

О. В. Виговський

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, Київ, 03028, Україна***ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ
ТА ШЛЯХИ ЇХНЬОГО ВИРІШЕННЯ**

Висвітлено та проаналізовано головні проблеми енергетики України. Наведено дані по встановленій потужності електростанцій України та виробництву електроенергії на них за 2011 – 2014 рр. Розкрито основні проблеми розвитку атомної енергетики в Україні та запропоновано шляхи їхнього вирішення. Проведено аналіз статистичних даних щодо ушкоджень турбогенераторів блоків АЕС України за 2010 – 2014 рр. Виконано порівняльну оцінку питомої пошкоджуваності турбогенераторів блоків АЕС України. Розроблено рекомендації по підвищенню безпеки, надійності та ефективності експлуатації енергоблоків АЕС України.

Ключові слова: безпека, надійність, ефективність експлуатації, енергоблок, турбогенератор.

Україна на сьогодні є однією з найбільш енергозатратних країн у світі. «Висока енергоємність ВВП в Україні є наслідком істотного технологічного відставання у більшості галузей, недостатніх темпів структурної перебудови економіки, нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, недостатності коштів для впровадження енергозберігаючих технологій» [1].

Головні проблеми енергетики України на сучасному етапі:

1) висока енергоємність промислової продукції. Якщо за абсолютними обсягами споживання паливно-енергетичних ресурсів Україну можна порівняти, наприклад, з такими країнами, як Великобританія і Франція, то енергоємність валового внутрішнього продукту України в 10 разів перевищує рівень Франції, територія і кількість населення якої може бути порівняна з Україною. Сьогодні енергоємність валового внутрішнього продукту України в 2 - 15 разів перевищує аналогічні показники промислово розвинених країн [1];

2) Україна змушена імпортувати більше половини споживаних енергоресурсів (енергозалежність України (2013 р.) близько 65 %, в Євросоюзі цей показник – 51 %);

3) великий відсоток обладнання на теплових електростанціях практично вичерпав свій розрахунковий ресурс (близько 50 %, на окремих станціях до 90 %);

4) загострена екологічна ситуація в районах розміщення потужних ТЕС, ГРЕС та АЕС;

5) маневрені режими експлуатації обладнання; маневреність обладнання ТЕС і ГРЕС по активно-реактивній потужності, маневреність АЕС по реактивній потужності приводять до прискорення процесів деградації та підвищеній пошкоджуваності.

«Дослідження факторів і причин високого рівня енергоємності ВВП України дозволяє виділити серед них такі. Насамперед, до них належать ті обставини, що паливно-енергетичний комплекс України, створений багато десятиріч тому, було розраховано на дешеві види палива великих запасів Радянського Союзу. У цих умовах при проектуванні та будівництві енергетичних об'єктів принципи ефективного використання енергоресурсів не мали пріоритетного значення. Таким чином, відбувалася насиченість території України енергоємними виробництвами, що і призвело до перевищення рівня енергоємності ВВП України щодо середньоєвропейських показників» [1].

На зростання енергоємності ВВП великий вплив мав також перехід країни до ринкових відносин. У період економічної кризи зберігалася орієнтація на енергоємну структуру національного виробництва. Спад виробництва в країні та високий рівень морального і фізичного зносу основних виробничих фондів підприємств паливно-енергетичного комплексу, у свою чергу, стали однією з причин зростання енергоємності.

Якщо за деякими експертними оцінками [1] у 2005 р. ступінь фізичного зношення основних виробничих фондів української енергетики становила близько 90 %, то сьогодні цей показник наближається до 100 %. До того ж темпи вибуття зношених основних фондів на підприємствах енергетики у 6 - 8 разів повільніші порівняно з розвиненими країнами, унаслідок чого більше половини енергоблоків уже відпрацювали свій розрахунковий ресурс, але продовжують експлуатуватися.

Установлена потужність електростанцій України на кінець 2014 р. (без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції) така:

© О. В. Виговський, 2016

ТЕС, тис. кВт	АЕС, тис. кВт	ГЕС та ГАЕС, тис. кВт	Вітрові електрос- танції, тис. кВт	Сонячні електро- станції, тис. кВт	Усього, тис. кВт
35334,4	13835,0	5850,7	411,4	411,2	55842,7

Більша частина енергогенеруючих потужностей України, як видно з наведених даних, припадає на частку атомних і вугільних енергоблоків. А вони забезпечують найбільшу ефективність при роботі з постійною потужністю на постійного споживача, а цього якраз в Україні зараз і немає. Крім того, в енергосистемі відчувається брак маневрених потужностей, здатних різко підвищувати або зменшувати обсяг вироблюваної електроенергії залежно від зміни її споживання. В якості маневрених потужностей у світі в цілому і в країнах ЄС зокрема використовують газові енергоблоки. Однак через те, що український уряд не може домовитися з Росією з газового питання, в Україні багато таких блоків переведено на роботу з вугіллям. Ситуацію якось могли б згладити ГЕС та ГАЕС, однак їхніх потужностей недостатньо для покриття пікових навантажень. У підсумку українські енергетики змушені як маневрені потужності використовувати вугільні енергоблоки та блоки АЕС, що призводить до прискореного зносу їхнього обладнання та підвищених викидів в атмосферу.

Виробництво електроенергії за 2011 – 2014 рр. за даними Державної служби статистики наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Виробництво електроенергії на електростанціях України за 2011 – 2014 рр.

Виробництво електроенергії	2011	2012	2013	2014*
Усього, млн кВт·год, у т. ч.:	194946,8	198877,7	194377,3	182815,4
ТЕС, млн кВт·год	93633,7	97125,1	95487,5	83548,8
АЕС, млн кВт·год	90247,7	90137,4	83209,0	88389,1
ГЕС та ГАЕС, млн кВт·год	10945,9	10993,7	14472,2	9318,3
Вітрові електростанції, млн кВт·год	89,5	288,2	638,6	1130,2
Сонячні електростанції, млн кВт·год	30,1	333,3	570,0	429,0

* Без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції.

Частка (у відсотках) виробництва електроенергії на АЕС України від загального обсягу виробництва електроенергії в Україні за даними НАЕК «Енергоатом» становила: 2010 р. - 47,4; 2011 р. - 46,5; 2012 р. - 45,5; 2013 р. - 43; 2014 р. - 48,4.

На сьогодні Україна входить до десятка країн світу, які найбільше використовують ядерну енергію для виробництва електричної енергії. За кількістю енергетичних реакторів Україна посідає десяте місце у світі та п'яте в Європі, усі реактори типу ВВЕР російського виробництва. В Україні діють чотири АЕС з 15 енергоблоками (загальна встановлена потужність 13,835 ГВт), одна з яких - Запорізька АЕС з 6 енергоблоками загальною встановленою потужністю 6000 МВт - є найбільшою в Європі. У 2006 р. уряд України запланував будівництво 11 нових енергоблоків до 2030 р. [9].

Основною проблемою атомної енергетики, на якій акцентують увагу її противники, є наявність радіоактивних відходів та необхідність їхнього надійного та безпечного захоронення [6]. З відходами з незначною радіоактивністю, що становлять основну частину всіх відходів АЕС, не існує проблем – технології їхнього видалення, транспортування та утилізації розроблені на найсучаснішому рівні [6]. Високорадіоактивні відходи становлять частину на рівні 1 % від токсичних відходів інших галузей промисловості. Експерти вважають, що на сучасному етапі всі радіоактивні відходи можуть бути безпечно перероблені та надійно ізольовані від навколишнього середовища на тисячі років, поки вони не стануть безпечними. Технології створення та експлуатації підземних сховищ для цього вже розроблено [6].

Перспективи застосування ядерної енергії як джерела енергозабезпечення в майбутньому залежать від декількох ключових факторів. Перш за все - це визнання громадськістю ролі ядерної енергетики як одного з надійних джерел енергозабезпечення сталого розвитку людства. Іншими ключовими факторами є технологічна зрілість, економічна конкурентоспроможність, екологічна прийнятність. Безпека завжди була і буде найвищим пріоритетом у розвитку атомної енергетики.

Завдання, які стоять сьогодні перед атомною енергетикою, вимагають подальшого проведення широких науково-технічних досліджень і розробок не тільки шляхом удосконалення існуючих ядерних енергетичних технологій, але й шляхом створення інноваційних типів реакторів і паливних циклів, що гарантують неможливість їхнього використання у військових цілях і характеризуються підвищеною ефективністю, більш низькими витратами і більш високим рівнем безпеки.

Фундаментом, основою подальшого розвитку ядерної енергетичної техніки є, насамперед, підвищення рівня безпеки реакторів, підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності установок (КВВП) до рівня 95 – 100 %, коефіцієнта готовності (Кг) - до 90 – 100 %, продовження ресурсу до 50 - 60 і більше років, підвищення економічності, технічної ефективності та конкурентоспроможності порівняно з іншими формами вироблення енергії.

Аналіз подій на електростанціях України, що призводять до порушень в роботі блоків та позаплановим відключенням (на основі актів розслідування), показує, що залежно від типу блока в середньому в рік відбувається від 3 до 50 порушень. Проведений аналіз інцидентів на АЕС України свідчить, що значна частина відмов (від 30 до 70 %) викликана недостатньою надійністю електротехнічного обладнання. Зокрема, найбільша частка у причинах недовиробництва електроенергії через електротехнічне обладнання припадає на турбогенератори (до 70 - 80 %), пристрої релейного захисту й автоматики (до 15 %), вимірювальні трансформатори (до 7,5 %), електропривод (5,8 %) і силові трансформатори (до 2,5 %). Тобто найбільш ненадійним елементом на АЕС на сьогодні є турбогенератор. Показники пошкоджуваності турбогенераторів енергоблоків АЕС України у 2010 - 2014 рр. наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Показники пошкоджуваності турбогенераторів енергоблоків АЕС України у 2010 - 2014 рр.

Показники	ТВВ-220-2У3	ТВВ-1000-4	ТВВ-1000-2
2010 р.			
Кількість на АЕС України	4	8	5
Кількість ушкоджень	0	1	2
Недовиробіток електроенергії, млн кВт·год	0	12,5	974,43
2011 р.			
Кількість на АЕС України	4	8	5
Кількість ушкоджень	1	0	1
Недовиробіток електроенергії, млн кВт·год	2,05	0	7,81
2012 р.			
Кількість на АЕС України	4	8	5
Кількість ушкоджень	0	2	1
Недовиробіток електроенергії, млн кВт·год	0	131,8	550,5
2013 р.			
Кількість на АЕС України	4	8	5
Кількість ушкоджень	0	1	0
Недовиробіток електроенергії, млн кВт·год	0	Не було	0
2014 р.			
Кількість на АЕС України	4	8	5
Кількість ушкоджень	0	2	3

Недовиробіток електроенергії, млн кВт·год	0	21,2	43,82
Разом за п'ять років (2010 - 2014 р.)			
Кількість ушкоджень	1	6	7
Недовиробіток електроенергії, млн кВт·год	2,05	165,5	1576,56
Питома пошкоджуваність, одиниць на генераторо-рік експлуатації	0,05	0,15	0,2

Питома пошкоджуваність турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 блоків українських АЕС за п'ять років (2010 - 2014 р.) (див. табл. 2) становить 0,2 ушкодження на генераторо-рік експлуатації, що в 1,33 раза більше, ніж аналогічний показник турбогенераторів у чотирьохполюсному виконанні типу ТВВ-1000-4УЗ (0,15), і в 4 рази більше, ніж у турбогенераторів потужністю 220 МВт енергоблоків № 1 і № 2 Рівненської АЕС типу ТВВ-220-2УЗ (0,05). За цей час недовиробіток електроенергії через вимушені зупинки енергоблоків, причиною яких були відмови турбогенераторів ТВВ-1000-2, був 1576,56 млн кВт·год. За період 2006 - 2010 рр. питома пошкоджуваність турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 за п'ять років становила 0,36 ушкодження на генераторо-рік експлуатації, недовиробіток електроенергії за цей період становив 6109,78 млн кВт·год [7].

Отже, турбогенератори типу ТВВ-1000-2 були й залишаються найбільш ненадійними на АЕС України, незважаючи на проведені АТ «Електросила» та фірмою «Alstom» (модернізація обмоток статора на Південноукраїнській, Хмельницькій та Рівненській АЕС) модернізації [7]. За результатами аналізу експлуатації турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 блоків українських АЕС, після модернізації, проведеної фірмою «Alstom», Держінспекція з експлуатації електричних станцій і мереж вважає, що при відомих конструктивних недоліках турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 виконані на даний час затратні заходи з їхньої модернізації та ремонту не забезпечили їхньої надійної експлуатації. Роботи проводились без належного аналізу реалізованих технічних рішень із підвищення надійності та якості виконання модернізації в умовах майданчиків українських АЕС [7]. Отже, низька надійність турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 є суттєвим чинником, що впливає на безпеку експлуатації енергоблоків АЕС України.

Досвід експлуатації турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 на Рівненській, Хмельницькій і Південноукраїнській АЕС виявив ряд конструктивних дефектів, які значно знижують показники їхньої надійності. Причому дефекти у всіх генераторів подібні, а саме: тріщини у сполучних шинах, підвищений рівень вібрації, витоки водню та дефекти системи охолодження. Установлення причин та передумов порушень у роботі турбогенераторів є основою для розробки організаційно-технічних профілактичних заходів по запобіганню подібних порушень. Перехід до організації ремонтів по технічному стану для турбогенераторів потребує широкого впровадження методів та засобів контролю, які дозволяють об'єктивно оцінювати технічний стан турбогенераторів, планувати обсяги та терміни ремонтів за результатами цієї оцінки. Поряд із роботами по удосконаленню конструкції турбогенераторів слід приділяти увагу заходам щодо забезпечення штатних режимів їхньої експлуатації, аналізу й удосконаленню технічної документації з експлуатації та обслуговування, розробленню нових інтелектуальних методів і засобів контролю та діагностики їхнього технічного стану. Необхідний також обґрунтований підхід до вибору напрямків модернізації, що враховує практичну необхідність та економічну доцільність.

На ефективність роботи Об'єднаної енергосистеми України (ОЕС України) істотно впливають підвищені рівні напруг на шинах електростанцій і в передавальних лініях, що спостерігаються протягом останнього десятиліття. Причиною виникнення проблеми підвищених напруг в основних мережах 330 - 750 кВ західних і центральних районів ОЕС України є наслідок накладення двох основних факторів: зниження рівня перетікань потужності по мережах 330 - 750 кВ, викликаного загальним зниженням рівня навантажень і різким обмеженням величини експорту електричної енергії в країні Східної Європи, з одного боку, і високою аварійністю шунтувальних реакторів на лініях 750 кВ, з іншого. Аналіз існуючого стану в економіці країни дає підставу припустити збереження гостроти проблеми з небезпечним підвищенням рівнів напруг, викликаних надлишком реактивної потужності в зазначених регіонах, ще на ряд років.

Така ситуація в ОЕС України безпосередньо впливає на роботу турбогенераторів та іншого електротехнічного обладнання енергоблоків АЕС, що за проектом повинне використовуватися в базових режимах навантаження. Проте через неприпустиме підвищення напруги на шинах станцій тур-

богенератори АЕС вимушено експлуатуються при підвищеному коефіцієнті потужності, здійснюючи регулювання перетікань реактивної потужності.

Турбогенератори енергоблоків АЕС протягом багатьох років постійно працюють зі значеннями $\cos \varphi$ у діапазоні 0,994 - 0,999, у той час як номінальним значенням $\cos \varphi$ для них є 0,9. Працюючи в базовому режимі по активній потужності, турбогенератори блоків 1000 МВт Рівненської і Хмельницької АЕС по реактивній потужності працюють у маневреному режимі з навантаженням, що змінюється протягом доби від 0 до 200 - 220 МВАр. Такі режими, у свою чергу, приводять до зниження стійкості енергоблоків, підвищенню циклічних електродинамічних і термомеханічних впливів на вузли як турбогенераторів, так і іншого електротехнічного обладнання. Наслідком чого є підвищене нагрівання торцевих зон сердечника статора, підвищені вібрації лобових частин обмотки тощо, що в остаточному підсумку веде до зниження надійності експлуатації і використання встановленої потужності енергоблоків.

Вимушене регулювання реактивної потужності енергоблоками АЕС не є штатним режимом експлуатації їхніх турбогенераторів і не може не впливати на їхній технічний стан. Експлуатація при підвищених $\cos j$ викликає перегрівання кінцевих зон статора, циклічні термомеханічні навантаження, зменшення ресурсу ізоляції тощо.

Розв'язанням проблеми регулювання перетоків реактивної потужності та нормалізації напруги на шинах електростанції та в прилеглих лініях електропередачі є встановлення компенсуючих пристроїв – реакторів і компенсаторів (синхронних, статичних), що дасть змогу оптимізувати режими експлуатації потужних турбогенераторів АЕС. В якості регуляторів реактивної потужності на АЕС та прилеглих підстанціях можуть використовуватися синхронні компенсатори, турбогенератори спеціальних типів – двохосового збудження (асинхронізовані, поздовжньо-поперечного збудження), а також звичайні синхронні турбогенератори, що працюють у режимі синхронного компенсатора. При паралельній роботі на АЕС турбогенераторів двохосового збудження й звичайних синхронних (СТГ) останні зможуть працювати в базовому режимі з номінальним $\cos j$, що підвищить їхню надійність і буде сприяти продовженню ресурсу. При цьому функції регулювання реактивної потужності візьмуть на себе турбогенератори двохосового збудження, споживаючи надлишкову реактивну потужність у періоди мінімумів навантаження. Слід також зазначити, що при такій роботі підвищується динамічна стійкість станції в цілому.

Ще одним шляхом оптимізації експлуатації потужних блоків АЕС є використання технологічних комплексів «АЕС – ГЕС – ГАЕС».

Низька частка встановленої потужності ГЕС, особливо ГАЕС, в енергетичному балансі ОЕС України представляє виключно неоптимальну структуру генеруючих потужностей, обумовлюють дефіцит маневрених потужностей, створюють дуже важкі та неефективні умови компенсації завантаження і проходження нічних та сезонних провалів в графіку споживання електроенергії. Згідно з оновленою Енергетичною стратегією України [9] у підсумку 2030 р. сумарна потужність гідрооб'єктів має досягти 10460 МВт, а середньорічне виробництво електроенергії на гідрооб'єктах 19345 млн кВт·год. Запропонована в стратегії програма оновлених заходів до 2030 р. дозволяє збільшити маневрені потужності в ОЕС України до 16 - 20 % загальної потужності електростанцій.

Недостачу маневрених потужностей та пікової електроенергії на етапі добудови власних ГАЕС уже сьогодні можливо було б компенсувати за рахунок більш тісного співробітництва з такими країнами ЄС, як Австрія, Норвегія, Швейцарія, в енергетичному балансі яких значне місце займають ГАЕС [10].

На цей час гідроенергетика (у першу чергу ГАЕС) – гарант технологічної безпеки експлуатації АЕС, насамперед завдяки своїм маневреним можливостям, чим забезпечуються штатні режими експлуатації АЕС. Ефективними, надійними та безпечними є енергетичні єдині технологічні комплекси «АЕС – ГЕС – ГАЕС». Розміщення ГЕС і ГАЕС поблизу АЕС, завдяки їхній швидкодії, дає змогу використовувати їх і як додатковий резерв електрозабезпечення власних потреб АЕС у позаштатних і аварійних ситуаціях.

Важливе місце в забезпеченні безпеки та надійності експлуатації атомних блоків АЕС займає пожежобезпечність реакторів та іншого обладнання. Велику небезпеку для АЕС представляє водень в системах охолодження турбогенераторів та іншого обладнання [11]. Хорошою перспективою в плані підвищення надійності та безпечності експлуатації АЕС є турбогенератори з повним повітряним охолодженням нового покоління, а також турбогенератори з повітряно-водяним і повністю водяним охолодженням. Також слід провести науково-дослідні роботи для пошуку пожежобезпечних і вибухобезпечних, хімічно та радіологічно інертних холодоагентів, також доцільно провести науково-дослідні

роботи по моделюванню охолодження в різноманітних газових сумішах [12]. Так наприклад, були проведені дослідження з інтенсивності охолодження турбогенераторів типу ТВВ-1000-2 газовими сумішами гелію й азоту та чистим гелієм [12]. Використання в системах охолодження турбогенераторів сумішей гелію та азоту або чистого гелію дорожче, але пожежо- та вибухобезпечніше. Результати моделювання показали доцільність подальших пошуків у цьому напрямку.

З огляду на вимоги безпеки водень повинен бути виключений з основного обладнання блоків АЕС. У тих випадках, коли необхідно з ряду причин експлуатувати турбогенератори з водневим охолодженням, з метою підвищення вибухо- та пожежобезпечності, доцільно використовувати різноманітні способи флегматизації водню (інгібітори горіння). Уже створено комбіновані речовини флегматизації та гасіння, запропоновано способи приготування та подачі таких речовин і методи підбору оптимального співвідношення компонентів. Уже сьогодні ці досягнення можуть бути реалізовані на діючих АЕС.

Не варто залишати без уваги можливість несанкціонованого довільного включення засобів захисту та автоматики, обумовлених комутаційними силовими електромагнітними впливами, тобто в деяких випадках спостерігається недостатнє електромагнітне екранування ланцюгів захисту та керування. Доцільно провести дослідження електромагнітних полів в зоні розташування ланцюгів керування систем безпеки АЕС, що дало б змогу розробити та впровадити заходи, які виключать можливість довільного включення (відключення) комутаційної апаратури.

Число застарілих АЕС постійно збільшується. Збільшується й частка обладнання на них, що вичерпало свій початковий розрахунковий ресурс. Збільшуються витрати на заміну, ремонт та модернізацію обладнання. Економічна ситуація примушує вирішувати проблему збільшення терміну експлуатації обладнання без зменшення показників надійності та безпечності. Перспектива тут за сучасними наукомісткими інтелектуальними технологіями.

Висновки та рекомендації

1. Україна є однією з найбільш енергозатратних країн у світі. Істотне технологічне відставання у більшості галузей, недостатність темпів структурної перебудови економіки, нерациональне використання паливно-енергетичних ресурсів, недостатність коштів для впровадження енергозберігаючих технологій є наслідками високої енергоємності ВВП в Україні.

2. Значна частина обладнання електростанцій України вичерпало свій початковий розрахунковий ресурс. Економічна ситуація в країні змушує вирішувати проблему збільшення терміну експлуатації обладнання без зменшення показників надійності та безпечності. Перспектива тут за сучасними наукомісткими інтелектуальними технологіями. Досвід інших країн указує на можливість продовження термінів експлуатації електростанцій без зменшення надійності та безпечності.

3. Україна входить до десятка країн світу, що найбільш використовують ядерну енергію для виробництва електричної енергії. На чотирьох АЕС експлуатуються 15 реакторів російського виробництва типу ВВЕР загальною потужністю 13,835 ГВт.

Від декількох ключових факторів залежать перспективи застосування ядерної енергії як джерела енергозабезпечення в майбутньому. Перш за все, це визнання громадськістю ролі ядерної енергетики як одного з надійних джерел енергозабезпечення сталого розвитку людства. Іншими ключовими факторами є технологічна зрілість, економічна конкурентоспроможність, екологічна прийнятність. Найвищим пріоритетом у розвитку атомної енергетики завжди була і буде безпека.

4. Підвищення рівня безпеки реакторів, підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності установок (КВВП) до 95 – 100 %, коефіцієнта готовності (Кг) до 90 – 100 %, продовження ресурсу до 50 - 60 і більше років, підвищення економічності, технічної ефективності та конкурентоспроможності в порівнянні з іншими формами вироблення енергії є основою подальшого розвитку атомної енергетичної техніки. Це вимагає подальшого проведення широких науково-технічних досліджень і розробок не тільки шляхом удосконалення існуючих ядерних енергетичних технологій, але й шляхом створення інноваційних типів реакторів і паливних циклів, що гарантують неможливість їхнього використання у військових цілях і характеризуються підвищеною ефективністю, більш низькими витратами і більш високим рівнем надійності та безпеки.

5. Суттєвим чинником надійної безпечної та ефективної експлуатації АЕС є надійність електротехнічного обладнання. Найбільш ненадійним елементом у технологічному ланцюжку «реактор - турбіна - турбогенератор - трансформатор» на сьогодні є турбогенератор. Найбільш ненадійними турбогенераторами на АЕС України були та лишаються турбогенератори типу ТВВ-1000-2. Для ви-

рішення проблеми підвищення надійності експлуатації, коефіцієнтів готовності та використання встановленої потужності турбогенераторів поряд із роботами по удосконаленню конструкції та модернізацією важливе значення мають питання розробки та впровадження нових інтелектуальних та удосконалення існуючих методів контролю та технічної діагностики, а також забезпечення штатних умов експлуатації.

6. Гідроенергетика (у першу чергу ГАЕС) на цей час може виступати гарантом технологічної безпеки експлуатації АЕС, що завдяки своїм маневреним можливостям дає змогу забезпечувати штатні режими експлуатації АЕС. Також, завдяки швидкодії, ГЕС і ГАЕС, що розміщені поблизу АЕС, можуть бути використані і як додатковий резерв електрозабезпечення власних потреб АЕС у позаштатних і аварійних ситуаціях. Енергетичні єдині технологічні комплекси «АЕС – ГЕС – ГАЕС» є ефективними, надійними та безпечними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Дмитренко Е.Д., Кириленко О.М.* Проблеми підвищення енергоефективності та енергозбереження України // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. – 2014.- № 38. – С. 60 – 63.
2. *Міністерство палива та енергетики України.* НЕК «Укренерго». Офіційний сайт [Електронний ресурс]. <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo> .
3. *Энергоатом* Украины. - 2014. [Електронний ресурс]. <http://www.energoatom.kiev.ua> .
4. *Счастливый Г.Г., Федоренко Г.М.* Проблема надежной и безопасной эксплуатации электротехнического оборудования АЭС // Вопросы атомной науки и техники. Вып. 2 (62), 3 (63). – Харьков: ННЦ ХФТИ, 1994. - С. 133 – 138.
5. *Державна служба статистики.* Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. <http://www.ukrstat.gov.ua> .
6. *Кенсичкий О.Г., А.А. Ключников, Федоренко Г.М.* Безопасность, надежность и эффективность эксплуатации электротехнического и электроэнергетического оборудования блоков АЭС: монография. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС, 2009. – 240 с.
7. *Ключников О.О., Федоренко Г.М., Виговський О.В.* Прогнозування термодфективів в обмотці та осерді статора потужних турбогенераторів блоків АЕС та їхня локалізація за допомогою інтелектуальних методів і засобів // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2011. – Вип. 17. – С. 17 – 26.
8. *Машины* электрические вращающиеся. Турбогенераторы. Общие технические условия. ДСТУ ГОСТ 533-2000.
9. *Оновлена* Енергетична стратегія України на період до 2030 року. – К., 2013.
10. *Шидловський А.К., Потапчик С.І., Федоренко Г.М.* Надійні гідроелектростанції – гарант технологічної та ефективної експлуатації АЕС та ТЕС // Гідроенергетика України. - 2005. - № 1. – С. 8 – 11.
11. *Микеев А.К.* Противопожарная защита АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 432 с.
12. *Федоренко Г.М., Виговський О.В.* Моделювання інтенсивності охолодження в газових сумішах турбогенераторів типу ТВВ-1000-2У3 // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2009. – Вип. 22. - С. 53 - 57.

А. В. Выговский

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, Киев, 03028, Украина

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Приведены и проанализированы главные проблемы энергетики Украины. Приведены данные по установленной мощности электростанций Украины и выработке электроэнергии на них за 2011 – 2014 гг. Раскрыты основные проблемы развития атомной энергетики в Украине и предложены пути их решения. Приведен анализ статистических данных повреждений турбогенераторов блоков АЭС Украины за 2010 – 2014 гг. Выполнена сравнительная оценка удельной повреждаемости турбогенераторов блоков АЭС Украины. Разработаны рекомендации по повышению безопасности, надёжности и эффективности эксплуатации энергоблоков АЭС Украины.

Ключевые слова: безопасность, надёжность, эффективность эксплуатации, энергоблок, турбогенератор.

A. V. Vygovskiy

Institute for Safety of Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Lysogirska str., 12, building 106, Kyiv, 03028, Ukraine

THE BASIC PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY IN UKRAINE AND WAYS OF THEIR DECISION

Main problems over of energy of Ukraine are brought and analysed. The data on installed power Ukrainian power plants and electricity generation on them for the 2011 – 2014 are resulted. The basic problems of development of nuclear energy in Ukraine are exposed and the ways of their decision are offered. The analysis of statistical data damage of turbogenerators units of NPP of Ukraine for 2010 - 2014 years is brought. The comparative estimation of specific defectiveness of turbogenerator of a nuclear power plant of Ukraine is executed. The recommendations to the increase of safety, reliability and efficiency of operation of units of NPP of Ukraine are designed.

Keywords: safety, reliability, efficiency of operation, power unit, turbogenerator.

REFERENCES

1. *Dmitrenko E.D., Kirilenko O.M.* Problems of energy efficiency and energy saving of Ukraine // *Problemy pidvyshcenniy effectyvnosti infrastruktury*. – 2014.- № 38. – P. 60 – 63. (Ukr)
2. Ministry of Fuel and Energy of Ukraine. NEK “Ukrenergo”. Official web-site [Electronic resource] <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo> .
3. *Energoatom* Ukraine. . - 2014. [Electronic resource] <http://www.energoatom.kiev.ua> .
4. *Schaslyviy G. G. Fedorenko G. M.* The problem of reliable and safe operation of electrical equipment of NPP // *Problems of Atomic Science and Technology*. Iss. 2 (62) – Harkov: NNC HFTU, 1994. - P. 133 – 138. (Rus)
5. *Government service of statistics*. Official web-site [Electronic resource]. <http://www.ukrstat.gov.ua> .
6. *Kensytskiy O. G., Kliuchykov A. A., Fedorenko G. M.* Safety, reliability and efficiency exploitation of electrical power equipment and nuclear power units. – Chornobyl: Institute for safety problems of nuclear power plants. 2009. - 240 p. (Rus)
7. *Kliuchykov O. O., Fedorenko G. M., Vygovskiy O. V.* Prediction thermal defects in the winding and stator core powerful turbogenerators npp units and their localization with intelligent methods and means // *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of nuclear power plants and of Chornobyl)*. - 2011. – Iss. 17. – P. 17 – 26. (Ukr)
8. *Machines electric rotating. Turbogenerators. General technical requirements. SSTU GOST 533-2000.* (Rus)
9. *Renewed Power strategy of Ukraine on a period to 2030 year.* – Kyiv, 2013. (Ukr)
10. *Shidlovskiy A.K, Potashnik S.I., Fedorenko G. M.* Reliable hydroelectric power stations - guarantor technological and efficient operation of NPP and thermal power plants // *Hydroenergetyka Ukrainy*. - 2005. - № 1. – P. 8 – 11. (Ukr)
11. *Mikeev A.K.* Fire-prevention protection of NPP. - Moscow.: Energoatomizdat, 1990. – 432 p. (Rus)
12. *Fedorenko G. M., Vygovskiy O. V.* Modelling the cooling intensity in gas mixtures of turbogenerators of a type TVV-1000-2U3. *Pratsi Instytutu elektrodunamiky NAN Ukrainy*. – 2009. – Iss. 22. – P. 53 - 57. (Ukr)

Надійшла 14.09.2016

Received 14.09.2016