

- ка нормативних документів для подовження на 10–15 років терміну безпечної роботи енергоблоків;
- ♦ розробка і реалізація програми поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами;
- ♦ вибір і будівництво нових атомних енергоблоків з підвищеним рівнем безпеки;
- ♦ дослідження та розробка ядерно-енергетичних установок четвертого покоління з високою ефективністю і гарантованою керованістю;
- ♦ створення оптимальної інфраструктури забезпечення надійного і безпечного функціонування та розвитку ядерної енергетики в Україні.

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ

**Ю.М. МАЦЕВИТИЙ, академік НАН України,
А.К. ШИДЛОВСЬКИЙ, академік НАН України**

Електроенергетика є, так би мовити, виконавчою ланкою паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) України. Своїми матеріально-технічними засобами вона, з одного боку, реалізує глобальну енергетичну політику держави, а з другого — забезпечує електроенергією конкретних споживачів.

Розглядаючи електроенергетику України загалом, слід зазначити, що це технологічно складна, територіально розгалужена система, складниками якої є електрогенеруючі станції, Об'єднана електроенергетична система та розподільчі електричні мережі країни. А в технологічному аспекті вона реалізує генерування, розподіл та постачання споживачам електричної енергії. Розвиток електроенергетичного комплексу (ЕЕК) визначально впливає на стан економіки країни, розв'язання проблем соціальної сфери і рівень життя людей. Зрештою енергетична незалежність чималою мірою визначає національну незалежність держави.

Електроенергетичній галузі притаманні специфічні особливості, пов'язані з одноментністю генерування та споживання електричної енергії. Це зумовлює необхідність централізованого диспетчерського оператив-

но-технологічного керування всім комплексом, системною та протиаварійною автоматикою для забезпечення надійності і безпечності функціонування обладнання. Аварійні, кризові ситуації в ЕЕК за масштабами впливу на економіку і життя людей часто можна порівняти з природними стихійними лихами.

Усе це визначає електроенергетику як галузь дуже матеріаломістку й енергоємну, з великим інвестиційним циклом і, що надзвичайно важливо, наукоємну.

Наука України завжди працювала на електроенергетику, відповідала на її запити і виклики, допомагала розв'язувати нагальні проблеми галузі на різних етапах та в різних умовах її розвитку.

За радянських часів за безпосередньої участю наших учених було закладено підвалини надійної та безаварійної роботи електроенергетичної системи України, що дало змогу втримати її від розвалу у важкі роки економічної та енергетичної кризи. Чималою мірою це вдалося зробити завдяки новаторським розробкам вітчизняних науковців. Причому це стосувалося як надійності самого енергетичного обладнання, так і розв'язання найважливіших проблем, які забезпечують

оптимальні режими керування складними енергетичними системами за дефіциту паливно-енергетичних ресурсів та відповідної розбалансованості між генеруванням і споживанням електричної енергії.

Основою електроенергетики країни є Об'єднана енергетична система (ОЕС) — одне з найпотужніших енергооб'єднань Європи. Вона здійснює централізоване електрозабезпечення споживачів, охоплюючи всю територію України, а також взаємодіє з енергетичними системами суміжних країн. Це динамічна система, процеси в якій контролюються в режимі реального часу, тому надзвичайно важливо забезпечити її надійну та стабільну роботу.

Загальна електрогенеруюча потужність України становить понад 50 млн кВт, з яких потужність ТЕС і ТЕЦ — близько 58%, АЕС — 26, ГЕС та ГАЕС — 9, блок-станцій та інших джерел — 7%. Згідно з розробленою Стратегією розвитку ПЕК у 2030 р. величина генеруючих потужностей сягне понад 70 млн кВт.

Слід зазначити, що електроенергетичний комплекс України був сформований як складова частина ЕЕК СРСР, тому не відповідає вимогам, які має задовольняти енергокомплекс незалежної держави. Потребує істотної зміни і структура генеруючих потужностей. Через відсутність необхідних обсягів маневрених та пікових потужностей електроенергетична система (ЕЕС) не в змозі забезпечити оптимальний графік навантажень, вимоги за частотою, рівнями напруги і, в остаточному підсумку, — ефективну паралельну роботу з енергосистемами Росії та Західної Європи.

Оскільки переважна частина енергоблоків розрахована на функціонування в режимі базового навантаження, то відсутність достатніх маневрених потужностей неодноразово ставила нашу енергосистему на межу розвалу, спричинювала критичне зниження частоти, що особливо небезпечно за наявності великої потужності атомних електростанцій, які працюють у базовому режимі.

Стратегічною метою розвитку електроенергетичного комплексу є його докорінна перебудова на засадах новітніх технологій із забезпеченням маневреності, енергетичної та економічної ефективності, екологічних вимог, зовнішньої конкурентоспроможності та ринкових умов функціонування. Необхідне стає, надійне, безпечне, якісне постачання електричної енергії галузям економіки та соціальної сфери країни.

На нинішньому етапі розвитку електроенергетики першочерговою за значенням, складністю і масштабністю є проблема надійного та якісного електрозабезпечення в умовах ринку. Це переконливо засвідчують системні аварії, які трапилися у країнах Північної Америки, Західної Європи та Росії впродовж 2003–2005 років.

Забезпечення стабільного функціонування ОЕС України за недостатності маневрених генеруючих потужностей і високої частки базової потужності є одним з найгостріших питань.

Після введення в експлуатацію двох блоків по 1000 МВт на Хмельницькій і Рівненській АЕС відчутно зросла їх базова потужність, а це ще більше ускладнило можливість сезонного і добового регулювання навантажень в ОЕС України, отже, забезпечення її надійного функціонування.

Тому для істотного поліпшення структури генеруючих потужностей необхідно ввести нові мобільні потужності, які оптимізують роботу ОЕС. Саме таку функцію забезпечення «живучості» ОЕС виконують гідро- та гідроакumuлюючі електростанції, потужність яких нині становить близько 9% за необхідних 15–20%.

В умовах рівнинних річок можливості будівництва великих ГЕС в Україні практично вичерпані, отже, подальший розвиток гідроенергетики пов'язаний саме з модернізацією діючих гідроелектростанцій та спорудженням ГАЕС. Тут слід відзначити ефект першого етапу реабілітації ГЕС Дніпровського кас-

каду. З використанням здобутків учених НАН України модернізовано 16 гідроагрегатів, що дало змогу на 88,1 МВт збільшити встановлену потужність, підвищити безпечність і надійність експлуатації та подовжити термін служби реабілітованого обладнання не менш як на 30 років.

Проблема реконструкції та подовження періоду експлуатації надзвичайно актуальна не тільки для ГЕС—ГАЕС, а й для іншого енергетичного обладнання, оскільки переважна більшість блоків на електростанціях уже або майже відпрацювала свій ресурс. Цю проблему треба розв'язувати на основі новітніх досягнень науки з використанням світового досвіду. Прикладом тут може слугувати вдосконалення за рекомендаціями науковців НАН України турбогенераторів потужністю 200 МВт заводу «Електроважмаш». Навантажувальну спроможність цих генераторів удалося збільшити на 15–20%, а коефіцієнт готовності довести до 0,999, що відповідає абсолютній надійності. Їх використання на Бурштинській ГРЕС еквівалентно введенню щонайменше одного енергоблока.

Модернізація 76 найпоширеніших турбогенераторів ТЕС України потужністю 200 і 300 МВт забезпечить майже 4000 МВт приросту, що еквівалентно будівництву нової потужної ТЕС.

Однак розвиток генерації неможливо відокремити від розбудови електричних мереж, передовсім магістральних ліній електропередач 330–750 кВ, вдосконалення систем моніторингу та захисту, протиаварійної автоматики, створення сучасних інформаційно-діагностичних комплексів.

Надзвичайно важливою проблемою є забезпечення стійкої роботи енергосистеми в усіх експлуатаційних режимах і «живучості» її за кризових ситуацій. Ця проблема особливо загострилася в умовах дефіциту маневрених потужностей, великої спрацьованості енергообладнання і недостатнього розвитку ліній електропередач.

З уведенням нових енергоблоків атомних станцій у західному регіоні (Рівненська та Хмельницька АЕС) актуалізувалася проблема передачі їхньої потужності на схід за обмеженої пропускної здатності відповідного перетину електричної мережі ОЕС. Потужність найбільшої в Україні та Європі Запорізької АЕС також не може бути передана без обмежень, які визначаються нормативами стійкості енергосистеми. Утворилися своєрідні енергетичні «мішки», які найближчим часом необхідно розосередити.

Забезпечення стійкості ОЕС з мінімальними обмеженнями потужності атомних електростанцій неможливе без впровадження інтелектуалізованих систем протиаварійної автоматики. Інформаційна база для таких систем формується на основі розрахунків поточного електричного режиму (так зване оцінювання поточного стану ЕЕС). Такі дослідження, які відзначаються великою складністю, виконуються постійно і спрямовані на підвищення надійності та ефективності функціонування ОЕС.

Важливість цієї проблеми глибоко усвідомлював академік С.О. Лебедев, який розробив теорію штучної стійкості ЕЕС, методи і технічні засоби розрахунку стійкості її режимів. Як відомо, під його керівництвом була створена перша у континентальній Європі цифрова електронна лічильна машина — славнозвісна МЕЛМ (1951), за допомогою якої виконані перші у Радянському Союзі автоматизовані розрахунки режимів ЕЕС і стійкості паралельної роботи генераторів.

Можливості сучасної обчислювальної техніки, систем інформаційної підтримки разом із програмними розробками науковців НАН України дають змогу забезпечувати «живучість» енергетичних об'єднань, з'ясувати механізми та чинники розвитку каскадних аварій у конкретній схемно-режимній ситуації, створювати методичну основу для імітаційного моделювання та прогнозування кризових режимних ситуацій з визначенням

слабкої ланки у системі. Ці дослідження є підґрунтям для розробки адаптивної, інтелектуалізованої системи протиаварійної автоматики ОЕС, яка безперервно контролює режими роботи та визначає обсяги і зміст керівних дій для підтримання стійкості системи на необхідному рівні.

Результати досліджень учених НАН України використовуються в усіх енергосистемах України і в більшості енергосистем країн СНД.

Блок проблем електроенергетики належить розв'язати для реалізації поставленого Урядом завдання щодо інтеграції ОЕС України з енергосистемами європейських країн (УСТЕ). Це потребує відповідно до вимог УСТЕ вирішення низки організаційно-технічних та науково-технічних питань, зокрема щодо резервів потужності (в тому числі маневрених), систем регулювання частоти і потужності, протиаварійного керування для забезпечення стійкості і «живучості» ОЕС України.

Практичний досвід засвідчив, що у таких великих систем є імовірність значного поширення та примноження первинного збурення, яке характеризує їхню недостатню «живучість», а також можливість лавинного розвитку системних аварій.

Один із останніх прикладів — системна аварія 14 серпня 2003 р. на північному сході США та прилеглих провінціях Канади: без електропостачання залишилося 50 млн людей, від енергосистеми відключилась 21 електростанція, зокрема 10 атомних. Загальні збитки сягнули понад 6 млрд доларів. Того ж таки року сталися аварії національного масштабу в Італії, Швеції та Данії.

Такі значні аварії в енергосистемах траплялися і раніше. Так, у США вони зафіксовані у 1965, 1977, 1996 роках. Підкреслимо: наслідки аварій, що виникли через первинне або зовнішнє збурення, були в усіх випадках у багато разів, інколи на порядки, меншими, ніж ті, до яких призвів каскадний розвиток аварій. Остання за часом аварія на півдні Москви

(25 травня 2005 р.) з порушенням стійкості енергосистеми — не виняток зі сказаного. Було знеструмлено 240 підстанцій високої напруги, повністю зупинилися 5 ТЕЦ, частково — ще 5 електростанцій.

Системні аварії траплялися і в ОЕС України, проте їхні негативні наслідки були значно меншими. Наша ОЕС виявилася більш «живучою». У цьому є внесок і науковців НАН України.

Наведемо лише два приклади.

1. Уперше в Україні зусиллями вчених академічних інститутів створено та введено в дію систему інформаційного забезпечення для підтримки оперативного персоналу електричних підстанцій і диспетчерських служб. Вона дає змогу приймати в автоматичному режимі зареєстровану на підстанціях аварійну інформацію, якісно оцінювати функціонування пристроїв релейного захисту й автоматики, оперативно інформувати диспетчерські служби про визначення місць ушкоджень на лініях електропередач. Ця система також дає можливість розв'язувати низку діагностичних завдань. Зокрема, визначення залишкового ресурсу електроенергетичного обладнання, що допомагає вчасно його ремонтувати або замінювати не за терміном роботи, а реальним станом.

Ці системи, у вигляді низки модифікацій, серійно випускаються і працюють у мережі ОЕС України. А це всі підстанції надвисокої напруги (750 кВ) та більше половини підстанцій країни напругою 330 кВ. Вони експлуатуються на Південно-Українській, Рівненській та Хмельницькій АЕС, на ряді гідро- і теплових електростанцій, а також у Росії, Білорусі, Молдові та Азербайджані.

2. Розроблено наукові основи, методи і технічні засоби запобігання ферорезонансним процесам на підстанціях і в електричних мережах напругою 110 кВ і вище. Використання результатів цієї розробки практично виключає виникнення в енергосистемі великих системних аварій, спричинених ферорезонансними процесами.

Якщо підсумувати результати аналізу системних аварій упродовж останніх років, то слід акцентувати увагу на таких двох моментах.

По-перше, розбудова енергоринку та налагодження конкурентних відносин само по собі не може забезпечити ефективною, надійною і безпечною роботи з енергопостачання, розв'язати економічні та екологічні проблеми.

По-друге, без достатнього резерву генеруючих потужностей (зокрема маневрених) і пропускної здатності електричних мереж підтримати надійність і безпечність енергопостачання на належному рівні неможливо.

Конкурентний ринок стимулює максимальне використання існуючих потужностей, породжує напруженість у покритті піків графіка навантаження, сприяє встановленню високих цін на пікову електроенергію і потужність, що забезпечує окупність вартості капіталів, вкладених у створення генеруючих потужностей, але не формуванню резерву цих потужностей. Тобто інтереси ринку і вимоги надійного функціонування ЕЕС не завжди збігаються, що змушує переглянути пріоритети реформ в електроенергетиці та зумовлює необхідність адміністративного втручання у процеси функціонування ринку електроенергії з метою забезпечення надійності електропостачання.

Слід зазначити, що розвиток і нормальне функціонування електроенергетики неможливі без розбудови власного енергомашинобудування і суміжних галузей промисловості, здатних забезпечити енергетику високо-ефективним обладнанням.

Оскільки з початку 90-х років, у період економічної стагнації, в Україні практично не вводилися нові генеруючі потужності, відбувається прискорене зношення основних фондів. Їхній ресурс вичерпано більш як на 80%. Скорочення програм з розробки й освоєння нового обладнання та сучасних технологій виробництва, передачі і розподілу електроенергії призвело до зростаючого відставання технічного рівня вітчизняної

електроенергетики від досягнутого розвиненими країнами.

У тривалій перспективі це зумовлюватиме значне зниження конкурентоспроможності економіки країни загалом, створить додаткове навантаження на галузі ПЕК і спричинить прискорене зростання цін на електроенергію для промислових споживачів та населення.

Основним стратегічним напрямом розвитку вітчизняного енергомашинобудування є максимально можливе задоволення потреб енергетики за рахунок розробки і виробництва власного обладнання, тобто зведення до мінімуму обсягів імпорту.

Свого часу в Україні було створено значний науково-технічний і науково-виробничий потенціал з розробки та випуску основних видів енергетичного обладнання. Вітчизняний енергомашинобудівний комплекс входив до п'ятірки найпотужніших виробників енергетичного обладнання у світі. Попри те, що виробничий потенціал наших енергомашинобудівних заводів за останні 15 років істотно знизився, вони і нині спроможні задовольнити понад 85% потреб енергетики України в обладнанні та забезпечити експортні поставки в інші країни, звичайно, за умови отримання відповідних замовлень, модернізації та реконструкції основних фондів, упровадження високих технологій, оновлення колективів підприємств висококваліфікованими кадрами.

У спектрі енергоустаткування винятком є котельне, реакторне і деякі види допоміжного обладнання, виробництво яких не було налагоджено в Україні, але за належних умов його можна розгорнути на базі існуючих виробничих потужностей.

Проголошений нашою державою європейський вибір стратегічного розвитку висуває як першочергову мету створення високо-ефективного обладнання з використанням новітніх технологій. Основні моменти, які необхідно враховувати на найближчі 20—

30 років, — це, з одного боку, прогресуюче старіння обладнання потужних енергоблоків діючих електростанцій, а з другого — підвищення вимог щодо енергоефективності та екологічних стандартів.

Нинішній стан енергетики країни потребує прийняття термінових рішень, насамперед стосовно генерування електроенергії, де кризові явища набули найбільшої гостроти через відсутність необхідних капітальних вкладень. Значна частина основного обладнання електричних станцій України виробила встановлений стандартами ресурс: 96% устаткування ТЕС відпрацювало свій проектний термін, 73% — перевищило граничний. Майже всі вітчизняні АЕС повністю відпрацюють розрахунковий ресурс до 2026 року.

Замінити таку кількість обладнання на нове за короткий період неможливо. До того ж заміна у широких масштабах устаткування електростанцій не завжди економічно доцільна. Тому в усіх країнах світу найважливішою проблемою електроенергетики на найближчі 15–20 років є подовження ресурсу надійної та ефективної експлуатації енергетичного обладнання. На найближчу перспективу такий напрям роботи має стати наріжним каменем державної стратегії розвитку енергетики та енергомашинобудування і в Україні. А для цього необхідно визначити залишковий ресурс електроустаткування, що дасть змогу ефективніше його модернізувати і реконструювати.

Істотною проблемою ОЕС України є регулювання графіка навантаження. Для цього залучаються, як уже зазначалося, гідро- та гідроакumuлюючі електростанції, потужностей яких, однак, недостатньо. Тому для регулювання навантаження задіяні енергоблоки теплових електростанцій потужністю 200 і 300 МВт, що були створені для роботи у базовому режимі. Їх використання для роботи в маневреному режимі зумовлює прискорене спрацьовування ресурсу основних елементів. Так, наукові дослідження під-

твердили, що робота турбогенераторів у маневрених режимах, які не передбачені технічними умовами, на порядок знижує показники їхньої надійності. Тому слід визначити справжній ресурс кожної турбіни і забезпечити не лише регламентовану і потрібну кількість пусків та зупинок, а й необхідні коливання активних і реактивних навантажень. Останнє надзвичайно важливо для надійності режимів АЕС.

Науковці НАН України вперше виявили цікавий факт: турбогенератори на вітчизняних АЕС працюють у базових режимах щодо активної потужності, а щодо реактивної — у маневрених. Ці режими спричинюють підвищену ушкодженість електротехнічного обладнання, зокрема турбогенераторів. Вони істотно впливають на безпечність й ефективність експлуатації АЕС, знижують коефіцієнт використання встановлених потужностей генераторів. Розв'язання цієї проблеми потребує розробки спеціальних пристроїв для генерування і компенсації реактивної потужності, зокрема впровадження створених ученими та виробниками унікальних асинхронізованих турбогенераторів.

Підсумовуючи, окреслимо основні проблеми, що стоять нині перед енергетичним комплексом України:

- ♦ модернізація частини енергоблоків ТЕС і АЕС з метою подовження терміну експлуатації та підвищення їх економічності для забезпечення надійної роботи на високозольному вітчизняному вугіллі;
- ♦ реконструкція енергоблоків ТЕС і міських ТЕЦ з частковою або повною заміною високотемпературних елементів котлів і турбін, а також заміна окремих енергоблоків ТЕС і ТЕЦ на нові, де використовуватимуть сучасні технології спалювання вугілля та очищення вихідних газів від оксидів сірки, азоту і золи;
- ♦ підвищення маневреності обладнання діючих енергоблоків за умови збереження їхньої надійності і ресурсу;

- ❖ створення «пілотних» зразків енергоблоків, на які будуть замінювати діючі;
- ❖ розробка проектів нових теплових електростанцій.

Виготовлення обладнання для виконання цих завдань має бути серед пріоритетів підприємств енергомашинобудівного комплексу та суміжних галузей — електротехнічної, приладобудівної, промислово-будівельної.

Отже, ключовий стратегічний напрям розвитку вітчизняного енергомашинобудування — максимально можливе задоволення потреб енергетики за рахунок нового енергетичного обладнання власного виробництва, а також завдяки маловитратній модернізації енергоблоків ТЕС і АЕС, що забезпечить підвищення їх ККД.

Як приклади нових видів економічного енергетичного обладнання, для створення яких використовуються сучасні технології спалювання палива, насамперед низькоякісного вугілля, слід назвати:

- ❖ паротурбінні енергоблоки класичного типу (котел—турбіна—генератор) з конденсаційними турбінами потужністю 225 і 325 МВт;
- ❖ паротурбінні блоки на надкритичні параметри (тиск 30 МПа, температура гострої пари і пари промперегріву 620 °С, а в перспективі — 700 °С із двома проміжними перегрівками пари) потужністю 200, 300 і 500 МВт;
- ❖ стаціонарні газотурбінні установки потужністю 65–115 МВт з температурою газу 1250 °С і вище для забезпечення пікових навантажень;

- ❖ парогазові установки з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля для роботи на ТЕС і ТЕЦ потужністю 200 і 300 МВт;
- ❖ енергоблоки, до складу яких входить котел з циркулюючим киплячим шаром і паротурбіна установка потужністю від 30 до 250 МВт;
- ❖ газотурбінні установки з котлом-утилізатором когенераційного типу електричною потужністю 2–25 МВт для комунальних котельень й енерговузлів промпідприємств;
- ❖ парові турбіни потужністю 0,75–1,0 МВт із протитиском або повітряним конденсатором (малі турбіни) для заміщення процесу «дроселювання» пари в котельнях різного призначення.

Розвиток енергомашинобудівного комплексу України як самодостатньої галузі економіки, орієнтованої на внутрішні й експортні завдання, має тісно пов'язуватися з основними напрямками вітчизняної електроенергетики, Енергетичною стратегією розвитку ПЕК до 2030 року і на подальшу перспективу.

Тільки на базі сучасного обладнання електроенергетику України можна вивести на світовий рівень, який би забезпечив високу ефективність, надійність і безпечність функціонування за екологічно прийнятними нормами, а також інтеграцію ЕЕС України з енергосистемами країн Сходу і Заходу.

Звісно, це далеко не всі злободенні проблеми електроенергетики, які потребують розв'язання. Їх можна подолати лише за умови широкого використання досягнень науки, вітчизняного інтелектуального потенціалу, тісної співпраці вчених і виробників.