

УДК 621.03.58: 621.311.25

## ЗАСТОСУВАННЯ ІМОВІРНІСНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКУ ВРАЗЛИВОСТІ АЕС ПРИ ПАДІННІ ЛІТАКА

*С.І. Азаров, Г.А. Сорокін (ІЯД НАН України, м. Київ)*

У теперішній час в Україні знаходиться в експлуатації 15 ядерних енергоблоків з реакторами типу ВВЕР, ЧАЕС, яка знімається з експлуатації з блоками типу РВПК, та об'єкт «Укриття». При аналізі безпеки АЕС необхідно враховувати можливість пошкодження (руйнування) реакторної установки або систем, які забезпечують її безпеку, у результаті зовнішніх впливів, у тому числі пов'язаних з діяльністю людини.

У статті аналізуються проблеми безпеки АЕС при можливому падінні літака на неї.

### Вступ

У ряді можливих зовнішніх техногенних впливів на АЕС значне місце займають події, які пов'язані з авіаційними подіями, при яких, за тих або інших обставин, літак або його частина можуть впасти на головний корпус і зруйнувати реактор, або системи, важливі для забезпечення безпеки. У теперішній час визнано, що найбільш конструктивним підходом до оцінки адекватності мір по захисту АЕС від падіння літака є імовірнісний аналіз [1–3].

Ціль цієї статті полягає в тому, щоб на основі даних про стан громадської авіації в Україні, параметрах літаків, характеристик повітряного руху в районі АЕС, безпеки польотів, балістичних характеристик падаючих літаків або їх обломків оцінити імовірність їх попадання у головний корпус, де розміщена реакторна установка.

### Основні показники діяльності аеропортів України

Проведений аналіз по багатьох параметрах сучасного стану аеропортів України дозволив зробити наступні висновки. Постійні споруди, які складають інфраструктуру авіаційного транспорту України (аеровокзали, вантажні комплекси, аеродроми, центри технічного обслуговування і ремонту авіатехніки, системи управління повітряним рухом), мають значний запас потужностей, можуть забезпечити значні показники по обсягах перевезень.

Але зараз вони використовуються для обслуговування незначних пасажиропотоків, не забезпечують надходження засобів, необхідних для нормального розвитку цивільної авіації, і навпаки, вимагають додаткового фінансування для підтримки їх в робочому стані, тобто фактично є збитковими. Слід зазначити, що більшість авіакомпаній, зацікавлених в польотах до України, орієнтована на експлуатацію літаків нового покоління. Відповідно до цього програми реконструкції і технічного оновлення постійних споруд, перш за все, аеропортів, можуть бути складені лише з урахуванням вимог ефективної експлуатації льотної техніки нового покоління і перспектив розвитку повітряних повідомлень.

Всього в Україні на сьогоднішній день налічується 163 об'єкти, які дійсно можна назвати «аеропорт». Проте переважна більшість з них є лише злітно-посадочними майданчиками, в кращому разі для сільськогосподарської авіації. За даними об'єднання «Аеропорти України», в Україні є 31 аеропорт, призначений для обслуговування великих потоків пасажирів і вантажів (у всіх

обласних центрах, а також в таких великих містах, як Маріуполь, Краматорськ, Северодонецьк, Кривий Ріг, Керч).

Проте велика частина з вищезгаданого 31 аеропорту на сьогоднішній день не працює. Внаслідок надто низького завантаження більшість рейсів з цих аеропортів скасована. За останніми даними, в Україні діють не більше десяти аеропортів.

Реально перспективи розвитку в Україні мають вісім аеропортів, два київських — «Бориспіль» і «Жуляни», а також аеропорти Сімферополя, Донецька, Харкова, Дніпропетровська, Одеси і Львова. Причому на сьогоднішній день приблизно половина всього пасажиропотоку в Україні проходить через «Бориспіль». Решта аеропортів за радянських часів в основному обслуговувала «місцеві», внутрішньоукраїнські пасажиропотоки. Сьогодні, з падінням рівня життя в більшості регіонів України і, як наслідок, зменшенням кількості потенційних авіапасажирів аеропорти не в змозі працювати рентабельно. «Зовнішні» пасажиропотоки «перемикаються» на вісім вищеперелічених аеропортів, хоча 16 аеропортів України мають статус міжнародних, ще 15 видані тимчасові дозволи на міжнародні авіап перевезення. Правда, без такого дозволу сьогодні жодному аеропорту вижити не можна навіть теоретично, оскільки 77% пасажиропотоку припадає на зарубіжні рейси.

Маршрутна мережа авіаційного транспорту України становить 250 тис. км. На внутрішніх лініях 23 авіакомпанії здійснюють регулярні польоти по 37 маршрутам, а іноземні авіакомпанії здійснюють польоти рейси в 27 країн світу (Росія, Німеччина, Великобританія, Угорщина, Польща, Австралія, Терція, Франція, Голландія та ін.).

В 2004 році авіаційний парк України нараховував 380 літаків, з них лише 200 знаходяться в придатному для здійснення польотів стані [4]:

- Парк авіаційної техніки морально і фізично застарів, його основу складають літаки, які відстають за своїми характеристиками від зарубіжних аналогів та не відповідають нормам льотної гідності;
- Значна частина літаків не належить переобладнанню (модернізації) відповідно до сучасних вимог безпеки польотів;
- Відсутність державного регулювання діяльності приватних авіакомпаній в умовах ринкових економічних відносин (наявність професійно підготовлених кадрів, здатних кваліфіковано виконувати роботи по організації повітряних перевезень, організація льотної роботи, інженерно-технічної експлуатації, обслуговування та ремонту обладнання, наявність нормативно правових документів і т.д.);
- Відсутність сучасних засобів і систем навігації, які забезпечують безпеку за любых обставин.

#### **Аналіз стану авіаційної техніки в Україні**

Літаком називається апарат, важчий за повітря, який рухається за допомогою силової установки. Характерними елементами літака є несучі поверхні (крила), які створюють підйомну силу; силові установки (двигуни), фюзеляж, вантажні відсіки та кабіну екіпажу, а також шасі. Літаки забезпечені системами ручного і автоматичного управління рухом, навігаційним обладнанням, системою кондиціонування повітря, обладнанням, яке захищає від

заледеніння, протипожежним обладнанням, а також аварійно-рятувальними засобами.

По дальності польоту літаки діляться на магістральні та місцеві повітряні лінії [5]:

- Магістральні:  $L > 1000$  км;
- Середньомагістральні:  $L - (2500-6000)$  км;
- Близьньомагістральні:  $L$  до 2500 км.

Дальність польотів місцевих ліній не перевищує 1000 км.

За максимальною злітною масою літаки діляться на 4 класи [6]:

1. злітна маса більше 75 тон;
2. злітна маса від 30 до 75 тон;
3. злітна маса від 10 до 30 тон;
4. злітна маса менше 10 тон.

Іноді використовується наступна класифікація літаків:

5. важкі: більше 136 тон;
6. середні: від 7 до 136 тон;
7. легкі: менше 7 тон.

Розрізняють широко фюзеляжні та вузько фюзеляжні літаки.

Крейсерна швидкість літака з турбореактивним двигуном лежить у межах від 7000 до 950 км/год, турбогвинтовими і турбовентиляторними двигунами від 250 до 750 км/год.

Існуючий парк авіаційної техніки України складається в основному з літаків виробництва СРСР, які морально і фізично застаріли. До теперішнього часу напрацювання великої кількості літаків старих типів підходить до меж встановлених для них ресурсів. В результаті цього виникла проблема забезпечення заданого рівня безпеки і надійності тривало експлуатованих літаків, тобто проблема підтримки льотної придатності старіючих літаків [7].

Основний об'єм перевезень пасажирів авіакомпаніями України здійснюється на літаках наступних типів В-737, Як-42, Ан-24, Як-40. Наймасовішим літаком з представлених є Ан-24 (83 шт.).

Питомі об'єми пасажирських перевезень між цими типами літаків розподілилися таким чином (див. рис.1).

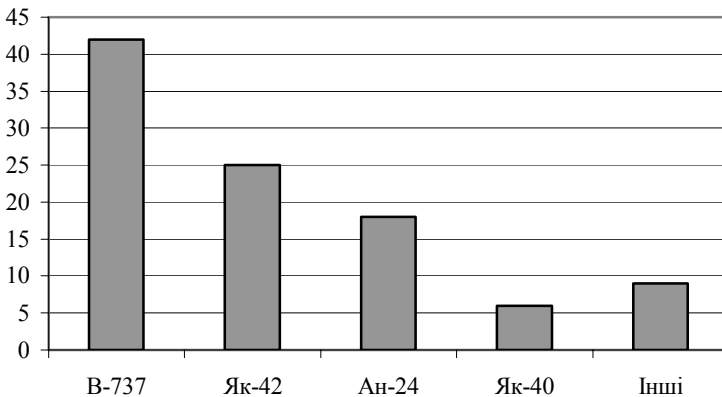


Рис. 1. Питомі об'єми пасажирських перевезень по типах літаків

Аналіз наведених даних на Рис. 1 показує, що 88% пасажирів в Україні перевозять три типи літаків В-737, Як-42 і Ан-24, оскільки ці типи літаків задіяні на виконанні регулярних чартерних, замовлених польотів. По кількісному складу в Україні наймасовішими літаками є Як-40, Як-42 і Ан-24 (див. табл. 1.) В той же час парк літаків Ан-24 і Як-40 є найстарішим, на експлуатації знаходяться літаки 1970-1975 рр. випуску (Ан-24) і 1975-1982 г.г. випуску (Як-40).

Таблиця 1. Склад основного парку лінійних повітряних судів України

Тип літака	Кількість літаків	Призначений ресурс	Середній по парку літаків		
			Наліт	Посадки	Вік
Ан-24	83	54000 л.г. 36000 пос. 30 р.	34870	27944	27,9
Як-40	51	32000 л.г. 28000 пос. 25 р.	23729	17751	23,5
Як-42	26	15000 л.г. 10000 пос. 20 р.	7580	3210	16,3

Враховуючи ресурси літаків і календарні терміни служби приведених в табл. 1, то ці літаки повинні бути списані в 2005 році. Якщо ж розглядати весь парк аналізованих літаків (табл.1) та більшість з них має витрачений ресурс в середньому на 70%.

Експлуатаційно-технічні характеристики літаків, які пролітають в районі розміщення АЕС вказані в табл. 2 [5,7].

Таблиця 2. Типи літаків та їх польотні характеристики

Тип	Клас	Код	Розмах крил, м	Витрата палива, т/год	Швидкість крейс., км/год	Висота польоту, км	Злітна маса, т	Дальність, км	Частота падіння, 1/рік	Навантаження від удару, МН	Тривалість удару, мс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АН-124	1	A4F	73,3	13,5	750	11,1	392	3800	$2,8 \cdot 10^{-5}$	570	180
АН-140	1	A40	70,0	10,0	576	11,0	100	3900	$2,9 \cdot 10^{-5}$	280	310
АН-22	1	AN22	64,4	6,0	600	10,0	225	5250	$3,1 \cdot 10^{-5}$	460	210
АН-70	1	A70	39,0	12,5	750	10,0	130	5000	$4,0 \cdot 10^{-7}$	320	360
Ту-154б	1	T154	37,55	6,43	870	12,5	98	2850	$3,2 \cdot 10^{-7}$	250	290
Ту-154м	1	T154	37,55	4,5	870	12,5	100	3600	$3,0 \cdot 10^{-7}$	270	300
В-737	1	B737	39,3	5,5	900	12,5	91	5000	$8,0 \cdot 10^{-10}$	90	390
АН-12	2	AN12	38,015	2,45	570	10,5	54	2800	$2,8 \cdot 10^{-5}$	145	190
АН-12бк	2	AN12	38,015	2,45	580	10,5	61	3600	$7,1 \cdot 10^{-7}$	145	190
Як-42	2	YK42	34,88	3,97	750	9,1	54	1460	$6,0 \cdot 10^{-7}$	150	200
АН-72	2	AN72	31,89	2,0	700	11,8	34,8	2000	$4,0 \cdot 10^{-6}$	90	120
АН-74	2	AN74	31,89	2,0	700	9,6	36,5	1750	$4,9 \cdot 10^{-6}$	35	110
Як-40	3	YK40	25	1,35	510	8,0	16,1	1200	$5,0 \cdot 10^{-7}$	19,5	250

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АН-32	3	АН32	29,2	1,2	530	9,5	27,0	1950	$2,3 \cdot 10^{-5}$	24,6	270
АН-24	3	АН24	29,2	0,8	450	7,3	21,8	1200	$1,5 \cdot 10^{-5}$	20,2	250
АН-26	3	АН26	29,2	0,9	430	7,3	24,0	1200	$2,4 \cdot 10^{-5}$	22,0	260
АН-28	4	АН28	22,06	0,3	320	3,0	6,5	515	$5,0 \cdot 10^{-6}$	4,5	100
Л-410	4	Л410	19,98	0,3	320	3,0	5,8	700	$7,0 \cdot 10^{-6}$	3,2	90
АН-2	4	АН2	18,18	0,1	180	4,5	5,25	1200	$1,2 \cdot 10^{-5}$	2,9	75

### Аналіз безпеки польотів цивільної авіації в Україні

Безпека польотів є якісною характеристикою загрози при виконанні польотів, кількісну ж її оцінку визначає рівень безпеки польотів.

Рівень безпеки польотів – характеристика авіаційної транспортної системи, що визначається імовірністю того, що в польоті не виникне катастрофічна ситуація. Іншими словами, рівень безпеки польотів (РБП) – це ймовірність невиникнення катастрофічної ситуації при виконанні польотів [8].

У визначенні РБП використовуються поняття "авіаційна транспортна система" (АТС) і катастрофічна ситуація (КС), які також необхідно визначити.

Авіаційна транспортна система – сукупність елементів (екіпаж, повітряне судно, служби забезпечення польотів тощо), які взаємодіють у процесі виконання польотів і взаємозв'язані функціонально [9].

Загроза життю і здоров'ю людей не виникає, якщо умови польоту відповідають очікуваним умовам експлуатації, а всі елементи АТС функціонують без відхилень.

Очікувані умови експлуатації – умови, що стали відомі з практики або виникнення яких можна передбачати протягом терміну служби літаку з урахуванням його призначення [10].

Очікувані умови експлуатації (ОУЕ) містять у собі:

- параметри стану і впливу на літак зовнішнього середовища;
- експлуатаційні фактори (склад екіпажа; маси, центрування, конфігурації літака і особливості його застосування; характеристики аеродромів, повітряних трас, повітряних ліній і маршрутів, наземних засобів забезпечення польоту; періодичність і види технічного обслуговування, ресурс, термін служби, застосовувані паливно мастильних матеріалів, режими роботи двигунів, мінімуми погоди і т.д.)
- параметри (режими) польоту.

Відхилення в роботі елементів АТС виникають внаслідок виникнення в польоті небезпечних факторів (факторів небезпеки), явищ, дій, умов, обставин, недоглядів, відхилень, наявності або відсутності яких вплинуло або могло вплинути на виникнення і розвиток особливої ситуації в польоті [11].

Особлива ситуація – ситуація, що виникає в польоті в результаті впливу небезпечних факторів (факторів небезпеки) або їхніх сполучень, що приводять до зниження безпеки польотів [12].

Катастрофічна ситуація є одним із видів особливих ситуацій (ОС), які за ступенем небезпеки підрозділяються на: ускладнення умов польоту (УУП); складну ситуацію (СС); аварійну ситуацію (АС) і катастрофічну ситуацію (КС).

В якості критеріїв ОС, які дозволяють їх ідентифікувати, прийняті наступні [12]:

- ступінь збільшення психофізіологічного навантаження на екіпаж (незначна, помітна, значна);
- ступінь погіршення характеристик стійкості, керованості або льотних характеристик (незначна, помітна, значна);
- положення параметрів польоту щодо обмежень (експлуатаційних і граничних). Експлуатаційні обмеження – умови, режими і значення параметрів, навмисний вихід за межі яких неприпустимий у процесі експлуатації літака. Граничні обмеження – обмеження режимів польоту, вихід за які неприпустимий ні при яких умовах;
- характер дій екіпажа, необхідних для виходу з ОС. Наявність критеріїв ОС дає змогу визначити їх.

УУП – особлива ситуація, що характеризується незначним збільшенням психофізіологічного навантаження на екіпаж або незначним погіршенням характеристик стійкості і керованості або льотних характеристик, що не приводить до необхідності негайного або не передбаченого заздалегідь плану польоту і не перешкоджаючи його благополучному завершенню, що допускає зміну плану польоту.

СС – особлива ситуація, що характеризується помітним підвищенням психофізіологічного навантаження на екіпаж або помітне погіршення характеристик стійкості і керованості або льотних характеристик, або виходом одного або декількох параметрів польоту за експлуатаційні обмеження, але без досягнення граничних обмежень і (або) розрахункових умов, що приводить до необхідності негайної зміни плану, профілю або режиму польоту.

АС – особлива ситуація, що характеризується значним підвищенням психофізіологічного навантаження на екіпаж або значне погіршення характеристик стійкості і керованості або льотних характеристик, або приводить до досягнення (перевищення) граничних обмежень і (або) розрахункових умов.

КС – особлива ситуація, при виникненні якої запобігання загибелі людей і (або) втрати літака виявляється практично неможливим.

За частотою виникнення ОС підрозділяються на: повторювані з імовірністю виникнення  $P > 10^{-3}$ ; помірковано ймовірні з імовірністю виникнення  $P = 10^{-5} \dots 10^{-3}$ ; малоймовірні з імовірністю виникнення  $P = 10^{-7} \dots 10^{-5}$ ; у край малоймовірні з імовірністю виникнення  $P = 10^{-9} \dots 10^{-7}$ ; практично неймовірні з імовірністю виникнення  $P < 10^{-9}$  [13].

Взаємозв'язок частоти і важкості ОС характеризується тим, що УУП відносяться до повторюваних і помірковано ймовірних подій; СС – малоймовірних; АС – у край малоймовірних; КС – практично неймовірних.

Таким чином, рівень безпеки польотів як імовірність невиникнення катастрофічної ситуації можна визначити як  $УБП = 1 - P_{КС}$  де  $P_{КС}$  – імовірність виникнення катастрофічної ситуації.

З урахуванням того, що виникнення КС оцінюється як практично неймовірна подія, тобто характеризується імовірністю виникнення  $< 10^{-9}$ , нормативне значення рівня безпеки польотів буде в цьому випадку дорівнювати:  $УБП_{норм} = 1 - P_{КС} = 1 - (< 10^{-9}) \approx 0,999\ 999\ 999$ , тобто, з 1 000 000 000 польотів в середньому 1 завершується катастрофою, інші закінчуються благополучно (без катастрофи).

Варто звернути увагу, що фактичний рівень безпеки польотів, як впливає зі статистики авіаційних подій, практично на три порядки гірше, тобто  $УБП_{\text{факт}} \approx 0,999\ 999$ , і, таким чином, фактично з того ж таки 1 000 000 000 польотів в середньому 1000 закінчуються катастрофою.

Проведені розрахунки зайвий раз підкреслюють актуальність проблеми забезпечення безпеки польотів, як найважливішої проблеми сучасної авіації.

При розгляді й аналізі особливих ситуацій приймається допущення, що вони можуть переростати одна в іншу (ситуація може ускладнюватися, що супроводжується збільшенням небезпеки), тобто, маємо наступний логічний ланцюжок: УУП→СС→АС→КС.

У цьому випадку, розвиток особливих ситуацій може завершуватися такими наслідками: УУП – без наслідків; СС, АС, КС – авіаційними подіями, причому КС однозначно закінчується катастрофою.

Авіаційна подія – подія, зв'язана з використанням повітряного судна, яке має місце з моменту, коли яка-небудь особа піднімається на борт наміром здійснити політ, до моменту, коли всі, що знаходилися на борту особи, залишили повітряне судно, і в ході якого: яка-небудь особа одержує тілесні ушкодження зі смертельним результатом або серйозні тілесні ушкодження, або повітряне судно одержує серйозні ушкодження конструкції або виникла інша загроза безпеки польотів [12].

Авіаційні події (АП) поділяються на катастрофи, аварії, серйозні інциденти й інциденти [11].

Катастрофа – АП з людськими жертвами, що призвела до загибелі або пропажі без звістки кого-небудь з пасажирів, членів екіпажа або третіх осіб, а також у випадку одержання ними тілесних ушкоджень зі смертельним результатом під час:

- а) перебування на даному літаку;
- б) безпосереднього зіткнення з якою-небудь частиною літака, включаючи частини, що відокремилися від даного літака;
- в) безпосередньої дії струменя газів реактивного двигуна;
- г) зникнення безвісти літака. Літак вважається зниклим безвісти, коли був припинений офіційний пошук і не було встановлене місцезнаходження елементів його конструкції. Рішення про припинення пошуку літака, що пропав безвісти, приймає повноважний орган держави по розслідуванню АП, на території якого відбулася АП;

д) до катастроф відносяться також випадки загибелі кого-небудь з осіб, що знаходилися на борту, у процесі їхньої аварійної евакуації з літака.

У випадку тілесних ушкоджень, унаслідок яких протягом 30 діб з моменту АП наступила смерть, вони класифікуються як тілесні ушкодження зі смертельним результатом.

Аварія – АП без людських жертв, що призвела до серйозного ушкодження або руйнування літака, або серйозним тілесним ушкодженням пасажирів або членів екіпажа і третіх осіб, у результаті якого [14]:

- а) порушується міцність конструкції планера літака через руйнування силових елементів;

б) значно погіршуються технічні або льотні характеристики літака і необхідний значний ремонт для їхнього відновлення або неможливо відновити його льотну придатність;

в) літак, що знаходиться в такому місці, де доступ до нього і його евакуація з місця події неможливі;

г) будь-яка особа одержує серйозні тілесні ушкодження.

Серйозне ушкодження – ушкодження яке отримано внаслідок АП і яке призвело до порушення міцності його конструкції або (і) значного погіршення льотних характеристик, необхідності великого ремонту або заміни ушкодженого силового елемента конструкції.

Серйозне тілесне ушкодження – тілесне ушкодження, отримане особою під час АП, що:

а) вимагає госпіталізації особи більше чим на 48 годин протягом 7 днів з моменту АП;

б) призвело до перелому будь-якої кістки (за винятком простих переломів пальців рук, ніг або носа);

в) пов'язане з одержанням опіків другого і третього ступеня або будь-яких опіків, що ушкоджують більше 5% поверхні тіла;

г) пов'язане з підтвердженим фактом дії токсичних речовин або поразки радіацією;

д) призвело до переривання вагітності.

До аварій не відносяться: для літаків – випадки відмовлення або ушкодження двигуна, коли ушкоджений тільки сам двигун, його капоти або допоміжні агрегати або коли ушкоджені тільки повітряні гвинти, закінцівки крила, антени, пневматики, пристрою гальмування, обтічники, або в обшиванні є невеликі вм'ятини або пробоїни.

Серйозний інцидент – подія, обставини якого вказують на те, що ледь не мали місце катастрофа або аварія, для запобігання якого необхідне виконання екіпажем (службою обслуговування повітряного руху і забезпечення польотів) складних і (або) екстрених дій, що не застосовуються в умовах нормального польоту [15].

Для серйозних інцидентів характерні наступні ознаки:

- вихід літаку за границі очікуваних умов експлуатації;
- виникнення значних шкідливих впливів на екіпаж або пасажирів;
- значне підвищення робочого навантаження на екіпаж;
- втрата працездатності екіпажу в польоті;
- значні погіршення льотних і технічних характеристик і ускладнення в керуванні літаком.

Інцидент – подія, пов'язана з використанням літака, що обумовлено відхиленням від нормального функціонування літака, екіпажа, служб обслуговування повітряного руху і забезпечення польотів, впливом зовнішнього середовища, що погіршує безпеку польоту, але яке не закінчилося катастрофою, аварією або серйозним інцидентом.

До інцидентів не відносяться відмови будь-якої системи літака що виявляється екіпажем до моменту вирулювання, і який не привів до яких-небудь наслідків для пасажирів, екіпажа, третіх осіб, літака і навколишнього середовища.

В даний час використовується два принципових підходи до вирішення проблеми безпеки польотів: нормативне забезпечення та запобігання авіаційних подій.



Діяльність авіації будується на основі законів і нормативних положень, більшість з яких спрямовані на підтримку або підвищення безпеки польотів. Такий підхід до безпеки, часто іменований нормативним забезпеченням безпеки польотів, є невід’ємним елементом діяльності авіації України.

З метою аналізу стану безпеки в цивільній авіації України були розглянуті авіаційні події, що відбулися з літаками за період з 1997 по 2004 г. Розглянуті події відбулися при виконанні як регулярних так і чартерних авіаційних перевезень, як на внутрішніх так і на міжнародних лініях, а також при виконанні робіт в народному господарстві. По видах, розглядалися наступні події: катастрофа, аварія, серйозний інцидент, інцидент з літаком України. Кількісні показники цих подій зведені в табл. 3 [16–17].

Таблиця 3. Дані про стан безпеки польотів у цивільній авіації України за період 1997-2004 рр.

Класифікація авіаційної події		Рік							
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Катастрофа	К-сть	1	2	0	2	2	2	2	3
	$K_m$	0,55	1,19	0	1,26	1,26	1,32	1,35	1,71
Аварія	К-сть	6	3	2	1	1	1	2	2
	$K_m$	3,32	1,78	1,67	1,23	0,63	0,75	1,92	2,01
Інцидент	К-сть	97	79	84	64	57	75	115	95
	$K_m$	53,7	46,9	70,1	39,3	35,9	47,1	61,1	54,6

Примітка: коефіцієнт безпеки:

$$K_m = \frac{N}{T} \cdot 10^5, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість авіаційних подій;

$T$  – кількість годин польоту літаком.

Коефіцієнт безпеки від кількості катастроф у країнах СНД за період 2000–2004 рр. складав 0,6, у світі – 0,2, а в Україні, як видно з табл. 3. – 1,3.

Як видно з приведених даних, практично щороку відбувається одна – дві авіаційні події з людськими жертвами (катастрофи). Докладніший аналіз показує, що практично всі катастрофи відбулися при виконанні робіт в народному господарстві на вертольотах (легких літаках). Розслідування цих катастроф показало, що основними причинами є [16]:

- невідповідність технічної бази авіакомпаній;
- недостатня кваліфікація персоналу і малий досвід авіаційних перевезень;
- нечітка взаємодія авіакомпаній і замовників;
- низький рівень забезпечення у виконанні замовлених польотів.

Звертає на себе увагу також велика кількість інцидентів. Як причини появи інцидентів розглядалися відмови авіатехніки (з виділенням відмови двигуна) і помилки екіпажів (людський фактор). На рис. 2 показано розподіл кількості інцидентів за вказаний період часу.

За даний період інциденти пов’язані з діями екіпажів склали в середньому 14%. Інциденти, пов’язані з відмовами авіатехніки, складають в середньому 82%, від загального числа, а відмови двигунів складають 51%, від всіх відмов авіатехніки.

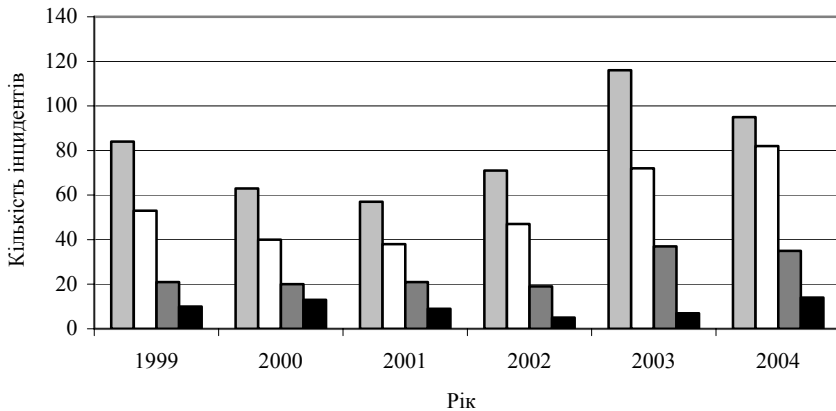


Рис. 2. Діаграма динаміки авіаційних інцидентів (Ряд 1 – загальна кількість інцидентів; ряд 2 – відмова авіатехніки; ряд 3 – відмова двигунів; ряд 4 – людський фактор)

### Розрахунок ймовірності падіння літака на АЕС

Падіння літака на АЕС — надзвичайна подія, ймовірність якого визначається в основному рівнем забезпечення безпеки польотів, їх інтенсивністю в даному районі, а також розподілом авіаційних подій по типу і характерним для них наслідкам. Безпека польотів визначається частотою виникнення авіаційних подій на 1 ч польоту і залежить, головним чином, від розвитку авіаційної техніки. Інтенсивність польотів в районі АС оцінюється з урахуванням адміністративно-організаційних заходів по їх обмеженню і є характеристикою району розташування об'єкту, як і розподіл авіаційних подій по типу.

Як показав аналіз можливих типів авіаційних подій, ураження може виникнути в результаті руйнування літака у польоті або його некерованого падіння, або втрати екіпажем просторового орієнтування в умовах обмеженої видимості. Під ураженням АЕС в даному випадку розуміється попадання на майданчик із заданими координатами і певного розміру як власне літака, так і його великих фрагментів у разі руйнування в повітрі.

У якості вхідних даних для оцінки ймовірнісних характеристик попадання літака в АЕС, були досліджені дані (табл. 2,3). Отримані розрахункові оцінки ймовірності авіаційної події за 1 годину польоту літаків 1-4 класів при довірчій ймовірності  $P = 0,9$  приведені на рис. 3.

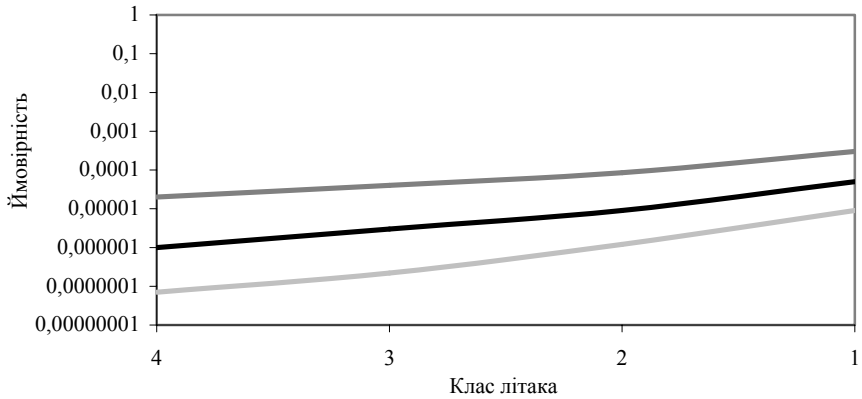


Рис. 3. Розрахункові оцінки виникнення авіаційної події

Для виконання розрахунку ймовірності вразливості енергоблоків АЕС від падіння літака аналізувались наступні дані [18-20]:

- наявність у межах 4, 10 і 16 кілометрів зон повітряних трас і аеродромів та відстані від найближчих з них до центру проммайданчика;
- інтенсивність і висота польотів літаків на найближчих повітряних трасах;
- типи й характеристики літаків, котрі можуть пролітати поблизу проммайданчика;
- рівень безпеки польотів;
- статистика авіакатастроф в Україні.

Ймовірність падіння літака (уламків) на проммайданчик АЕС на заданому проміжку часу внаслідок авіаційної катастрофи визначається за формулою [21]:

$$P = 1 - \exp(-N_j P_i^K), \quad (2)$$

де  $N_j$  – інтенсивність польотів  $j$ -го типу літака в зоні досяжності проммайданчика АЕС;

$P_i^K$  – ймовірність  $i$ -го типу авіаційної катастрофи за 1 годину польоту.

Площа, яка ушкоджується літаком  $m$ -го типу може бути розрахована по формулі:

$$S_{mn} = S_m + S_K, \quad (3)$$

$$S_m = (WS + R) \cdot H \cdot \text{ctg}\varphi + (2 \cdot L \cdot W \cdot WS) / R + L \cdot W, \quad (4)$$

$$S_K = (WS + R) \cdot K, \quad (5)$$

де  $S_m$  – ефективна площа без урахування сковзання літака по землі;

$S_K$  – ефективна площа сковзання літака по землі;

$WS$  – розмах крил літака;

$R$  – довжина діагоналі цілі =  $(L^2 + W^2)^{0.5}$ ;

$H$  – висота цілі;

$\text{ctg}\varphi$  – котангенс кута між напрямками падіння літака і горизонталю;

$L$  – довжина цілі;

$W$  – ширина цілі;

$K$  – довжина сковзання літака після дотику до землі.

Результати оцінок вразливості головного корпусу реакторної установки до падіння літаків різного класу (кількість подій на рік з довірчою ймовірністю  $P=0,99$ ) для АЕС України приведені на рис. 4 (згідно вхідних даних, отриманих в роботах [23–24]).

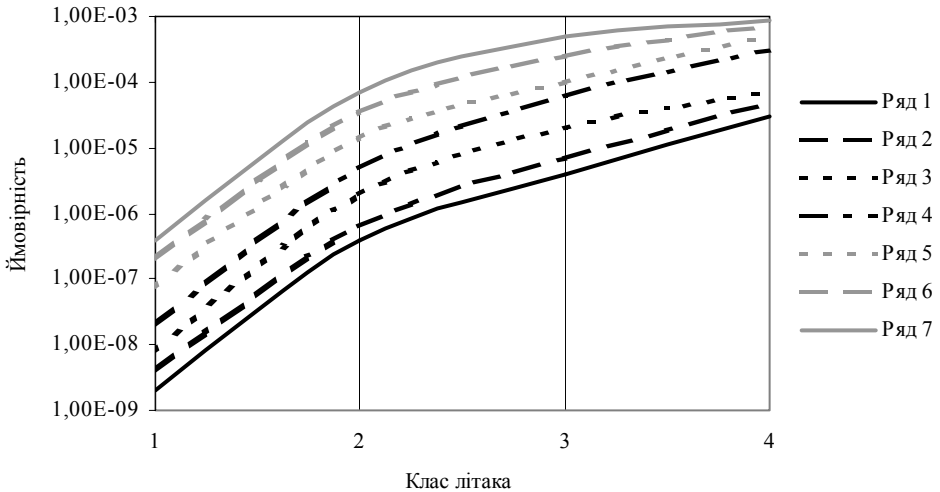


Рис. 4. Графічна залежність ризику руйнування головного корпусу реакторної установки при авіакатастрофі ( $10^7$  на реактор в рік)

- Ряд 1 – оптимальна оцінка (знизу);
- Ряд 2 – розрахована оцінка ЮУАЕС;
- Ряд 3 – розрахована оцінка ХАЕС;
- Ряд 4 – розрахована оцінка РАЕС;
- Ряд 5 – розрахована оцінка ЗАЕС;
- Ряд 6 – розрахована оцінка ЧАЕС;
- Ряд 7 – консервативна оцінка (зверху)

### Заключення

З наведених результатів розрахунків слідє, що падіння літака, або його уламків на головний корпус реакторної установки не є малоімовірною подією, а точкова оцінка ймовірності такої події може досягти консервативної

У якості мір запобігання падінню літака на АЕС вводяться обмеження на польоти, розміщення аеродромів, створюються транспортні коридори поблизу АЕС. Сам реактор може розміщуватись у спеціальній міцній захисній оболонці. Конкретні технічні рішення у значній мірі визначаються тим, які типи подій та з яким літаком потрібно враховувати при розробці захисних мір.

### ЛІТЕРАТУРА

1. IAEA Safety Guide No. 50-SG-S5, «External Man-Induced Events in Relation to Nuclear Power Plant Siting», IAEA. – Vienna. – 1983.
2. Prassinis, P. G. and C. Y. Kimura, «Aircraft Crash Assessment of U.S. Nuclear Power Plant Sitings Using the NRC Methodology», LLNL, UCRL-JC-128664, February 20, 1998.

3. NUREG/CR-4839. Methods for External Event Screening Quantification: Risk Methods Integration and Evaluation Program (RMIEP) Methods Development.
4. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов: теория и анализ. – М.: Транспорт. – 1986. – 224 с.
5. Комаров А.А. Основы авиации. Вступление в специальность. – Киев Высшая школа. – 1992. – 390 с.
6. Безопасность полетов летательных аппаратов: (Методические основы) / А.И. Стариков, В.Я. Зачеса, Н.Н. Зинковский и др. Под ред. А.И. Старикова. – М.: Транспорт. – 1988. – 159 с.
7. Козлюк И.А. Определение необходимого количества воздушных пассажирских судов на внутренних линиях по основным аэропортам Украины в прогнозируемом периоде / Математические машины и системы. – 2005, №4. – С. 96–100.
8. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП ГА-85). – М.: Возд. транспорт. – 1985. – 254 с.
9. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. (Дос. 9422-AN/923). – Монреаль: ИКАО. – 1984. – 138 с.
10. Методические рекомендации по предотвращению авиационных происшествий в гражданской авиации СССР. – М.: Возд. транспорт. – 1986. – 48 с.
11. Руководство по расследованию авиационных происшествий. Дос. 6920-AN/855/4. – Монреаль: ИКАО. – 1987.
12. Положення про службове розслідування авіаційних подій на території України. Затверджене наказом Директора Укрaviaтранс України №262 від 28 листопада 1995 року. – 60 с.
13. Безопасность полетов: Учебник для вузов / Р.В. Сакач, Б.В. Зубков, М.Ф. Давиденко и др. Под ред. Р.В. Сакача. – М.: Транспорт. – 1989. – 239 с.
14. Крохин З.Т., Скрипник Ф.И., Шестаков В.З. Инженерно-организационные основы обеспечения безопасности полетов в гражданской авиации. – М.: Транспорт. – 1987. – 175 с.
15. Воробьев В.Г., Зубков Б.В., Уриновский Б.Д. Технические средства и методы обеспечения безопасности полетов. – М.: Транспорт. – 1989. – 151 с.
16. Ежемесячные отчеты по безопасности полетов за 1997–2004 гг. Укрaviaтранс.
17. Авиакатастрофы на Украине. Aviation Safety Network. – 2001.
18. DOE-STD-3014-96. Accident analysis for aircraft crash into hazardous facilities.
19. NTSB/ARC-99/01. NTSB. Annual Review of Aircraft Accident Data. U.S. Air Carrier Operations Calendar Year 1996.
20. NTSB/ARC-00/01. NTSB. Annual Review of Aircraft Accident Data. U.S. General Aviation Calendar Year 1997.
21. Определение вероятности падения воздушного судна на АС / Костиков Е.А., Смольников В.А., Баранаев Ю.Д. и др. // Атомная энергия. – т. 74, вып. 1. – 1993 – С. 53–58.
22. Настасиенко В.Н. Информация по воздушному транспорту в районе РАЭС. (Государственный Департамент Авиационного Транспорта Украины “Укрaviaтранс”). 622-28.02.2001.
23. SUSA-300DL11R-XV1. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока 1 ЮУАЭС (SUSA). Техногенные опасности и отчет о планировании.