

УДК 621.039.58:001.8

Д. В. Воронцов, О. І. Лігоцький, Р. І. Серафін,
Л. М. Ткачова

Державний науково-технічний центр
з ядерної та радіаційної безпеки, м. Київ, Україна

Результати проведення відбору порушень на АЕС України з використанням алгоритму відбору за методом подій- попередників

Описано загальний підхід до виконання першого етапу НДР з аналізу порушень у роботі АЕС України за період з 01.01.2000 по 31.12.2010 методом подій-попередників. Наведено групи потенційно-важливих подій, отримані за результатами відбору та групування порушень.

Ключові слова: безпека АЕС, імовірнісний аналіз безпеки, аналіз порушень, подія-попередник.

Д. В. Воронцов, А. И. Лигоцкий, Р. И. Серафин, Л. Н. Ткачова

Результаты отбора нарушений на АЭС Украины с использованием алгоритма отбора по методу событий-предшественников

Описаны общий подход к выполнению первого этапа НИР по анализу нарушений в работе АЭС Украины за период с 01.01.2000 по 31.12.2010 методом событий-предшественников. Приведены группы потенциально-важных событий, полученных по результатам отбора и группировки нарушений.

Ключевые слова: безопасность АЭС, вероятностный анализ безопасности, анализ нарушений, событие-предшественник.

© Д. В. Воронцов, О. І. Лігоцький, Р. І. Серафін, Л. М. Ткачова, 2012

Порушення в роботі, як один з елементів досвіду експлуатації, показують «слабкі місця» енергоблоків, які потребують вжиття відповідних коригуючих заходів. Дані про порушення в роботі АЕС забезпечують експертів вихідною інформацією для виконання оцінки рівня безпеки експлуатації, культури безпеки, аналізу людського фактора, а також виявлення особливостей роботи та недоліків конструкції елементів та систем енергоблока, недоліків у процедурах технічного обслуговування та інструкціях з експлуатації. Таким чином, аналіз порушень у роботі АЕС є невід'ємною частиною процесу підвищення рівня їх безпеки.

Починаючи з 1993 р., на замовлення Держатомрегулювання України, Державним підприємством «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) щорічно виконується науково-дослідна робота (НДР) «Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України», результати якої використовуються Держатомрегулюванням України в діяльності з оцінки рівня експлуатаційної безпеки АЕС.

Поглиблений аналіз порушень у роботі АЕС (один з напрямів зазначеної НДР) до 2009 р. проводився тільки за допомогою детерміністичних методів. Відповідно до документа НП 306.2.141–2008 [1], одним з основних критеріїв безпеки АЕС є неперевищення проектом встановленої частоти пошкодження активної зони (ЧПАЗ) та частоти граничного аварійного викиду (ЧГВВ), які є імовірнісними критеріями. Таким чином, доцільним є виконання кількісного аналізу впливу потенційно-важливих порушень на зазначені вище кількісні показники безпеки АЕС за допомогою імовірнісних методів на постійній основі.

Проводити систематичну оцінку досвіду експлуатації енергоблоків АЕС з визначенням та ранжуванням тих порушень, у ході яких виникла найбільш висока потенційна небезпека недостатнього охолодження активної зони реактора та/або її пошкодження, дозволяє метод аналізу подій-попередників. Цей метод з 1979 р. використовується Комісією ядерного регулювання (КЯР) США, а також запроваджений низкою інших країн з розвинутою атомною енергетикою (Німеччина [2], Франція [3] та ін.). На основі аналізу досвіду використання даного методу розроблено адаптований для аналізу порушень на АЕС України алгоритм, головні елементи якого описані нижче. Перші спроби використання адаптованого алгоритму на постійній основі зроблено у 2010–2011 рр. в рамках оперативного та технологічного аналізу порушень. У роботах [4–7] за допомогою методу подій-попередників проаналізовано окремі одиничні порушення. Аналіз значної кількості порушень за допомогою адаптованого алгоритму здійснено під час виконання НДР [8] «Збір та систематизація даних з порушень, які відбулися на АЕС України за період з 2000 по 2010 роки, з метою визначення переліку представницьких подій-попередників аварій» в рамках угоди між ДНТЦ ЯРБ та Брукхевенською національною лабораторією. Ця робота складається з двох етапів. На першому етапі НДР, основні результати якої наведено в даній статті, проаналізовано 410 звітів про порушення в роботі АЕС України, які сталися протягом 2000–2010 рр., з них відібрано потенційно-важливі події для подальшого детального якісного та кількісного аналізу, який проводитиметься на другому етапі роботи. Для відбору порушень у роботі АЕС України джерелами інформації служили інформаційна система «Порушення в роботі АЕС» (далі — ІС «Порушення»), що ведеться в Держатомрегулюванні України, та звіти з розслідування порушень у роботі АЕС України за період з 01.01.2000 по 31.12.2010.

ІС «Порушення» призначена для забезпечення обліку інформації про порушення в роботі АЕС України та її подальшого аналізу. Зазначена інформаційна система містить основні дані щодо всіх звітів про розслідування та звіти про додаткове розслідування порушень, які відбувалися із 1992 р.

Загальний алгоритм аналізу порушень методом подій-попередників. Алгоритм аналізу порушень у роботі АЕС України методом подій-попередників розроблено на основі адаптації підходів [9, 10], які використовувалися КЯР США, та з урахуванням досвіду робіт щодо аналізів подій-попередників, виконаних фахівцями ДНТЦ ЯРБ [11–13]. Алгоритм дає змогу відбирати потенційно-важливі порушення із загального переліку, представленого для аналізу, оцінювати їх вплив на кількісні показники АЕС і на підставі отриманих результатів робити висновки та рекомендації.

Алгоритм аналізу порушень методом подій-попередників складається із семи основних етапів: 1) попередній відбір; 2) детальний відбір; 3) групування порушень; 4) якісна оцінка; 5) попередня оцінка; 6) детальна оцінка; 7) розробка висновків та рекомендацій.

Під час розробки критеріїв *попереднього відбору* сформовано набір ознак, які вирізняють потенційні події-попередники із загальної кількості порушень. У рамках адаптованого алгоритму він отримав назву «мінімальний набір ознак подій-попередників». Критерії попереднього відбору сформовано відповідно до словника кодів НП 306.2.100–2009 [14], з використанням якого представлено інформацію в ІС «Порушення». Завдяки цьому оптимізується та полегшується робота експертів на першому етапі відбору, коли розглядається найбільша кількість порушень. Слід мати на увазі, що відібране за такими ознаками порушення не обов'язково є подією-попередником. Навіть після проходження всіх етапів відбору воно може бути відсіяне в процесі виконання кількісного аналізу.

Мінімальний набір ознак подій-попередників являє собою визначений набір критеріїв для відбору порушень, за яких відбулася відмова систем, необхідних для підтримання енергоблока в безпечному стані. За критерії використовуються категорії порушень у роботі АЕС, стан енергоблока до порушення, системи, що відмовили та/або зазнали впливу, характер порушення в роботі АЕС та ін.

Після проходження етапу попереднього відбору порушення отримують назву «події з мінімальним набором ознак подій-попередників».

На етапі *детального відбору* формується перелік потенційно-важливих подій — порушень, які задовольняють критеріям першого та другого етапів відбору. Список даних критеріїв сформовано на підставі аналізу та адаптації критеріїв робіт [9, 10], які використовувалися у відборі порушень за допомогою методу подій-попередників на АЕС США. Зазначені критерії орієнтовані на відбір порушень з відмовою чи непрацездатністю обладнання систем, важливих для безпеки (СВБ), робота якого була необхідна, випадків з помилками персоналу та ін.

Якщо після попереднього та детального відборів у списку потенційно-важливих подій містяться порушення зі спільними ознаками (наприклад, відмова однакового обладнання або систем РУ, аналогічний сценарій, однакові наслідки), то проводиться *групування* таких порушень. Кількісний аналіз в імовірнісних моделях надалі виконується для груп, а не для кожного з аналогічних порушень окремо.

На основі результатів, отриманих на етапах 1–6, розробляються висновки та рекомендації.

Використання адаптованого алгоритму в аналізі значної кількості порушень [8], які відбулися за десятирічний період, дозволяє перевірити його коректність і ефективність та виявити потребу в доопрацюванні. Так, при виконанні першого етапу НДР [8] відкориговано критерії попереднього та детального відбору порушень, додано етап групування потенційно-важливих подій.

Результати відбору порушень у роботі АЕС. З використанням описаного алгоритму на першому етапі роботи розглянуто 410 порушень, які сталися в роботі АЕС України протягом 2000–2010 рр.

На етапі попереднього відбору відібрано 228 порушень, які мали мінімальний набір ознак подій-попередників, з них на етапі детального відбору відсіяно 156, класифіковано як потенційно-важливі 72 порушення.

Детальний відбір виконувався на основі інформації, представленої у звітах про розслідування порушень у роботі АЕС України.

Кількісні результати попереднього та детального відборів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати відбору порушень, які сталися на енергоблоках України за період з 01.01.2000. по 31.12.2010

Група порушень	ЗАЕС	РАЕС	ХАЕС	ЮУАЕС	Усі блоки
Загальна кількість порушень	126	101	101	82	410
Події з мінімальним набором ознак подій-попередників	56	50	74	48	228
Потенційно-важливі події, які підлягають детальному аналізу в рамках другого етапу	6	13	44	9	72

Зазначимо, що найвищою порівняно з іншими АЕС України до 2011 р. в перерахунку на один енергоблок залишалася кількість порушень на ХАЕС, удвічі перевищуючи даний показник по галузі. Це обумовлено великою кількістю порушень з відмовами обладнання систем безпеки (СБ), які виявлялися під час проведення періодичних перевірок їх працездатності. Оскільки критерії відбору адаптованого алгоритму аналізу подій-попередників спрямовані в першу чергу на відбір порушень з відмовами СВБ, група потенційно-важливих подій для ХАЕС містить значну кількість відібраних порушень (39 із 44 потенційно-важливих подій на ХАЕС виявлено в процесі опробувань або ТО).

За результатами інспекційної перевірки організації ремонту та технічного обслуговування СБ на ХАЕС,

проведеної Держатомрегулювання України в 2006 р., було встановлено, що адміністративно-технічним персоналом АЕС приділяється недостатня увага до забезпечення необхідної працездатності обладнання СБ, крім того, виявлено порушення вимог безпеки під час проведення його модифікацій, ремонту та технічного обслуговування. У 2011 р. ситуація з виникненням порушень на ХАЕС

значно покращилася внаслідок більш якісного проведення техобслуговування і ремонтів обладнання СБ та СВБ.

Переглядаючи потенційно-важливі події, отримані детальним відбором, виявлено багато порушень зі спільними ознаками, внаслідок чого виконано їх групування. За результатами групування отримано 20 груп (табл. 2), які будуть детально проаналізовані на другому етапі НДР.

Таблиця 2. Результати групування потенційно-важливих порушень, що сталися на АЕС України за період із 01.01.2000 по 31.12.2010

№ п/п	Назва та опис групи	Кількість віднесених порушень
1	Неготовність каналу системи техводи групи «А» Порушення, пов'язані з відмовами елементів системи технічної води відповідальних споживачів: несправністю регулюючого клапана VF60S05; течєю трубопроводу подачі води на охолодження РДЕС; непрацездатністю насоса QF11D02 при відмові на запуск насоса QF11D02	6
2	Відмови вентагрегатів Порушення, під час якого, при проведенні комплексних випробувань каналу СБ, вимкнулися вентагрегат охолодження приміщень гермозони та вентагрегат охолодження шахти реактора й підковпачкового простору при запуску від автоматики ступеневого навантаження	1
3	Відмови імпульсно-запобіжних клапанів компенсатора тиску (ІЗК КТ) Порушення, під час якого відбулося незакриття головного запобіжного клапана ІЗК КТ при проведенні планової перевірки працездатності реальним підвищенням тиску в першому контурі	1
4	Зниження рівня в басейні перевантаження та басейні витримки Порушення, яке сталося під час ППР енергоблока, у ході перевантаження свіжого палива. Відбулася течя води з басейну перевантаження палива через форсунки каналу спринклерної системи в бокс ПГ внаслідок неповного закриття засувки оперативним персоналом	1
5	Відмови в системі надійного електропостачання Порушення, що призвели до знеструмлення секцій системи надійного електропостачання. Причини знеструмлення: двофазне коротке замикання фаз «А» та «В» струмопроводу 24 кВ через землю в результаті потрапляння блискавки; механічне пошкодження магістралі резервного живлення, яка знаходилася під напругою; відмови системи керування генераторного вимикача; відмова трансформатора секції 0,4 кВ	5
6	Відмови елементів системи компенсації тиску Протікання 1-го контуру крізь затвори вентилів на дренажі трубопроводів вприску в КТ із холодної нитки ГЦК; течя по зварному шву штуцера імпульсного трубопроводу «зрівняльної посудини» КТ; течя по сальниковому ущільненню штока засувки на лінії вприску холодної води в КТ; нещільність трубки ТЕН; свищ фланцевого з'єднання на ІЗП КТ	6
7	Непрацездатність дизель-генератора (ДГ) Неготовність ДГ виконати свої функції під час комплексних випробувань каналів СБ	13
8	Відмова швидкодіючої редуційної установки скидання пари в конденсатор (ШРУ-К) Відмови ШРУ-К в незакритому положенні	2
9	Свищ на дренажному трубопроводі петлі головного циркуляційного контуру (ГЦК) Порушення, при якому на дренажному трубопроводі ГЦК утворився свищ. Витік теплоносія 1-го контуру відбувався з витратою 0,4 м ³ за зміну	1
10	Порушення в роботі головного циркуляційного насоса (ГЦН) Порушення із загорянням масла в піддоні для збирання протікань ГЦН-4	1
11	Відмова одного каналу гідроємностей системи аварійного охолодження активної зони (ГЄ САОЗ) Порушення з відмовою арматури: зниження тиску в гідроємності САОЗ внаслідок відкриття запобіжного клапана; відмова швидкодіючої арматури через відключення автоматичного вимикача АП-50 живлення схеми керування	4
12	Непрацездатність двох каналів системи аварійного розхолодження низького тиску (САОЗ НТ) TQ12(22,32) Непрацездатність двох каналів САОЗ НТ через помилку персоналу — виведення в ремонт каналу САОЗ НТ при несправному третьому каналі	1
13	Неготовність швидкодіючої редуційної установки скидання пари в атмосферу (ШРУ-А) Порушення спричинено втратою щільності роз'ємного з'єднання «корпус — кришка» ШРУ-А № 4	1

№ п/п	Назва та опис групи	Кількість віднесених порушень
14	Непрацездатність одного каналу системи аварійного введення бору високого тиску TQ14(24,34) Відмови насосів через підвищену вібрацію та через протікання води з колектора запоршневої зони гідравлічної частини насосного агрегату; відмови арматури через міжвиткове замикання в обмотці електродвигуна	3
15	Непрацездатність одного каналу системи аварійного охолодження активної зони високого тиску (CAOЗ ВТ) TQ13(23,33) Відмови насосів через відмови вимикача насоса та через тривалу роботу в безвитратному режимі; відмови арматур: запірної арматури TQ23S07 на трубопроводі подачі РБК в 1-й контур; TQ33S11 байпаса зворотного клапана TQ33S10 внаслідок течі в місці переходу конічної частини корпусу до циліндричної частини арматури; на лінії рециркуляції, що призвели до тривалої роботи насоса зі зниженою витратою та в безвитратному режимі та виведення каналу СБ в ремонт для проведення ревізії внутрішньокорпусних вузлів насоса	8
16	Непрацездатність одного каналу CAOЗ НТ TQ12(22,32) Відмови насосів через відмови вимикачів; відмови арматур через дефект електроприводів	4
17	Непрацездатність одного каналу спринклерної системи TQ11(21,31) Відмови насосів через зростання температури підшипників електродвигуна та через дефект датчика термоконтролю 2-го підшипника насосу; відмови арматури TQ11S02 на лінії рециркуляції внаслідок «обриву» тарілок; теча трубопроводу рециркуляції насоса TQ31D01	4
18	Непрацездатність елемента каналу локалізуючої СБ Відмови арматури через непрацездатність пневморозподільвачів та через неспрацювання кінцевого вимикача	3
19	Непрацездатність одного каналу системи аварійної живильної води парогенераторів (ПГ) TX10(20,30) Відмови насосів через відмови вимикача; відмови арматури TX10S04 у проміжному положенні	6
20	Неготовність двох каналів системи аварійної живильної води ПГ TX10(20,30) Залежна відмова насосу TX20D01 і випробування 3-го каналу безпеки від захистів CAOЗ із розібраною електричною схемою арматури на напорі насоса TX30D01 призвело до неготовності виконати проектну функцію двома каналами системи аварійної живильної води ПГ	1
Загальна кількість порушень		72

Як видно з рис. 1, кількість порушень та відібраних потенційно-важливих подій має тенденцію до зменшення. Частка потенційно-важливих подій у загальній кількості порушень за рік коливається в діапазоні 11,1–27,3 %.

Частка потенційно-важливих подій (ПВП) у загальній кількості порушень за 2000–2010 рр. становить 17,6 %, з них 12,2 % (50 порушень) виявлено під час опробувань або ТО (рис. 2).

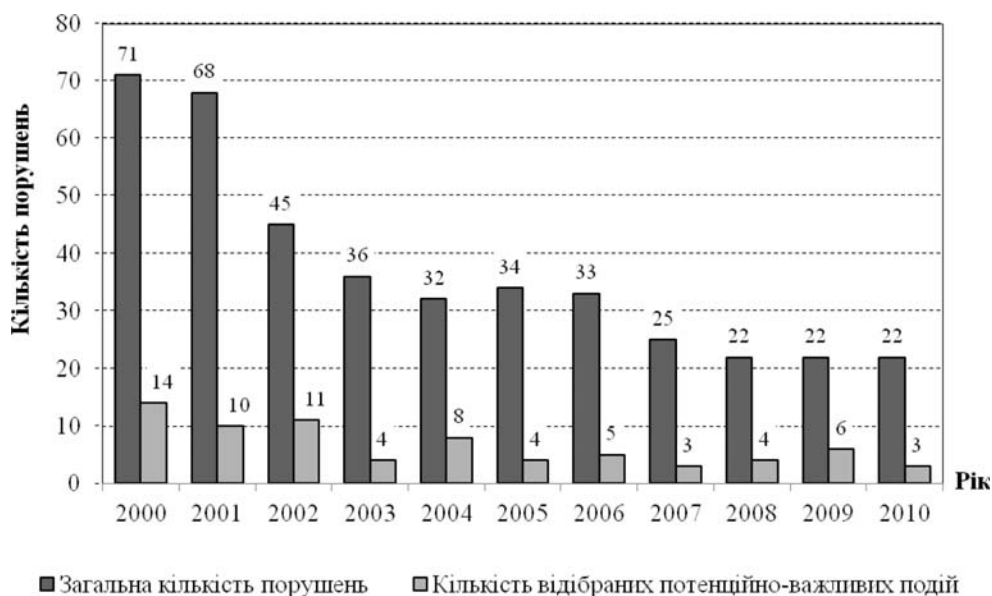


Рис. 1. Розподіл потенційно-важливих подій по роках

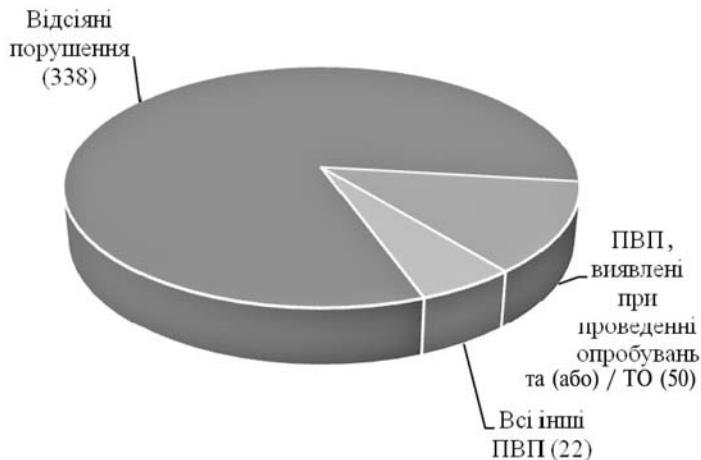


Рис. 2. Частка потенційно-важливих подій у загальній кількості порушень, які сталися на АЕС України за 2000–2010 рр.

ПВП, виявлені при проведенні опробувань/ТО, входять до 14 груп табл. 2, а групи 2, 3, 7, 12, 15, 16, 17, 19 складаються виключно із зазначених порушень. Це пояснюється тим, що за нормальної роботи АЕС СБ перебувають в режимі очікування. Їх спрацювання відбувається дуже рідко, в разі виникнення необхідних умов, і, в більшості випадків, успішно. Відмови елементів СБ, в основному, виявляються під час опробування систем, що підтверджують результати детального відбору.

Висновки

Під час виконання першого етапу роботи з аналізу порушень методом подій-попередників проаналізовано 410 звітів про порушення в роботі АЕС України за період з 01.01.2000 по 31.12.2010. На етапі попереднього відбору відібрано 228 порушень, які мають мінімальний набір ознак подій-попередників, на етапі детального відбору — 72 порушення, які є потенційно-важливими з точки зору впливу на безпеку АЕС. Для зазначених потенційно-важливих порушень виконано групування з утворенням 20 груп.

Під час виконання другого етапу роботи буде виконано якісний та кількісний аналіз порушень кожної з отриманих груп, визначено їх важливість з точки зору впливу на кількісні показники безпеки АЕС та проведено оцінку можливих сценаріїв перетікання зазначених груп порушень у аварії з пошкодженням активної зони. За результатами проведеного аналізу розроблятимуться відповідні висновки та необхідні рекомендації.

Кінцевою метою робіт, що виконуються з використанням методу подій-попередників, є отримання ефективної методики, відпрацьованої й перевіреної в процесі аналізу реальних порушень, та її запровадження на постійній основі в роботі Держатомрегулювання України як інструменту кількісного аналізу впливу порушень на безпеку АЕС.

Список використаної літератури

1. НП 306.2.141–2008. Загальні положення безпеки атомних станцій.
2. Hoertner, H. Results of the precursor analysis for German nuclear power plants / Hoertner, H., Babst, S. // PSA '99 (Proc. Int. Top. Mtg on Probabilistic Safety Assessment, Washington, DC, 1999). — American Nuclear Society, Inc., La Grange Park, Illinois, 1999.
3. An operating PSA application at EDF: The Probabilistic Incident Analysis / Dubreuil-Chambardel, A., Francois, P., Pesme, H., Maliverney, B. // Proc. Probabilistic Safety Assessment and Management '96, ESREL'96 — PSAMIII, Crete, 1996. — Springer-Verlag London Limited, London, 1996.
4. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України в 2009–2010 рр. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України за 2009 рік : Звіт про НДР (проміжний, етап 2). — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2010.
5. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України в 2009–2010 рр. Оперативний та технологічний аналіз порушень в роботі АЕС України за перше півріччя 2010 року : Звіт про НДР (проміжний, етап 3). — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2010.
6. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України в 2009–2010 рр. Оперативний та технологічний аналіз порушень в роботі АЕС України за 2010 рік : Звіт про НДР (заключний, етап 4). — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2010.
7. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України в 2011–2012 рр. Оперативний та технологічний аналіз порушень в роботі АЕС України за перше півріччя 2011 року : Звіт про НДР (проміжний, етап 1). — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2011.
8. Технічна підтримка щодо освоєння сучасних міжнародних підходів, які використовує КЯР США до оцінки ризику від експлуатаційних подій на АЕС. Збір та систематизація даних з порушень, які відбулися на АЕС України за період з 2000 по 2010 роки, з метою визначення переліку представницьких подій-попередників аварій : Звіт про НДР (етап 1). — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2011. — 99 с.
9. Minarick, J. W. Precursors to Potential Severe Core Damage Accidents / J. W. Minarick, J. W. Cletcher, and A. A. Blake // 1988, A Status Report. NUREG/CR-4674, Vol. 9-10, February 1990. — Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1990.
10. Precursors to Potential Severe Core Damage Accidents / Vanden Heuvel, L. N., J. W. Cletcher, D. A. Copinger, J. W. Minarick, and B. W. Dolan // 1993, A Status Report. NUREG/CR-4674, Vol. 19–20, September 1994. — Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1994.
11. Сбор и обработка эксплуатационных данных по ИСА и надежности СБ энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 для использования при анализе событий-предшественников аварий : Отчет о НИР (заключительный). — К.: ГНТЦ ЯРБ, 1996.
12. Разработка расчетной модели предшественников аварий для блоков ВВЭР-1000: Отчет о НИР (заключительный). — К.: ГНТЦ ЯРБ, 1998. — 182 с.
13. Анализ риска возникновения тяжелых последствий при нарушениях в работе АЭС Украины за 1992–1997 годы. Выработка и обоснование предложений по внедрению корректирующих мероприятий : Отчет о НИР (заключительный). — К.: ГНТЦ ЯРБ, 1999. — 112 с.
14. НП 306.2.100–2004. Норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки. Регулювання безпеки ядерних установок. Положення про порядок розслідування та обліку порушень в роботі атомних електричних станцій. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 01.12.2004 № 184, зареєстр. в Мін'юсті України 17.12.2004 за № 1594/10193.

Отримано 17.08.2012.