі витрати активних матеріалів), але є певний резерв для покращення пускових, енергомеханічних і надійнісних параметрів.

Одним із напрямів удосконалення АД малої потужності та покращення їх технічних характеристик є заміна алюмінієвої короткозамкненої обмотки ротора на відлиту мідну з пусковим шаром у верхній частині анізотропного стрижня. Пусковий шар виконується із спеціального мідного сплаву високої електропровідності (27-34 МСм/м) та висотою, яка відповідає глибині проникнення струму в стрижень при пуску. Як результат, покращуються такі енергомеханічні характеристики АД, як ККД, коефіцієнт потужності (cos ц), перевантажувальна здатність і надійність [52].

Окрім дослідно-конструкторських розробок ЕМ, на які є патенти або know-how, що використовують нові фізичні явища (наприклад, високотемпературну надпровідність) та технічні рішення, прогресивним напрямом їх удосконалення вважається перехід на ***інноваційні виробничі технології*** .

На відміну від загального машинобудування, де кожна наступна виробнича операція покращує якість виробу (знижується похибка обробки, підвищується механічна міцність при термообробці, покращується якість поверхні і т. ін.).

В ***електромашинобудуванні*** технологічні процеси складаються із багатоопераційних циклів, в яких наступні виробничі операції підсилюють негативний вплив попередніх, знижуючи у цілому якість готової ***електричної машини*** **(ЕМ).**

Наприклад, при штампуванні погіршуються властивості електротехнічної сталі (зростають питомі втрати, знижується магнітна індукція), які при відпалюванні відновлюються і знову погіршуються при складанні та механічній обробці шихтованого осердя магнітопроводу.

Таким чином, традиційні ***штампувально-шихтувальні операції*** не можуть гарантувати високу якість і надійність ЕМ, зокрема асинхронних, призводячи до негативних технологічних і економічних наслідків [23]:

- відхилення поздовжніх і поперечних розмірів осердь і пазів статора і ротора ЕМ від стандартних значень, які виникають при шихтуванні, запресовуванні, складанні та скріпленні;

- утворення зони крайового наклепу уздовж лінії розрізу й істотне зниження магнітної індукції в зубцях статора від 3 до 13 % в процесі штампування листів осердя магнітопроводу (в ЕМ традиційної конструкції більше половини активного простору зубцово--пазової зони не приймає участь в електромеханічному перетворенні електроенергії);
- непоправні величезні технологічні втрати електротехнічної сталі (40-50%) при штампуванні листів із циліндричною розточкою статора;
- утворення в обмотках ЕМ відкритих і прихованих точкових пошкоджень проводу та ізоляції внаслідок деформації провідників при їх закладенні в стальний паз і т.д.

Більшість патентів на ЕМ традиційної форми з суцільно-пресованими і шихтовочно-пресованими магнітопроводами орієнтовані на додержання типорозмірів геометрії зубчасто-пазових зон і алгоритмів виготовлення обмоток.

Таким чином, вплив традиційного циклу штампувально-шихтувальних операцій на властивості ЕМ за технічними й економічними наслідками не може гарантувати їх високу якість та надійність.

Недостатня надійність ЕМ визначається якістю технологічного обладнання та інтенсивністю технологічних процесів, властивостями ізоляційних матеріалів, значенням випробувальних навантажень і т. ін.

Утворення в обмотці відкритих точкових пошкоджень і дефектного поля в ізоляції (мікротріщини, вм'ятини, розриви суцільності тощо) визначає ***відкладену аварійність,*** яка збільшується при порушенні правил технічної експлуатації (ПТЕ) та відхиленні від норм кліматичних умов (температури, вологості і т.д.).

Наприклад, більше 40% електродвигунів виходять із ладу при домінуючому пошкодженні обмотки статора. Відмови АМ відбувалися, в основному, через пошкодження обмоток статора (80 – 85%), в тому числі від

міжвиткового пробою ізоляції – 93% (відмови машин постійного струму через пошкодження обмотки не перевищують 20-28%).

Інтенсивність відмови функціонування електродвигунів у 170 –190 разів перевищують інтенсивність відмови виробів машинобудування [23]. Це обумовлює необхідність впровадження в практику електромашинобудування принципово нових фізичних явищ, концептуальних рішень технології виробництва ЕМ, кардинальних змін конструктивного виконання електродвигунів.

Необхідно впроваджувати технічне переозброєння та реорганізацію діючих виробництв, їх потужне науково-технічне супроводження.

Обробка різанням продовжує залишатися однією з основних технологічних операцій при виготовленні ЕМ. Сьогодні переважають такі ***тенденції розвитку технологій виробництва ЕМ*** [23;28;32]:

1. ***Високошвидкісна обробка різанням*** на станках типу "обробляючий центр" при виготовленні всіх основних деталей і вузлів ЕМ: точіння, фрезування, нарізання різі, шліфування та інші операції. Технологічне обладнання прилаштовано пристроями автоматичної оптимізації швидкості, точності обробки, витрат інструментів, дистанційної діагностики несправностей та інших параметрів.

Високошвидкісна обробка характеризується таким:

- меншими силами різання й опорів деформації, що дозволяє підвищити точність обробки;
- зменшується температурний вплив на деталь в результаті швидкого відводу тепла зі сталевою стружкою;
- покращується шорсткість поверхні, що при фрезуванні замінює абразивну обробку;
- підвищує продуктивність обробки за рахунок вказаних технологічних можливостей.

2. ***Технологія отримання точних заготовок і готових виробів*** на вирубних пресах з числовим програмним керуванням (ЧПК)

багатоінструментальними головками, струминним і лазерним різанням, складним гнуттям та ін. Із системою ЧПК повинна бути адаптована система активного контролю над станом інструмента, деталі, пристрою в процесі роботи обладнання з використанням ультразвуку, лазерів та інших інженерних рішень.

3. ***Гнучка технологія*** відливання корпусних деталей електродвигуна з використанням чавунів з кулястим і вермикулярним графітом, замість сірого чавуну. Результатом є зниження матеріалоємності й енергоресурсів, збільшення міцності корпусів електродвигунів.
4. Спосіб ***відливання*** корпусних алюмінієвих деталей і роторів під середнім питомим тиском на спеціалізованих машинах.
5. Спосіб отримання станин електродвигунів ***екструзією***.
6. Технологія пресування виробів із металопорошків, синтетичних і полімерних матеріалів.
7. Технологія пластичної деформації способом накатування, обкочування та калібрування.
8. Технологія виготовлення ЕМ традиційної форми з витим осердям магнітопроводів, а також з автономними гофрувальними стрічковими магніпроводами та витими "на ребро" ярмами.
9. Технологія виготовлення ЕМ з маловідходним магнітопроводом і активним розподіленим шаром, який складається із обмотувально-магнітопровідних модулів. Роль зубців виконують численні феромагнітні пластини, між якими покладена рядова обмотка.
10. У ***виробництві осердь*** основні технологічні інновації стосуються зниження матеріальних витрат, що пов'язано з низьким коефіцієнтом використання електротехнічної сталі (обумовленого специфікою конструкції осердь).
11. У ***технології обмотування*** основні напрями пошуку – нові електроізоляційні матеріали, перехід від ручної праці до механізованої й автоматизованої, надійність і довговічність електродвигунів.

12. Перехід від традиційного рідкого антикорозійного покриття до передової технології ***порошкового статичного напилення***. Основні переваги сухого полімерного покриття є корозійна й хімічна стійкість, зокрема до стирання й утворення подряпин, ударна міцність й еластичність, відсутність вогненебезпечних й токсичних розчинників, відмінний декоративний зовнішній вигляд.

Надійність роботи ЕМ істотно залежить від якості ***електроізоляційних матеріалів***. Властивості ізоляційних матеріалів (механічна міцність, термічна стійкість, стійкість проти старіння і т. ін.) залежать від властивостей вихідних матеріалів, їх сумісності, рівня технологічного забезпечення, виконавчої дисципліни й якості контролю за дотриманням технологічних процесів.

Зараз спостерігається тенденція до ***підвищення класу нагрівостійкості***, зменшення сумарної товщини ізоляції (між мідною або алюмінієвою обмоткою і стінкою паза) і, відповідно, зростання коефіцієнта заповнення паза. Для статорних обмоток ЕМ використання замість системи ізоляції класу нагрівостійкості **F** (155 ^{0}C) ізоляційних систем класів **H** (180^{0}C) і **C** (200^{0}C) дозволяє підвищити значення лінійного струмового навантаження й питомої потужності електродвигунів на 18 і 23% відповідно [6].

Проте зменшення сумарної товщини ізоляції обмоток ЕМ до певної межі, обумовленої механічною і електричною міцністю, хоча і сприяє покращенню умов тепловіддачі, але й спричиняє підвищення напруженості електричного поля, що вимагає більш високої електричної міцності ізоляції.

Створення монолітних структур систем ізоляції з мінімальним газовими (повітряними) прошарками й однорідними електроміцнісними властивостями збільшить стійкість до впливу вологості, зменшить імовірність утворення часткових електричних розрядів у внутрішньому об’ємі системи, що є основною причиною її електричного старіння.

Очевидно, що підвищення робочої напруги ЕМ до 4кВ (тягові електродвигуни) спричиняє підвищення температури обмоток до 200-220^{0}C, а це вимагає використання короностійких ізоляцій.

Огляд літератури [6;33;34] показує, до перспективних матеріалів, зокрема, відносяться: слюдяний папір, слюдопластові стрічки, слюдонітові стрічки, які просочені епоксидноволочними смолами тощо.

Наприклад, слюдомісткі стрічки товщиною 0,08 – 0,13 мм і попередньо просочені у компаундах вакуум-нагнітальним способом, мають електричну міцність 25 – 30кВ/мм, коефіцієнт теплопровідності приблизно 0,25 Вт/(м.град.), відсотковий вміст зв'язувальної речовини та слюдяного паперу відповідно 35 – 40% і 48%, питоме руйнівне навантаження при розтяганні не менше 150Н/см.

Холдінгова компанія "Елінар" (Росія) розробила нову ізоляційну стрічку для ізоляції обмотувальних проводів марки "Елмікафол", яка складається із слюдяного паперу на основі кальцинованого мусковіту, просоченого модифікованим епоксидним зв'язувальним і поліефірної плівки як підкладки.

Фірма "Дюпон де немур" пропонує високонагрівостійку систему ізоляції для тягових ЕМ на основі непросочених електроізоляційних стрічок з плівкою Kapton FCR сумісно з кремнійорганічними просочувальними речовинами. Поліімідслюдовмістовні матеріали, просочені в кремнійорганічному компаунді, використовуються для виготовлення ізоляції тягових електродвигунів на робочу напругу до 4кВ включно та нагрівостійкості до 220^0С.

Система ізоляції типу "Мікадур + " (Японія) на основі нових прогресивних високотеплопровідних полімерних матеріалів дала можливість підвищити потужність турбогенератора на 10 – 15% без будь-яких змін у самій обмотці Потужності турбогенераторів з непрямим повітряним / водневим охолодженням відповідно рівні 400/600МВ ·А.

Покращення техніко-економічних характеристик ***силових трансформаторів*** (**СТ**) базується на розробці та впровадженню:

- нових марок сталі (3406,3407,3408), які мають відносно низькі втрати енергії та високий рівень анізотропії;
- проводів обмотувальних, зміцнених мідним сплавом марки ПБС, а також алюмінієвих емальпроводів;

- нових обмоток високої напруги без проміжних ємнісних кілець;
- нових просторових конструкцій витих або плоскошихтованих магнітних систем;
- магнітних систем з аморфних феромагнетиків, які забезпечують зниження питомих втрат енергії на 25 – 30% від втрат у звичайній сталі [7];
- нагрівостійкого електрокартону БНТ та інших марок “жорсткого” електрокартону;
- ізоляційного матеріалу типу препрег ППМ-40, а також закріпного паперу ЕКТМ-70;
- стійкої до старіння і низьких температур ущільнювальної гуми типу УМ;
- нових трансформаторних масел з підвищеною термоокисною стабільністю, наприклад, марки ГК;
- перехід на нетоксичні та пожежобезпечні рідкі діелектрики і, насамперед, на синтетичні кремнійорганічні рідини, які добре охолоджують обмотки і мають властивості самогасіння;
- використання елегазу, як ізолюючого середовища в СТ;
- грозоупорних пристроїв РПН на тиристорах;
- засобів виміру напруг до 1150 кВ.

У галузі ***технології виробництва СТ*** передбачається:

- широке впровадження систем автоматизованого проектування (САПР) на рівнях розрахункової, графічної та інформаційно-пошукової підсистем;
- перехід на міжнародні стандартизовані технічні вимоги до виготовлення головних складальних одиниць обмоток силових трансформаторів, остовів, металоконструкцій;
- впровадження нових технологій ізолювання обмотувальних проводів, які забезпечують високу електричну міцність їх ізоляції;

- впровадження високоефективних технологічних схем шихтування магнітних систем з косими стиками пластин, або “пластина в пластину”;
- створення засобів технологічного оснащення напівавтоматичного та автоматичного поперечного розкрою листів електротехнічної сталі та складання остовів.

Поряд з вдосконаленням сучасних СТ серій ОСЗМ, ОСМ, ТСЗМ, ТЦНП, ТРДТП класу напруги 6, 10,35 і 110 кВ з РПН, а також реакторів типів РОС, РЕДСОМ, будуть впроваджуватися трифазні автотрансформатори 500/220 кВ потужністю 500 МВА.

Намічається покращення характеристик і поновлення номенклатури трансформаторів 220 – 750 кВ. Розроблена й освоєна серія комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Серійний випуск на “Запорожтрансформаторі” першого в світі однофазного двохобмоткового трансформатора ОРДЦ-417000/1150 на напругу 1150 кВ, а також впровадження його в енергосистему дозволить одержати економічний ефект більше 2,3 млн. гр. від однієї групи (3 одиниці) трансформаторів за рахунок відмови від подвійної трансформації потужності.

Технологія виготовлення силових трансформаторів передбачає:

- використання робототехніки та гнучких переналагоджувальних комплексів (**ГПК**);
- автоматизацію процесів намотки обмоток СТ великої потужності;
- роботизацію штамповочного, механообробного, фарбувального, зварювального і гальванічного виробництва.

У галузі ***електроапаратобудування*** передбачається вдосконалення і модернізація ***електричних апаратів низької напруги*** [37;43]:

- нових серій магнітних пускачів типу ПМ, 3TF, LC тощо;
- тиристорних пускачів (безконтактних реверсивних і нереверсивних) типів ПБР і ПБН, а також ПБМ (з мікропроцесорним керуванням);

- електромагнітних та напівпровідникових реле (проміжно-вказівних, максимального струму, захисту і комутації, контролю напруги, захисту від обривання фази тощо);
- герконових реле і фотореле;
- мікропроцесорних реле (теплових, часу, багатофункціональних тощо);
- напівпровідникових функціональних елементів;
- контакторів;
- автоматичних вимикачів;
- пакетних і дистанційних перемикачів;
- мікропроцесорних апаратів керування;
- апаратів захисту мережі;
- контактних і безконтактних датчиків неелектричних величин;
- пристроїв захисного відключення (ПЗВ);
- перетворювачів змінного струму в постійний на базі інтелектуальних силових інтегральних схем;
- багатофункціональних апаратів, які об'єднують у собі функції комутації, захисту від струмів КЗ, часово-струмове обмеження та інші логічні функції.

Основні тенденції розвитку низьковольтних апаратів [1;8;19;21]:

- створення апаратів за модульним принципом побудови з легко змінними модулями, субмодулями, блоками;
- *використання мікропроцесорної техніки*, яка забезпечує і поєднує у собі як основні функції (увімкнення, реверс, вимкнення, захист від перевантажень, зниження напруги і струмів КЗ), так і додаткові функції – діагностика, автоматика, контроль кіл і модулів, захист людини від ураження електричним струмом (суміщаються функції контактора, пускача, автоматичного вимикача, реле);

- зменшення масогабаритних показників апаратів за рахунок використання інтегральної технології й елементної бази мікроелектронної техніки;
- перехід від жорстко програмованих пристроїв до гнучко програмуємих структур на базі високоінтегрованих мікропроцесорних модулів й інтелектуальних підсистем дозволяє створити ***адаптивні системи цифрового керування*** перетворювачами енергії й інформації (***мікроконтролери***), які забезпечують автоматичний захист мережі, підвищену швидкодію, зміну діапазону робочих напруг, збільшення кратності відключаємих струмів, можливість зміни уставки відключаємих струмів;
- стійкість до впливу зовнішніх факторів середовища (вібростійкість, температурна компенсація, вологостійкість тощо), можливість дистанційного керування, збільшення комутаційної потужності, показників надійності, комутаційної та механічної зносостійкості, підвищення напрацювання на відмову та терміну збереження;
- розширення шкали комутацій струмів до 1000 А;
- розроблення ***вакуумних контакторів*** низької напруги та ***вакуумних автоматичних вимикачів***;
- перехід від контактних до ***безконтактних пускачів*** (тиристорних і з мікропроцесорним керуванням), що забезпечує високу надійність (більше ніж в 50 разів), зменшує експлуатаційні витрати (не менше ніж в 5 разів), високу частоту увімкнень і розширення технологічних функцій;
- удосконалення засобів захисту ЕМ від перевантаження, зокрема терморезисторів, температурно-струмових реле, термобіметалевих реле (термодетекторів).

Науково-технічні та дослідно-конструкторські роботи по створенню високовольтного електротехнічного обладнання направлені на зменшення масогабаритних параметрів і трудомісткості виготовлення обладнання,

зниження втрат електроенергії в обладнанні й експлуатаційних витрат, підвищення надійності та ресурсів роботи обладнання.

Декомпозиція вказаних основних завдань дозволяє виділити ***основні тенденції розвитку високовольтного електротехнічного обладнання*** :

1. **У галузі трансформаторобудування** [27]:

- використання трансформаторів з високотемпературною надпровідністю, що дозволяє знизити навантажувальні втрати на 80-90%, зменшити масу на 20 – 30%, ефективно обмежувати струми КЗ;
- впровадження трансформаторів з обмотками із високовольтного кабеля з поліетиленовою ізоляцією.

2. **У галузі високовольтного електротехнічного обладнання** [4; 22; 27]:

- для високовольтних підстанцій перспективно використання ***комплектних розподільних пристроїв з елегазовою ізоляцією (КРПЕ) й елегазових вимикачів (ЕВ)*** на діапазон напруги від 110 до 1150 кВ (струми відключення вимикачів до 63 кА, номінальні струми до 8 кА);
- вдосконалення КРПЕ шляхом об'єднання функцій вимикача, роз'єднувача та заземлювача в одному модулі, який за габаритами та матеріаломісткістю менше, ніж сумарні за об'ємом початкові вироби;
- заміна морально та фізично застарілих повітряних і масляних вимикачів на апарати з використанням як ізоляційного й дугогасильного середовища-*вакууму* або газоподібного шестифтористого середовища – *елегазу*;
- за умови частих комутацій, високого комутаційного ресурсу (40000-50000 операцій) і терміна служби (біля 25 років) раціонально використовувати та вдосконалювати ***вакуумні вимикачі***, які характеризуються: максимальними значеннями електричної міцності проміжків (при їх довжинах до 10 – 15 мм);
- максимальною швидкістю відновлення електричної міцності міжконтактного проміжку при вимкненні струмів;

- високою швидкодією, обумовленою малою масою контактів та їх малим ходом;
- відсутністю спеціального дугогасного середовища, яке вимагає заміни;
- широким діапазоном робочих температур (від -70^0 С до + 200^0С);
- відносно менш потужними приводами;
- повною вибухо- і пожежобезпекою, відсутністю викидання продуктів горіння дуги в зовнішнє середовище;
- мінімальними габаритами та масою апарат в цілому.

У колах електродвигунів обмеженої потужності при порівняно невеликих довжинах з'єднувальних кабелів, як вимикачі навантаження (у тому числі у складі КРПЕ), перевага надається ***елегазовим вимикачам,*** яким притаманні:

- компактність;
- повна пожежо - і вибухобезпечність, а також підвищена безпечність обслуговування;
- широкий діапазон номінальних напруг (від 6 до 1150 кВ);
- висока надійність і зносостійкість, яка забезпечує термін служби вимикача до 10 років при мінімальних експлуатаційних затратах;
- мінімальні (майже відсутні) перенапруги при комутації, що полегшує роботу ізоляції іншого енергетичного обладнання;
- можливість відключення великих ємнісних струмів;
- висока електрична міцність елегазу, яка забезпечує потрібну ступінь ізоляції при мінімальних відстанях й оптимальні умови гасіння дуги, що дозволяє мати високу вимикальну здатність вимикачів (при атмосферному тиску електрична міцність елегазу в 3 рази вища, ніж у повітря, а при тиску елегазу 0,3 – 0,4 МПа його електрична міцність вища, ніж у трансформаторного масла);
- висока вимикальна здатність, яка при однакових умовах на два порядку вища, ніж у повітряних вимикачів.

Таким чином, розвиток апаратів розподільних пристроїв (РП) високої напруги прогнозується в таких напрямах:

- вдосконалення КРПЕ й *елегазових вимикачів* для відкритих РП на класи напруг 110, 220, 330, 500, 750 і 1150 кВ, а також *вакуумних вимикачів* на напруги 6 – 35 кВ (з деякою часткою елегазових вимикачів і КРПЕ);
- розробка вимикачів з синхронним увімкненням (синхронізованих керованих вимикачів);
- збільшення надійності при комутації;
- зниження енергії приводів на одиницю розривної потужності;
- вдосконалення КРПЕ шляхом об'єднання функцій декількох апаратів в одному;
- використання тиристорної технології для комунітаційних апаратів (***тиристорних модулів***);
- перехід на практичне використання надпровідників в комутаційній високовольтній техніці за умови істотного зниження вартості надпровідників;
- інтеграція керування діагностикою комутаційного обладнання у схему підстанції;
- розробка цифрових систем керування, діагностики та моніторингу апаратів, а також систем і методів прогнозування строку служби комутаційного обладнання.

Останнє досягається таким чином:

- впровадженням в мережах електропостачання нових конструкцій синхронних компенсаторів і статичних джерел реактивної потужності;
- проектування та впровадження апаратів з рідкометалевими контактами;
- вдосконалення обмежувачів перенапруг, які призначені для забезпечення надійного захисту ізоляції електрообладнання

підстанцій і промислових підприємств від грозових і комутаційних перенапруг в повітряних ЛЕП і кабельних мережах.

3. ***У сфері автоматизації електроенергетичних систем*** важливе місце займають науково-технічні й дослідно-конструкторські роботи по створенню ***автоматичного регулювання*** для різноманітних видів енергетичного обладнання і керування режимами електроенергетичних систем. При цьому належить виділити такі перспективні напрями [25]:

- впровадження системи забезпечення стійкості енергосистеми – багаторівневої ***ієрархічної системи протиаварійної автоматики*** *(БІСПА)*;
- оптимальне керування нормальними й аварійними режимами роботи енергосистем України на базі сучасної цифрової технології обробки та передачі інформації, у тому числі серверних і транскомп'ютерних засобів;
- створення на базі мікропроцесорної техніки інтегрованих ***автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП)*** електростанцій (електрична частина) та високовольтних підстанцій;
- розроблення *верхнього рівня АСК ТП* електростанцій (теплових, гідроенергетичних, атомних).

До розроблення ***верхнього рівня АСК ТП*** електростанцій входять:

- підсистеми групового регулювання активної потужності та напруги;
- вибір складу працюючих агрегатів;
- підсистема протиаварійної автоматики;
- підсистема подання інформації оперативному персоналу на базі графічних SCADA систем;
- підсистема реєстрації й аналізу аварійних режимів на базі потужних персональних комп'ютерів (серверів) і локальної обчислювальної мережі Ethernet;
- підсистема обліку електроенергії.

До розроблення ***нижнього рівня АСК ТП енергоблоку*** входять:

- автоматичний мікропроцесорний регулятор збудження сильної дії для синхронного генератора;
- мікропроцесорна система керування потужністю турбогенератора та регулювання частоти обертання індуктора;
- підсистема технологічної автоматики на базі швидкодіючих мікроконтролерів;
- підсистема збирання й обробки інформації;
- підсистема контролю та технічної діагностики агрегату на базі інтелектуальних (мікропроцесорних) датчиків;
- підсистема реєстрації параметрів аварійних режимів агрегату;
- пристрій протиаварійної автоматики.

У сфері світлотехнічних виробів спостерігаються такі тенденції світового розвитку [21;56]:

- створення енергоекономічних компактних ***люмінесцентних ламп*** (зокрема, з люмінофором на рідкісноземельних елементах) й ***електронних пускорегулюючих апаратів*** з метою заміни в освітлювальних приладах традиційних малоефективних ламп розжарювання;
- створення світлотехнічних приладів для зовнішнього освітлення на базі високоефективних, енергоекономічних ***короткодугових металогалогенних ламп***;
- розроблення екологічно чистих безртутних джерел світла за рахунок використання розрядів в інертних газах;
- створення принципово нових безелектродних ламп з високочастотною (ВЧ) або надвисокочастотною накачкою, а саме ВЧ - газорозрядних ламп з люмінофором і НВЧ - газорозрядних сірчаних ламп;
- розроблення світлових приладів з підвищеною ударно - і вібростійкістю, з гранично високим терміном служби на основі сучасних ***світлодіодів***;

– підвищення світлової ефективності світлотехнічних виробів порівняно з досягнутим рівнем (до 3 – 5 разів), довговічності (в 5 – 10 разів), екологічної безпеки, а також зниження енергоспоживання (в 4 – 5 разів);
– створення нової електронної пускорегулювальної апаратури для світлотехнічних виробів на основі модульного принципу побудови та багатофункціональних (зокрема, мікропроцесорних) можливостей.

У ***кабельній промисловості*** спостерігається тенденція переходу від виробництва голих проводів повітряних ЛЕП 6 – 20кВ на ізольовані проводи, які можна підвішувати на дерева.

Фазові проводи мають ізоляцію із зшитого поліетилену з добавками спланів. Достоїнства цих проводів – висока електробезпека [40].

Традиційні силові кабелі на робочу напругу до 35кВ з просоченою паперовою ізоляцією будуть замінятися на кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилена (полімерна ізоляція).

Щодо ***високовольтних кабелів***, то перспектива за виробництвом пожежостійких кабелів, ізоляція яких складається із полімерних композицій, які не мають галогенів і тому характеризуються зниженим газодимовиділенням.

Безперечно, будуть вдосконалюватися кабелі на основі полівінілхлоридних пластикатів, які мають підвищену стійкість до розповсюдження горіння ізоляції [30; 40].

Розвиток ***систем зв'язку*** в енергосистемах раціонально забезпечувати ***волокнооптичними кабелями (ВК)***, які мають достатню перешкодо-і секретозахищеність.

На сьогодні розроблені ВК, які забезпечують швидкість передачі інформації не менше 1,6Тбіт/сек при 120 каналах на пару волокон [43].

У світі експлуатується приблизно 14млрд. електричних двигунів (ЕД) і не менше 1,5млрд.шт. ***електроприводів (ЕП)***, тобто десята частина всіх ЕП регулюється [26].

У загальному випадку ЕП складається із ЕД, перетворювального, передавального і керуючого пристроїв. Більше 60% енергії, вироблюваної у розвинутих країнах, споживається електроприводами [44].

Традиційно ЕП орієнтований на ЕД постійного струму. Його вдосконалення убачається в напряму переходу на багатоходові обмотки якорів з шихтованими станинами та зниженою кількістю полюсів, при використанні більш досконалих ізоляційних матеріалів і систем охолодження. Це дозволяє збільшити потужність ЕП на 40-70%.

У зв'язку з вдосконаленням силової електроніки все більше проявляється тенденція переходу на регульований ЕП змінного струму. Для ЕД змінного струму граничний діапазон регулювання може бути досягнутий при синусоїдній формі струму в обмотках ЕД [48].

Друга половина XX ст. характеризувалася революційними змінами в створенні й освоєнні нових матеріалів, принципово нових технологій, зокрема інформаційної й електронної. Початок XXI ст. базується на ***двох ключових технологіях***: *комп'ютери ("розум") і силова електроніка ("м'язи").*

Розвиток інтегральних мікросхем відбувається в напрямі істотного збільшення ступеня інтеграції елементів у кристалі (він має назву "*чіп*") та побудові на їх основі швидкодіючих пристроїв програмної обробки інформації **(*мікропроцесорів*)**, а також пристроїв формування алгоритмів керування **(*мікроконтролерів*).**

Для керування потоками електроенергії між джерелом і навантаженням широко використовуються ***силові напівпровідникові прилади (СНП)***. Основні функції СНП - забезпечити найвищу точність і динаміку управління при високому ККД будь-яким силовим перетворювачем електроенергії.

Силову електроніку вважають ключовою технологією XXI століття тому, що вона об'єднала досягнення мікроелектроніки, техніки комутації електричних кіл і передову технологію керування. За рахунок цього досягається як економічна ефективність перетворення параметрів електроенергії, так і

оптимізація керування технологічними процесами. Діапазон потужностей перетворювального обладнання від одиниць Вт до десятків МВт.

Зв'язуючою ланкою між мікроелектронними компонентами системи керування і навантаженням будь-якого силового перетворювача є ***силовий ключ***. Історично перші пристрої, які використовувалися як силові ключі – це механічні ключі, перемикачі напряму струму, ртутні та германієві (селенові) діоди, електронні лампи і магнітні підсилювачі (1900 – 1960 рр.). На зміну випрямлячів, ведених електромережою, прийшли керовані напівпровідникові ключі: кремнієві діоди, тиристори, біполярні транзистори (1960 – 1980 рр.).

Потім були створені перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) та резонансні перетворювачі з високою частотою комутації:

- модулі біполярних транзисторів;
- польові транзистори (MOSFET);
- запірні тиристори (GTO);
- біполярні транзистори з ізольованим затвором (**IGBT**) (1980-1990рр.).

На сьогодні граничні характеристики випрямних діодів складають 10 кВ/ кА. Широко застосовуються ***швидко відновлювальні діоди*** на базі кремнія, які використовують ефект Шотткі. На ринку є в продажі SiC діоди з параметрами 1200В/ 20А, SiC-БВД діоди 2500В/100А. До кінця десятиріччя з'являться діоди 5кВ/200А .

Польовий транзистор типу метал-оксид-напівпровідник (***MOSFET***) на початку 80-х рр. витіснив біполярні транзистори в діапазоні малих і середніх потужностей.

Силовий MOSFET – це силовий напівпровідниковий ключ, здатний комутувати струми від 0,1 до 100А при робочих напругах від 20 до 1000 В, яким можна керувати напрямом, наприклад, від мікроконтролера. Розвиток MOSFET йшов по шляху зменшення перехідного електричного опору у відкритому стані (більш ніж у 10 разів), підвищення ступеня інтеграції (до 100млн. елементарних чарунок на квадратний дюйм). Це дало можливість

розміщувати ці силові прилади у таких же, як в інтегральних мікросхемах, корпусах без додаткових охолодників [35].

Біполярний Дарлінгтон-транзистори, досягнув граничних параметрів 1400В/200А (на чіп) і широко застосовувані в кінці ХХст. , будуть поступово витісняться та замінятися на **IGBT**. Цей прилад об'єднав у собі достоїнства польових (мала потужність керування, оптимальний діапазон потужностей для надійної роботи, стійкість до струмів КЗ, малий інтервал часу переключення при відсутності часу накопичення заряду) і біполярних транзисторів (мале падіння напруги у прямому стані). Цей транзистор з польовим керуванням дозволяє створити джерела живлення з чудовими характеристиками, а саме:

- висока робоча частота;
- покращенні масогабаритні показники та низький рівень шуму;
- здатність без пошкоджень витримувати режими КЗ;
- високий ККД при наднадійній роботі.

У теперішній час діапазон струмів і напруг IGBT становить від 1 до 2400А і від 600В до 6,5 кВ відповідно. Прогнозуються до кінця десятиліття збільшити блокувальну напругу до 8 кВ [35; 49; 50].

Запірні тиристори (GTO) є похідними тиристорних технологій і знаходять використання в мегаватному діапазоні потужностей.

GTO мають високі частоти перемикання, забезпечують високоточне регулювання значення й частоти напруги живлення тягових двигунів. На сьогодні практична стеля по напрузі та струму для серійно випускаемих GTO становить 4,5 кВ/3кА. Пройшли випробування дослідні зразки GTO на напругу 8 кВ [35].

У найближчі 10 – 15 років серед приладів силової електроніки будуть домінувати у сфері низьких напруг – польові транзистори з ізольованим затвором (MOSFET), а у сфері високих напруг – біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT) у своїх покращених модифікаціях.

Разом з тим, потужні системи автоматизованого й автоматичного моделювання / проектування (CAM / САД) дозволять забезпечити значно

більшу ніж теперішня ступінь інтеграції і більш високий діапазон робочих температур.

Основна ідея розвитку приладів силової електроніки – це перехід від використання дискретних компонентів до силових електронних систем. Об'єднання в одній системі функцій силової й інформаційної електроніки, синтез електромеханічного перетворювача енергії, інформаційних й електронних пристроїв досліджує ***електромеханотроніка***.

Системна інтеграція може здійснюватися двома шляхами – монолітна та гібридна [49].

Монолітна інтеграція об'єднує на одному кристалі силові ключі, драйвери і схеми діагностики та захисту.

У свою чергу ***гібридна інтеграція*** проходить у своєму розвитку чотири етапи:

1) модуль;
2) інтелектуальний модуль (IPM) на основі мікропроцесорів й елементів штучного інтелекту;
3) інтелектуальна підсистема;
4) інтелектуальна силова електронна система.

До інших ***напрямів розвитку*** пристроїв, які будуть використовуватися як силові ключі є [35]:

1. Надпотужні оптотиристори, які використовуються як:
   - ВПС потужністю до 1 ГВт для зв'язку енергосистем і передачі електроенергії на значні відстані;
   - компенсатори реактивної потужності;
   - системи нагромадження енергії;
   - активні фільтри потужністю до декількох сотень мегават.
2. СНП з MOSFET - керуванням, які мають високий ККД.
3. Створення силових інтелектуальних ключів (1985р) і СНП на їх основі
   - SMART модулі.

4. Інтеграція силової частини та малопотужних схем керування і захисту в одному модулі.
5. Комбінація механічних ключів і СНП (гібридні апарати).
6. СНП на основі карбіду кремнію (SiC).
7. Спрощення схемотехніки.

Таким чином, традиційні силові біполярні транзистори і запірні тиристори сьогодні повсюдно замінюються біполярними транзисторами з ізольованим затвором (***IGBT*** – Insulated Gate Bipolar Transistor), які створюються в модульному багатокристальному виконанні при максимальних розмірах чипа 16х16 мм^2. Це так звані стандартні ***IGBT – модулі*** паяної або притискної конструкції, які мають підвищену функціональність (відкриття 1974р.).

IGBT – модулі використовуються в регульованому технологічному і тяговому ЕП, вторинних джерелах живлення, в зварювальних перетворювачах тощо. Комутаційна напруга 0,6, 1,2, 1,7, 2,5, 3,3 і 6,5 кВ (розробляються на напругу 8кВ). Діапазон струмів комутацій 10 – 2400А. IGBT – модулі мають малі потужності керування і комутаційні втрати, високі швидкості комутації та стійкість до перевантажень [24;38].

Якісний стрибок здійснився в 1988 р., коли на ринку з'явилися ***IPM – інтелектуальні силові модулі*** (Intelligent Power Modules). Системотехнічною основою їх є мікропроцесор (МП), оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) і база даних (БД). Вказані компоненти забезпечують *гнучкість* модуля. При цьому, неабияку роль відіграє універсальність МП, яка полягає у тому, що замість проектування і виготовлення необхідної схеми, достатньо її функції запрограмувати й увести в постійний запам'ятовуючий пристрій МП, який цим і створює необхідну систему обробки інформації [30].

IPM являє собою інтегральну схему або ***силовий гібридний інтелектуальний модуль (СГІМ)***, який виготовляється методами плівкової технології метал-окисник-напівпровідник. У результаті в одному корпусі містяться:

- схеми перетворювачів змінного струму (мостові випрямляч та інвертор);
- датчики;
- силові ключові елементи і схеми їх запуску й захисту;
- схеми драйверів;
- джерела живлення;
- пристрої регулювання, керування і діагностики тощо.

Порівняно з традиційними ЕП на базі IGBT – модулями, ЕП на основі СГІМ має високу надійність і у декілька разів меншу масу, габарити і собівартість.

У останнє десятиріччя проводяться дослідження і розробка об'єктно-орієнтованого ЕП на основі ***сигнальних мікроконтролерів (СМ)***, які в свою чергу базуються на ***сигнальних МП*** – самоналагоджуваних систем з ідентифікацією параметрів виконавчого ЕД і навантаження.

ЕП на основі СМ незамінні для автоматичного керування електрообладнанням, тому що їх сигнальні МП мають не фон Неймановську, а Гарвардську архітектуру (багатошинну структуру), що дозволяє досягти продуктивності не менше 20 млн. операцій в секунду, тобто обробку інформації від датчиків у реальному масштабі часу [26].

ЕП на основі СМ має широкі функціональні можливості тому, що базується на ***лінійних алгоритмах керування***, як за допомогою датчиків, так і без них. Принцип керування за відхиленням (негативний зворотний зв'язок) реалізується в таких способах, як ковзне, підпорядковане, векторне, модальне й адаптивне.

Більш адекватні реальним виробничим ситуаціям ***нелінійні алгоритми керування*** в ЕП, які реалізуються за допомогою ***фазі-логіки і моделі нейронної мережі***.

Перший спосіб базується на теорії нечіткого керування і дозволяє досягти *м'якої адаптації* до змін умов процесу керування при неточних і неповних вихідних даних про об'єкт керування. Другий спосіб припускає навіть

відсутність опису об’єкта керування і базується на багатоканальній моделі нервово-мозкової системи людини, яка здатна до самонавчання [51].

Створення повністю керованих СНП і модулів на їх основі дозволили отримати швидкодіючі, багатофункціональні перетворювачі електроенергії з ефективним керуванням основних параметрів у широкому діапазоні з обмеженням вищих гармонік на виході.

Як результат, можна виділити такі ***тенденції розвитку автоматизованих електроприводів*** (ЕП) [5;10;11;12;18;41;44;48]:

- заміна нерегульованих ЕП регульованими в енергоємному обладнанні з метою енергозбереження;
- вдосконалення тиристорних ЕП постійного струму;
- заміна аналогових блоків керування комплектних ЕП постійного струму на цифрові з використанням контролерів приводу;
- заміна ЕП постійного струму на ЕП змінного струму з синхронними, асинхронними й індукторними двигунами;
- реалізація ідеології блочно-модульного виконання комплектних ЕП – широке варіювання силових модулів і модулів керування, які входять у склад силових блоків і блоків керування комплектного ЕП, з метою їх адаптації до режимів і умов роботи механізмів;
- розроблення нових серій ***безконтактних пускачів*** (ПБМ) з мікропроцесорним керуванням, які забезпечують комутацію струмів (від 0,5 до 630А), прямий пуск, керований пуск (плавне зростання напруги), керовану зупинку АД, захист від перегріву АД і пускача, від струмів КЗ, обриву фази, перекосу напруги в фазах;
- перехід від жорстко програмованих пристроїв керування роботою АД до гнучко програмуючих структур на базі високо інтегрованих мікропроцесорних модулів з метою чіткого оптимального керування, корекції та контролю стану функціонування АД;
- орієнтація на регульований ЕП змінного струму, який базується на об’єктно-орієнтованому підході з використанням принципів частотного й

адаптивно-векторного керування (діапазон потужностей ЕП від часток кіловата до 100МВт);

- широке використання в частотно-регульованому ЕП біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT) і мікроконтролерів для керування силовим обладнанням в реальному масштабі часу;
- використання в ЕП транзисторів IGBT разом зі швидкодіючим діодом з керованим емітером (EMCON) в одному модулі, що приводить до антижорсткої ("м'якої") комутації, підвищення надійності та розширює діапазон регулювання швидкості;
- еволюція частотно-регульованого асинхронного ЕП пов'язана з вдосконаленням перетворювача частоти з адаптивно-векторним керуванням, що приводить до адекватної автоматичної настройки ЕП на задані динамічні характеристики (перетворювач частоти, зокрема, складається із трьохфазного некерованого випрямляча, трьохфазного місткового IGBT інвертора з модулем гальмування, мікропроцесорної системи керування);
- поступовий період від ЕП на базі IGBT модулів до ЕП на основі **СГІМ**, що дозволяє покращити масогабаритні параметри, ефективність і надійність;
- розробка об'єктно-орієнтованого ЕП високої продуктивності на основі СМ;
- витіснення або спрощення механічних передавальних вузлів ЕП і заміна їх на електричні з використанням електричних систем керування;
- використання в системах інтелектуального ЕП *нелінійних алгоритмів нечіткого керування*, адекватних реальним виробничим ситуаціям, які реалізуються за допомогою фазі-логіки і моделі нейронні мережі.

Список умовних скорочень, які прийняті в посібнику

АД – асинхронний електродвигун.

АЕС – атомні електричні станції.
АМ – асинхронні машини.
АСЕМ – асинхронизовані електричні машини.
АСК ТП – автоматизована система керування технологічними процесами.
АСТГ – асинхронизований турбогенератор.
ВН – високотемпературний надпровідник.
ВПС – вставка постійного струму.
ГАЕС – гідроакумулююча електростанція.
ГЕС – гідроелектростанція.
ГПК – гнучкий переналагоджуваний комплекс.
ГТУ – газотурбінна установка.
ЕВ – елегазові вимикачі
ЕЕС – електроенергетична система.
ЕМ – електричні машини.
ЕП – електропривод.
КВУП – коефіцієнт використання установленої потужності.
КЗ – коротке замикання.
ККВ – коефіцієнт корисного використання.
ККД – коефіцієнт корисної дії.
КРПЕ – компетентні розподільні пристрої з елегазовою ізоляцією.
КТС – керований термоядерний синтез.
ЛЕП – лінія електропередачі.
МГД – магнітогідродинамічні (генератори).
МЕК – Міжнародна електротехнічна комісія.
МП – мікропроцесор.
НВДЕ – нетрадиційні відновлювані джерела енергії.
НЕН – нагромаджувачі енергії.
НТ – надпровідниковий турбогенератор.
НТП – науково-технічний прогрес.
ПАЕС – повітряноакумулюючі електростанції.
ПТК – професійно-технічна компетентність.
ППС – передача постійного струму.
ПГУ – парогазова установка.
РП – розподільні пристрої.
САПР – система автоматизованого (автоматичного) проектування.
СГІМ – силовий гібридний інтелектуальний модуль.
СЕМ – синхронні електричні машини.
СМ – сигнальний мікроконтролер
СНП – силові напівпровідникові прилади.
СТ – силові трансформатори.
ТЕП – термоемісійні перетворювачі (енергії).
ТЕС – теплові електричні станції.
ЧПК – числове програмне керування.
ЧРЕП – частотно-регулюємий електропривід.
ШІМ – широтно-імпульсивна модуляція.

Література

1. Абдулин Ю.Х., Белкин Г.С., Петров Л.А., Ромочкин Ю.Г. Состояние и перспективы развития вакуумной коммутационной аппаратуры низкого напряжения //Электротехника. – 2002. – № 2. – С.11– 15.
2. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. – М.: Высш.шк., 1980. – 552с.
3. Алексеев Г.Н. Энергоэнтропика. – М.: Знание, 1983. – 192с.
4. Белкин Г.С., Вариводов В.Н. Перспективы развития коммутационной аппаратуры высокого напряжения //Электротехника. – 2003. – № 11. – С. 5– 11.
5. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н., Сушников А.А. Автоматизированный электропривод – современная основа автоматизации технологических процессов // Электротехника. – 2003. – № 5. – С.12 – 16.
6. Березинец Н.И., Украинский Ю.М., Захаров В.И., Омельченко В.П. Некоторые направления совершенствования систем изоляции тяговых электрических машин //Электротехника. – 2005. –№ 3. – С. 6 – 9.
7. Бормосов В.А. Перспективы и состояние разработок распределительных трансформаторов массовых серий // Электротехническая промышленность. Сер. 03. Обзор. информ. – 1988. – Вып.6. – 33с.
8. Брагилевский Е.Л., Колин В.В., Лесниковский А.Е., Швец С.А., Шниренков А.А. Унифицированная серия тиристорных бесконтактных пускателей типа ПБР, ПБН, ПБМ //Электротехника. – 2001. – № 1. – С. 66 – 68.
9. Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г. Перспективы применения в ЕЭС России гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока //Электротехника. – 2004. – № 8. – С.30 –36.
10. Васильченко В.А., Вершинин А.В., Зайцев А.М., Сижанов И.С. Трехфазные асинхронные двигатели специальных конструктивных исполнений для комплектных частотно-регулируемых приводов //Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 42 – 47.
11. Виноградов А.Б., Сибирцев А.Н., Чистосердов В.Л. Новые серии преобразователей частоты и объектно-ориентированный комплектный электропривод на их основе //Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 47 – 54.

12. Виноградов А.Б., Чистосердов В.Л., Сибирцев А.Н., Монов Д.А. Новая серия цифровых асинхронных электроприводов на основе векторных принципов управления и формирования переменных //Электротехника. – 2001. –№12. – С. 25 – 30.
13. Гуревич М.К., Козлова М.А., Шершнев Ю.А. Перспективы применения запираемых силовых полупроводниковых приборов в электроэнергетике //Электротехника. – 2004. – № 10. – С. 3 – 6.
14. Данилевич Я.Б. Современные проблемы электромашиностроения //Электротехника. – 2003. – № 7. – С. 32 – 35.
15. Думаневич А.Н., Якивчик Н.И. Силовое полупроводниковое приборостроение в начале XXI в. //Электротехника. – 2001. – № 9. – С. 9 –12.
16. Дьяков А.Ф., Ишкин В.Х., Мамиконянц Л.Г. Электроэнергетика мира – состояние, проблемы // Энергетика за рубежом. – 2001. – Вып. 5- 6. – С. 3 – 15.
17. Епифанов О.К. Современный ряд высокомоментных двигателей для безредукторных следящих систем: результаты разработок и производства //Электротехника. – 2005. – № 2. – С. 36 – 48.
18. Иванов А.Г., Арзамасов В.Л., Маслова М.Н, Михайлов В.В., Ушаков И.И., Лазарев Д.В. Тиристорные электроприводы постоянного тока //Электротехника. – 2001. – № 2. – С. 10 –15.
19. Иванов В.В. Некоторые вопросы защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки // Электротехника. – 2001. – № 1. – С. 69 – 71.
20. Иванов-Смоленский А.В., Копылов И.П., Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А., Сентюрихин Н.И. Перспективы развития электромеханики в XXI веке // Электротехника. – 2000. – №8. – С. 1 – 4.
21. Исаев В.М., Суслов В.М., Степанов Ю.И., Майоров С.И., Тарасов В.П. Основные направления развития специальной электротехники на период до 2015г. //Электротехника. – 2005. – №8. – С. 42 – 52.
22. Казаков Е.Б., Федоров В.М. Основные направления работ ООО “Изва” по выпуску высоковольтных комплектных распределительных устройств для

различных отраслей промышленности /Электротехника. – 2001. – № 11. – С. 4 – 8.

23. Казанский В.М., Елшин А.И. Концепция новой технологии производства электрических машин // Электротехника. – 2004. – № 11. – С. 2 – 8.
24. Ковалев В.Д., Евсеев Ю.А, Сурма А.И. Элементная база силовой полупроводниковой электроники в России. Состояние и перспективы развития // Электротехника. – 2005. – № 8. – С. 3 – 23.
25. Ковалев В.Д., Мельников В.С., Орлов В.Н. Исследования и разработки ВЭИ в области автоматизации электроэнергетических систем //Электротехника. – 2001. – №9. – С. 12 – 16.
26. Козаченко В.Ф. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам //CHIP NEWS. – 1999. – №1. – С. 2 – 9.
27. Козлов В.Б., Ковалев В.Д. Состояние и перспективы развития высоковольтного электротехнического оборудования //Электротехника. – 2001. – № 9. – С. 1 – 5.
28. Копылов И.П. Электрические машины: учебник для вузов. – М.: Высш.шк., 2000. – 607с.
29. Костюченко М.П. Закономерности функционирования и развития технических систем. – Донецк, 1992. – 56с. – Деп. в Укр.ИНТЭИ 12.08.92., №1213 – Ук.92 // Библ.указ. ВИНИТИ №11 (253), б/о 399, 1992.
30. Костюченко М.П. Классификация и анализ технических систем (системно-кибернетический подход). – Донецк, 1992. – 41с. – Деп. в Укр. ИНТЭИ 12.08.92., №1212-Ук.92 // Библ. указ. ВИНИТИ №11 (253), б/о 398, 1992.
31. Костюченко М.П. Философско-синергетический анализ развития систем. – Донецк, 1992. – 48с. –Деп. в Укр. ИНТЭИ 12.08.92., №1214-Ук.92 // Библ. указ. ВИНИТИ, №11 (253), б/о 400, 1992.
32. Кравчик А.Э., Кругликов О.В., Лазарев М.В., Русаковский А.М. Перспективы разработки и производства стандартных асинхронных

электродвигателей на предприятиях группы компаний “ВЭМЗ” //Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 3 – 5.

33. Куимов И.Е., Папков А.В., Пак В.М. Перспективы создания и внедрения новых электроизоляционных материалов // Электротехника. – 2001. – № 6. – С. 5 – 10.
34. Левин С.М., Лавкин Н.Е., Ножевникова Т.Е., Казакова Н.Ю. Высоконагревостойкие системы изоляции тяговых электродвигателей для электроподвижного состава // Электротехника. – 2005. – № 3. – С.10 – 13.
35. Лоренц Л. Состояние и направления дальнейшего развития в сфере разработки, производства и применения силовых полупроводниковых приборов // Электротехника. – 2001. – № 12. – С. 2 –12; 2002. – № 3. – С. 2–17.
36. Малахов Ю.В., Шевченко Н.Е., Воробьев И.Е. О стратегии и основных направлениях развития электроэнергетики Украины в первой половине XXI века // Энергетика и электрификация. – 2001. – №7. – С.8 – 14.
37. Методические рекомендации к изучению раздела “Перспективы развития электроэнергетики” в курсе “Актуальные проблемы научно-технического прогресса” / Сост.: М.П. Костюченко. – Донецк: РИПК РПТО, 1989. – 21с.
38. Омаров Б.И., Башкиров В.И. Новое поколение IGBT –транзисторов для электропривода // Электротехника. – 2002. – №12. – С. 15 – 17.
39. Папков А.В., Мельниченко А.П., Пак В.И., Куимов И.Е. Новые электроизоляционные материалы для систем изоляции турбо-гидрогенераторов и тяговых двигателей // Электротехника. – 2005. – № 3. – С. 34 – 41.
40. Пешков И.Б. Кабельная промышленность: ситуация и перспективы развития // Электротехника. – 2000. – №1. – С. 9 – 12.
41. Потапенко Е.М., Потапенко Е.Е. Динамические характеристики асинхронного электропривода с векторным управлением //Электротехника. – 2005. – №1. – С.11 – 14.

42. Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины: Асинхронные машины. – М.: Высш. шк.,1988. – 328с.
43. Сагарадзе Е.В., Мандравин В.Е. Состояние и перспективы развития низковольтной коммутационной аппаратуры // Электротехника. – 2000. – №7. – С. 1 – 4.
44. Слежановский О.В. Промышленный объектно-ориентированный электропривод // Электротехника. – 2001. – №1. – С. 2 – 6.
45. Современные проблемы энергетики: Сб.статей /Под ред. Д. Г. Жимерина. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 320 с.
46. Состояние и перспективы развития электротехнической промышленности: метод. рекомендации / Сост. А.А.Простяков, А.С.Джаноян. – М.: Информэлектро, 1987. – 35с.
47. Субботин В.И. Потенциальные энергетические ресурсы Земли и направления их использования // Энергетика и транспорт. – 1980. – №5. – С. 3– 8.
48. Терехов В.М. Современные способы управления и их применение в электроприводе //Электротехника. – 2000. – №2. – С. 25 –28.
49. Флоренцев С.Н. Силовая электроника начала тысячелетия //Электротехника. – 2003. – № 6. – С. 3 – 9.
50. Флоренцев С.Н. Состояние и тенденции развития силовых IGBT – модулей //Электротехника. – 2000. – №4. – С. 2 – 9.
51. Чермалых А.В., Кузнецов В.В. Фаззи-управление асинхронным электроприводом с тиристорным регулятором тока ротора и задающей моделью //Электротехника. – 2003. – № 4. – С.12 –17.
52. Чувашев В.А., Броди В.Я., Папазов Ю.Н., Гринь Г.М., Мухаметшин Н.А. Совершенствование асинхронных двигателей малой мощности // Электротехника. – 2002. – № 10. – С. 21 – 26.

53. Шидловский А.К., Федоренко Г.М. Инновационно-технологические приоритеты модернизации в электроэнергетике //Электротехника. – 2004. – № 6. – С. 3 – 6.
54. Шидловский А.К., Федоренко Г.М. Ключевые вопросы развития генераторостроения на Украине //Электротехника. – 2003. – № 3. – С. 6 – 12.
55. Электротехника. Терминология: Справочное пособие. Вып.3. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 343с.
56. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ (гл. ред. И.Н. Орлов). – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 712с.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.……3

1. Сучасний стан і перспективи розвитку електроенергетики …….. 4

2. Сучасний стан і перспективи розвитку електротехнічної промисловості…..22

Список умовних скорочень, які прийняті в посібнику …….. 52

Література…… 54

Костюченко Михайло Петрович

Сучасний стан і перспективи розвитку електроенергетики й електротехнічної промисловості

Навчально-методичний посібник для керівних кадрів ПТНЗ. – Донецьк: ДІПО ІПП, 2005. – 61 с.

Редактор Бикова Л.О.

Комп'ютерна верстка Удовиченко Ю.А.

ПІДПИСАНО ДО ДРУКУ "_23_" _04_ 2005 р.

Тираж 100 прим. Замовлення № 37

Віддруковано редакційно - видавничим відділом ДІПО ІПП

м. Донецьк, вул. Куйбишева, 31

СВІДОЦТВО: серія ДК № 636 від 17.10.2001 р.,

видане Держкомітетом інформаційної політики, телерадіомовлення України