



UA0100786

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

КІУІ--00-2

Препринт КІЯД-00-2

О. В. Сахно

ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ НА АЕС

52 / 50

Київ 2000

Проблеми експлуатації кабельних мереж на АЕС / Сахно О.В. - Київ, 2000. - 8 с. - (Препр. / НАН України. Ін-т ядерних досл.; КІЯД-00-2).

Проведено аналіз порушень у роботі АЕС України та показано, що безпека кабельних мереж є важливою частиною загальної аварійної безпеки станції. Описані експлуатаційні фактори, що супроводжують роботу кабелів на АЕС, а також характер їх впливу на кабельні матеріали. Виконано аналіз прийнятих на АЕС світу заходів безпеки, який підкреслює необхідність контролю фактичного стану обладнання та прогнозування його залишкового ресурсу. Окреслено коло питань, що потребують вирішення при створенні такої системи контролю для захисту кабельних мереж АЕС.

Табл. 3. Список літератури: с. 7 (14 назв).

Рецензент С.І.Азаров.

The problems of the cable communication operating at the NPP / Sahno A.V. - Kyiv, 2000. - 8 p. - (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for Nuclear Research; KINR-00-2).

The analysis of violations in Ukrainian NPP work is carried out. This analysis demonstrated that safety of cable communications is important for general NPP's accidental safety. The cable operation factors and characteristics of their impact on the cable materials are presented. The analysis of safety steps at the world NPP is carried out placing emphasis on the equipment real condition control and the prognostication of its residue lifetime duration. The issues related to decision of similar control system creation for protection of NPP cable communications is given.

3 tabs., 14 refs.

Затверджено до друку вченою радою
Інституту ядерних досліджень НАН України

Важливою умовою подальшого розвитку ядерної енергетики є забезпечення надійної та безаварійної експлуатації АЕС. У табл. 1 наведено дані про кількість порушень у роботі енергоблоків АЕС України за період 1992 - 1999 рр. [1]. З таблиці видно, що більше 38 % усіх порушень ініціюється відмовами електротехнічного обладнання. Якщо взяти до уваги те, що порушення в роботі цеху технічної автоматизації та інформатики (ЦТАІ) – це в більшості випадків відмови тих же кабелів, реле, автоматів та електроніки [2, 3], то загальна кількість аварійно-небезпечних ситуацій на блоках з вини вказаного вище обладнання сягає 59 %. Характерно, що при загальній тенденції до зменшення кількості порушень (див. табл. 1) їх відсоток з вини електротехнічної частини обладнання АЕС навіть зростає (з 38.2 у 1992 р. до 46.1 % у 1999 р.). Це свідчить, що системи захисту електричної частини АЕС недосконалі, а заходи захисту, які на цей час використовуються, малоефективні.

Досвід показує, що більшість пожеж на електростанціях виникає у кабельному господарстві. Загальна довжина кабельних ліній на АЕС у 2 - 3 рази більша, ніж на ТЕС, і, наприклад, для енергоблока з серійним реактором ВВЕР-1000/В-320 складає понад 8 тис. км [4]. Визначним моментом є екстремальні умови експлуатації частини кабельних магістралей. У табл. 2 подано перелік основних факторів, що супроводжують роботу кабельних ліній на АЕС, та їх вплив на матеріали кабельних виробів [4 - 7]. На відміну від кабелів загальнопромислового призначення кабелі АЕС знаходяться під впливом експлуатаційних факторів одночасно з потужним дозовим навантаженням і результат такої дії не є адитивним. Проведені дослідження [4 - 7] довели, що при комплексній дії має місце значно більша зміна властивостей речовин, ніж при окремій дії іонізуючого випромінювання та інших дестабілізуючих факторів. Так, у результаті радіолізу як повітря, так і матеріалів оболонки кабелю (полімерів) під дією опромінення зростає насиченість навколишнього середовища такими агресивними хімічними сполуками, як кисень, озон, діоксид азоту [4, 5], що веде до прискорення процесів окислення і деструкції полімерів. Експериментально встановлено [5], що випромінювання оптичного діапазону (вторинне випромінювання) одночасно з

Таблиця 1. Кількість позапланових відключень та порушень у роботі енергоблоків АЕС України за період 1992 - 1999 рр.

Тип реактора	Обладнання турбінного цеху (ТЦ)	Обладнання електроцеху (ЕЦ)	Обладнання реакторного цеху (РЦ)	Обладнання цеху технічної автоматизації та інформатики (ЦТАІ)	Обладнання хіміцеху (ХЦ)	Разом
1992 р.						
ВВЕР-440	6	16	3	4	-	29
ВВЕР-1000	35	66	36	38	5	180
РБМК-1000	3	4	5	4	-	16
Всього	44	86	44	46	5	225
	19.5	38.2	19.5	20.4	2.2	100
1993 р.						
ВВЕР-440	7	16	3	1	-	27
ВВЕР-1000	34	57	41	45	3	180
РБМК-1000	2	6	7	6	-	21
Всього	43	79	51	52	3	228
	18.9	34.6	22.4	22.8	1.3	100
1994 р.						
ВВЕР-440	6	13	1	-	-	20
ВВЕР-1000	23	53	25	33	7	141
РБМК-1000	2	4	8	2	-	16
Всього	31	70	34	35	7	177
	17.5	39.5	19.3	19.8	3.9	100
1995 р.						
ВВЕР-440	6	6	2	3	-	17
ВВЕР-1000	18	32	13	26	3	92
РБМК-1000	-	-	2	2	-	4
Всього	24	38	17	31	3	113
	21.1	33.6	15.0	27.4	2.6	100
1996 р.						
ВВЕР-440	1	8	1	-	-	10
ВВЕР-1000	19	29	17	16	2	83
РБМК-1000	1	3	4	3	-	11
Всього	21	40	22	19	2	104
	20.2	38.5	21.2	18.2	1.9	100
1997 р.						
ВВЕР-440	1	9	3	2	-	15
ВВЕР-1000	16	26	13	10	2	67
РБМК-1000	-	5	2	-	-	7
Всього	17	40	18	12	2	89
	19.1	44.9	20.3	13.5	2.2	100
1998 р.						
ВВЕР-440	4	17	2	3	1	27
ВВЕР-1000	7	18	16	13	1	55
РБМК-1000	2	6	5	4	-	17
Всього	13	41	23	20	2	99
	13.1	41.4	23.3	20.2	2.0	100
1999 р.						
ВВЕР-440	-	6	2	1	-	9
ВВЕР-1000	5	18	9	10	1	43
РБМК-1000	-	6	3	3	1	13
Всього	5	30	14	14	2	65
	7.7	46.1	21.5	21.5	3.2	100
Загальна кількість	198	424	223	229	24	1100
	18.1	38.6	20.3	20.8	2.2	100

Примітка. Чисельник - кількість порушень, знаменник - відсоток від загальної кількості.

Таблиця 2. Загальні експлуатаційні фактори, що впливають на ресурс роботи кабелів АЕС

Фактор небезпеки	Числові значення	Вплив на матеріали кабельного виробу
Іонізуюче випромінювання	$ПД_{\gamma} \approx 0,05+0,35 \text{ МГр}$ за весь період експлуатації, при аварії до 1.6 МГр, флюенс нейтронів $7 \cdot 10^{15} + 3 \cdot 10^{16}$	На звичайні процеси старіння накладає процеси "радіаційного старіння", поглиблює протікання незворотних процесів (зшивання, деструкції, зміни насиченості); приводить до радіолізу як повітря, так і матеріалів оболонки кабелю (полімерів), електризації поверхні кабелю, радіаційного розігріву тощо
Хімічно-активні компоненти навколишнього середовища	кисень – 21 %, озон – $0.1+0.3 \%$ (при опроміненні)	Прискорюють процеси окислення; приводять до руйнування оболонки під дією кисню та продуктів радіолізу повітря (озону, азотної кислоти та ін.)
Високі температури	до 448 К	Приводять до прискорення реакцій окислення, нитрування або ж збільшення швидкості корозії
Фоторадіаційний ефект (вторинне випромінювання)	має місце при $E_{\gamma} \approx 0.1 \text{ MeV}$, $E_{\beta} \approx 100 \text{ MeV}$	Посилює дію іонізуючого випромінювання на матеріали кабельних виробів (збільшує ПД); сприяє електризації поверхні кабелю; приводить до рекомбінаційної та радіоломінесценції
Підвищена вологість	до 98 %	Сприяє утворенню на поверхні кабелю азотної кислоти; прискорює процеси окислення
Електричні та магнітні поля	—	Впливають на механізм радіаційно-хімічних процесів; змінюють розподіл ПД у матеріалах; підвищують електропровідність діелектриків; приводять до електростатичної зарядки матеріалів оболонки
Механічні навантаження	—	Прискорюють процеси деградації матеріалів під дією опромінення; приводять до зміни надмолекулярної структури полімерної ізоляції; прискорюють швидкість озонового старіння
Високий (низький) тиск	від 0.05 до 0.6 МПа	Прискорює процеси окислення, деградації матеріалів оболонки кабелю; посилює механічні навантаження
Радіаційний розігрів	від 4.55 до 30.6 К (залежно від ПД та типу матеріалу)	Підвищує температуру матеріалів кабелю, зменшуючи реальний ресурс; прискорює процеси деградації
Деактивуючі розчини	H_3BO_3 – 16 г/кг, а також 0.5 % NaOH , 0.5 % KMnO_4 , 0.5 % HNO_3 тощо	Сприяють деструкції матеріалів оболонки кабелю, знижують їх механічні властивості

іонізуючим випромінюванням посилює дію останнього на матеріали кабельних виробів. А виникаюча під час взаємодії випромінювання з матеріалом ізоляції іонізація молекул приводить до електризації поверхні кабелю. Ці електричні поля суттєво впливають на механізм радіаційно-хімічних процесів, змінюють розподіл поглинутої дози (ПД) у матеріалах, підвищують електропровідність діелектриків [4]. Матеріали жили кабелю (метали та їх сплави) досить стійкі до радіаційних

ушкоджень, однак їх опромінення в присутності газів, рідин та твердих тіл, чутливих до іонізації, сприяє хімічній взаємодії і може призвести до прискорення реакцій окислення, нітрування або ж збільшення швидкості корозії [4]. Внаслідок радіолізу ізоляційних матеріалів кабелю поява таких речовин є досить вірогідною. Це може призвести до втрати механічних показників і не виключає й обриву жили та втрати контакту. Особливо важким періодом експлуатації кабелів є режим "великої аварії", коли параметри наведених факторів зростають у 2 – 3 рази. Так, у технічній документації на кабельні вироби для АЕС вимоги з радіаційної стійкості не перевищують 0.5 МГр [4]. При безаварійній роботі АЕС сумарна ПД для кабелів, працюючих під захисною оболонкою реактора, за весь період експлуатації становить 0.05 - 0.35 МГр. Але при одній можливій аварії інтенсивність випромінювання зростає і максимальна ПД може сягати 1.6 МГр [4]. Легко передбачити, що кабельні вироби, які були піддані дії таких навантажень, вийдуть з ладу задовго до закінчення призначеного терміну служби. Імовірність відмови таких кабелів стрімко зростає саме під час аварій (перевантажень), тобто цілком можлива втрата оперативного контролю над розвитком ситуації з вини кабельної продукції.

Як у нашій країні, так і за кордоном на АЕС використовуються цілі комплекси проектно-технічних рішень безпеки (табл. 3) [8 - 12]. Проте переважна їх більшість не враховує особливостей власне технологічного процесу і побудована на тих же принципах, які прийняті в інших галузях промисловості. Так, широко розповсюджене покриття кабельних ліній та несучих конструкцій вогнезахисними пастами та матеріалами [8 - 10]. Суттєвим недоліком цієї технології є те, що при використанні вогнезахисних покриттів струменеві навантаження кабелів необхідно знижувати на 5 – 10 % (згідно з правилом Мотзингера [11]), оскільки ці матеріали мають низький коефіцієнт теплопередачі. У той же час зниження струменевих навантажень на АЕС України регламентом не передбачено. На особливу увагу заслуговує розроблена німецькою фірмою "Сіменс" розрахункова програма TEMPW [12], що дозволяє моделювати розвиток постульованої пожежі як у окремих приміщеннях, так і у системі приміщень АЕС. Але, знову ж таки, ця програма орієнтована на прогнозування та оцінку лише наслідків виникнення пожежі, а не самого факту її виникнення.

Таким чином, типові системи технологічного і пожежного захисту та відповідна їм апаратура не придатні для існуючих енергетичних об'єктів, оскільки вони реагують вже на сам факт займання чи горіння кабелю, у той час як стан об'єкта вже критичний. Додаткове завантаження станцій протипожежними заходами під тиском наглядових організацій приводить лише до зростання вартості виробленої електроенергії, тоді як ефект від їх впровадження досить сумнівний. Усі вищезгадані заходи лише зменшують збитки від пожеж, але не виключають їх. У той же час на жодній з АЕС не передбачено безперервну фіксацію параметрів та теплових режимів обладнання, що впливають на ресурс роботи. Це на дас змоги мати повну картину старіння ізоляції, що може призвести до виникнення несподіваної для персоналу аварійної ситуації чи пожежі.

**Таблиця 3. Основні проектно-технічні заходи пожежної безпеки,
прийняті на АЕС світу**

Протипожежний захід	Розповсюдження	Загальні недоліки
Класифікація територій та приміщень АЕС відповідно до ступеня ризику виникнення пожежі	Країни колишнього СРСР	Орієнтована на локалізацію та швидку ліквідацію наслідків уже існуючої пожежі
Розподілення приміщень АЕС по зонам різного рівня небезпеки з метою нерозповсюдження пожежі між ними	Східна Європа, США	Те саме
Завчасна розробка планів та планшетів евакуації персоналу та дій аварійних і пожежних команд	Великобританія	Орієнтована на захист персоналу та ліквідацію уже існуючої пожежі
Моделювання розвитку пожеж та оцінка наслідків з метою розробки планів подальших дій	Німеччина	Орієнтоване на прогнозування та оцінку наслідків виникнення пожежі а не самого факту її виникнення
Встановлення автоматичних систем сигналізації та пожежогасіння	Країни колишнього СРСР, Європа, США, Азія	Системи реагують на факт займання чи горіння кабелів; існує ймовірність втрати працездатності цих систем
Застосування вогнезахисних та вогнетривких паст і матеріалів	Країни колишнього СРСР, Європа, США, Азія	Вогнезахисні матеріали мають низький коефіцієнт тепловідводу; необхідно знижувати струменеві навантаження кабелів на 5 – 10 %

Ще в 1991 р. на нараді у Берліні [13] відзначалася зростаюча увага спеціалістів до моніторингу обладнання і систем під час експлуатації та широкого використання діагностики, автоматичного контролю та прогнозування роботи систем АЕС. Система контролю, побудована за принципом попередження (прогнозування) небезпечних ситуацій, може забезпечити найбільш повний та ефективний захист кабельних ліній і попередити можливість виникнення пожеж на кабелях АЕС (за винятком зовнішніх факторів: підпал, падіння літака, стихійне лихо тощо). Використання таких систем надасть можливість відмовитися від тих капітаоемних і малоефективних заходів, що пропонуються на цей час організаціями пожежного нагляду.

Огляд відповідної літератури дає змогу стверджувати, що задача обчислення ресурсу та прогнозування аварійних ситуацій і пожеж на кабельних лініях АЕС цілком реальна. Її можливо вирішити шляхом нагляду за умовами експлуатації кабелів та аналізу цієї інформації із застосуванням математичних моделей їх подальшої поведінки. Такі моделі вже існують [14], але для їх використання на реальному об'єкті необхідно знати відповідні коефіцієнти переходу. Ці коефіцієнти можна визначити експериментальним шляхом, але на даний час подібні роботи не проводяться. При розробці ефективних систем захисту необхідно також враховувати дію експлуатаційних факторів (див. табл. 2), що

вносять значні корективи в протікання процесів старіння. На цей час ще не накопичено досить даних, які б дозволили визначати (прогнозувати) ресурс матеріалу на основі розрахунків швидкості його старіння при сукупній дії кількох експлуатаційних факторів. Такі питання, як тип і швидкість радіаційно-хімічних процесів деградації, що протікають у працюючому кабелі; поведінка кабелю при порушенні експлуатаційних вимог чи під час пожежі (тобто як довго зберігатиметься працездатність кабелю при пожежі та які структурні зміни при цьому відбуваються) можливо вирішити лише після додаткового проведення цілого комплексу різноманітних експериментів, досліджень та випробовувань. Необхідно також враховувати конструктивні особливості і технологію виготовлення кабелів, що можуть вплинути на зниження їх ресурсу в умовах реальної експлуатації на АЕС.

Висновки

Стан аварійної та пожежної безпеки кабельних мереж АЕС у даний час вже не відповідає зростаючим вимогам, особливо з урахуванням росту частки АЕС в енергозабезпеченні України. Маневрові режими експлуатації станцій приводять до посилення навантаження на обладнання, прискорення процесів його деградації та підвищення пошкоджуваності. Проблема збільшення економічної ефективності та безпеки роботи станцій диктує необхідність розробки і впровадження нових методів обслуговування та ремонту обладнання – з урахуванням його фактичного стану та прогнозування залишкового ресурсу. Для кабельних ліній (як найбільш слабкої ланки в системі аварійного захисту АЕС) необхідно вирішити такі питання:

- виконати комплекс експериментальних досліджень процесів деградації та старіння як окремих матеріалів, так і кабелю в цілому в умовах, властивих для АЕС;

- визначити закономірності та характерні показники зміни властивостей матеріалів під дією експлуатаційних факторів.

Дослідження поведінки кабелів необхідно проводити в усіх можливих на АЕС режимах експлуатації, включно з роботою під час пожежі. Подібні дослідження можливо організувати за допомогою окремої радіаційної установки з відповідним метрологічним обладнанням, параметри якої повинні дозволяти моделювання реальних умов на АЕС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Оценка* текущего состояния эксплуатационной безопасности энергоблоков АЭС Украины (Отчеты о нарушениях 13АП-П05-01-02-92 – 3ЮУК-П02-07-09-99).
2. *Штейнберг Н.А., Каменев Ю.А.* Влияние качества электротехнического оборудования на функционирование атомной станции // *Электрические станции.* - 1992. - № 4. - С. 41 - 45.
3. *Счастливый Г.Г., Федоренко Г.М.* Проблема надежной и безопасной эксплуатации электротехнического оборудования АЭС // *Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение.* - 1994. - Вып. 2, 3 (62, 63). - С. 133 - 138.
4. *Финкель Э.Э., Дикерман Д.Н.* Кабели и провода для ядерных энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 136 с.
5. *Клишишнт Э.Р., Миллнчук В.К., Тушков В.И.* Радиационная стойкость полимерных материалов // *Атомная энергия.* - 1994. - Т. 76, вып. 5. - С. 422 - 428.
6. *Витковский И.В., Неверов В.А., Ревякин Ю.Л. и др.* Влияние теплового и радиационного воздействия на свойства проводниковых материалов из основе меди // *Атомная энергия.* - 1991. - Т. 71, вып. 5. - С. 455 - 458.
7. *Книжжик Е.И., Брисман Б.А., Токаревский В.В.* Радиационный разогрев полимеров. Оценка максимальной температуры // *Атомная энергия.* - 1991. - Т. 70, вып. 6. - С. 376 - 380.
8. *Совершенствование средств противопожарной защиты АЭС / Сост. В.В. Виктор* // *Атомная техника за рубежом.* - 1993. - № 2. - С. 9 - 10.
9. *Денисов В.А.* Причина пожаров на АЭС и пути их предотвращения // *Энергетическое строительство.* - 1992. - № 5. - С. 25 - 28.
10. *Микеев А.К.* Противопожарная защита АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 438 с.
11. *Томчай С.П.* Обзор состояния контроля эксплуатационных показателей кабельных коммуникаций АЭС. - Киев, 1995. - 10 с. - (Препр. / НАН Украины. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-95-10).
12. *Защита АЭС от пожаров / Сост. В.В. Румянцев* // *Атомная техника за рубежом.* - 1994. - № 1. - С. 18 - 22.
13. *Бараненко В.И., Бакиров М.Б., Янченко Ю.А.* Продление ресурса энергоблоков на ТЭС и АЭС в США // *Атомная техника за рубежом.* - 1997. - № 6. - С. 12 - 17.
14. *Томчай С.П.* Математические основы прогнозирования состояния кабельных коммуникаций на ядерных физических установках. - Киев, 1995. - 10 с. - (Препр. / НАН Украины. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-95-2).

Рукопис надійшов 20 вересня 2000 р.

Наукове видання

САХНО Олександр Володимирович

ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ НА АЕС

Редактор Л.М. Троян

Підп. до друку 10.11.00. Формат 60х90 / 16. Папір офс. Офс. друк.
Умовн. друк. арк. 0.5. Тираж 130 прим. Зам. 36

Інститут ядерних досліджень НАН України
03680, Київ-28, проспект Науки, 47
