

Т. І. Матченко<sup>1</sup>, Л. Б. Шаміс<sup>1</sup>, Л. Ф. Первушова<sup>1</sup>, П. Т. Матченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ПАТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект»,  
просп. Перемоги, 4, Київ, 01135, Україна

<sup>2</sup>ДНТЦ ЯРБ ДП Держатомрегулювання України, вул. Василя Стуса, 35/37, Київ, 03142, Україна

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ «АРКИ» НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ДО ПАДІННЯ ЛІТАКА

На підставі аналізу вітчизняних та міжнародних нормативних документів виконаний аналіз методів розрахунків стійкості «Арки» нового безпечного конфайнмента до навантажень при падінні літака. Визначені напрямки подальших досліджень.

*Ключові слова* : падіння літака, надійність, новий безпечний конфайнмент.

### Вступ

«Арка» нового безпечного конфайнмента (НБК) є металевою конструкцією із значними розмірами, що робить її вразливою у випадку падіння на неї літака. Вигляд «Арки» при будівництві показано на рис. 1.



Рис. 1. Будівництво «Арки» НБК.

Зовнішня обшивка «Арки» (рис. 2, *а*) становить собою систему, яка складається з профільованого настилу з вуглецевої оцинкованої сталі, прогонних балок, зовнішніх панелей покриття, а внутрішня обшивка (*б*) – це система з прогонних балок і внутрішніх панелей покриття.

Споруди ЧАЕС мають фізичний захист, і літаки, які залетіли в зону, що охороняється, мають бути знищеними, тому падіння цілого літака мало ймовірне. Але можливе падіння уламків літака. Таким чином, актуальним є аналіз впливів і навантажень, критеріїв стійкості матеріалів і конструкцій, методів розрахунків надійності та стійкості будівельних конструкцій «Арки» НБК при падінні великих та малих уламків літака.

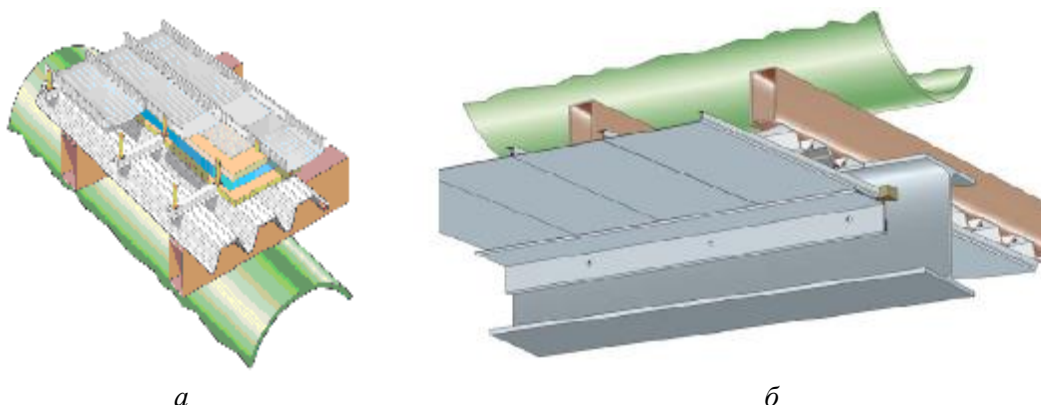


Рис. 2. Обшивка «Арки».

© Т. І. Матченко, Л. Б. Шаміс, Л. Ф. Первушова, П.Т. Матченко, 2016

## Аналіз нормативних документів

В [1] зазначено, що конструкції будівель і споруд I категорії відповідальності за ядерну та радіаційну безпеку необхідно розраховувати з урахуванням особливих впливів і навантажень, до складу яких входить падіння літака. В обов'язковому додатку 1 [1] наведено графік «навантаження - час» з урахуванням змін площі деформування літака, що падає вагою 20 тс і швидкістю 200 м/с.

Відповідно до вимог МАГАТЕ [2] для оцінки наслідків падіння літака на «Арку» необхідно виконати:

попередній відбір імовірності польотів і падінь літака на «Арку». Якщо ймовірність падіння менше  $10^{-7}$  випадків/рік, тоді така подія не розглядається в розрахунках надійності «Арки». Це не стосується польотів військових літаків;

детальну оцінку кількості катастроф протягом року на одиницю площі «Арки»;

оцінку ризиків: оцінку проектних подій за типами літака; оцінку компоновки станції. У випадку, якщо ймовірність падіння перевищує критичне значення ймовірності падіння  $10^{-7}$ , слід визначити тяжкість наслідків.

На підставі вищенаведеного для системної оцінки наслідків падіння літака або його частин на «Арку» доцільно:

виконати класифікацію об'єктів, споруд, конструкцій, елементів і систем «Арки», відповідальних за радіаційну безпеку;

викласти фактори ураження та вимоги із забезпечення стійкості конструкцій та елементів до падіння літака і його частин;

визначити розрахункові ситуації;

виконати аналіз навантажень і впливів при падінні літака і його частин;

розробити вимоги до сполучення навантажень і впливів при падінні літака і його частин;

скласти рівняння умови енергетичної рівноваги системи «літак - споруда» протягом зіткнення з урахуванням втрат енергії на процес руйнування;

скласти алгоритм розрахунку системи «літак - споруда» протягом зіткнення;

визначити критерії оцінки стійкості конструкцій та елементів до падіння літака і його частин: критерії стійкості до руйнування будівельних конструкцій протягом удару великих частин літака або літака в цілому; критерії стійкості елементів і систем до інерційних навантажень; критерії стійкості до руйнування будівельних конструкцій протягом удару дрібних частин літака;

викласти вимоги до розрахункових моделей, навантажень і впливів при падінні літака і його частин: літака в цілому, крупних уламків (двигунів, шасі), дрібних уламків; пожежі та вибухи внаслідок розливу палива;

викласти вимоги до моделювання системи «основа - споруда»;

викласти методи оцінки стійкості конструкцій, систем і елементів до впливів і навантажень при падінні літака;

викласти вимоги до атестації споруд, конструкцій, систем і елементів при падінні літака.

## Фактори ураження

З указаних конструкцій «Арки» складається перелік конструкцій, систем і елементів (КСЕ), які слід проектувати або перевіряти з урахуванням подій, пов'язаних з авіакатастрофою. Відповідно до [3] рекомендується для кожного переліку КСЕ розглянути такі фактори ураження:

загальні ураження конструкцій, які є наслідком падіння літака, у тому числі: руйнування, значні структурні деформації або зміщення, які перешкоджають виконанню спорудою її функцій; перекидання споруди;

інерційні коливання КСЕ внаслідок удару;

локальні ураження будівельних конструкцій і захисних коробів внаслідок дії падаючих уламків літака, включаючи проникнення, перфорацію, розтріскування та виколи, що призводять до відмови елементів конструкцій або пов'язаних із безпекою КСЕ внаслідок дії первинних і вторинних падаючих предметів;

пожежі внаслідок розливу палива;

вибухи внаслідок утворення аерозольної суміші.

### Вимоги для забезпечення стійкості конструкцій та елементів до падіння літака

До кожного переліку КСЕ висуваються свої вимоги для забезпечення функціональності конструкцій до падіння літака. Існує три категорії функціональності: 3,0 – зберігається міцність і герметичність або працездатність; 2 – зберігається міцність, але порушується герметичність і працездатність; 1 - порушується міцність, порушується герметичність і працездатність.

Кінетична енергія літака під час зіткнення із спорудою може бути різної величини. Площа контакту літака і споруди також може бути різною. Відношення кінетичної енергії до площі контакту назвемо інтенсивністю зіткнення. Для математичного моделювання залежності «функціональності конструкцій «Арки» НБК – інтенсивність зіткнення» приймемо такі терміни та їхнє визначення. Максимальна розрахункова аварія (МРА) при падінні літака – така інтенсивність зіткнення, що може призвести або до глобального руйнування «Арки» НБК чи її частини, або створює загрозу безпеці людей чи радіаційному забрудненню. Інтенсивність МРА - така інтенсивність зіткнення, що визначається за максимальною інтенсивністю зіткнення на будівельному майданчику повторюваністю один раз на 10000 років для «Арки». Проектна аварія (ПА) - така інтенсивність зіткнення, що може призвести до часткової або повної втрати експлуатаційних якостей «Арки» або конструкцій, що забезпечують ядерну та радіаційну безпеку (ЯРБ). Інтенсивність ПА - така інтенсивність зіткнення, що визначається за повторюваністю для «Арки» один раз на 1000 років.

КСЕ повинні відповідати функціональності 3,0 при ПА і функціональності 2,0 при МРА.

### Визначення розрахункових ситуацій

Літаки відрізняються один від одного своєю масою, щільністю або частиною завантаження паливом, розмірами, швидкістю падіння. При руйнуванні літака в повітрі на «Арку» НБК можуть падати уламки літака, такі як двигун, уламки фюзеляжу, шасі, дрібні уламки з різною кінетичною енергією, інтенсивністю зіткнення, твердістю. Для оцінки наслідків падіння літака слід розглядати такі ситуації:

- падіння літака, повністю завантаженого паливом;
- падіння літака з пустими баками;
- падіння двигуна;
- падіння крупних уламків (шасі, фюзеляжу);
- падіння дрібних уламків.

### Аналіз навантажень і впливів при падінні літака та його частин

Падіння літака на споруди АЕС може створювати навантаження та впливи:  
 залежність «навантаження - час» на визначеній площі взаємодії літака і споруди;  
 залежність «інтенсивність зіткнення - час» літака і споруди;  
 імпульсне навантаження з визначеною кількістю руху на визначену площу контакту внаслідок зіткнення літака (або двигуна, уламків) із конструкцією;  
 пробивна дія малих уламків;  
 пожежа на поверхні будівельної конструкції (вплив температури на механічні характеристики арматури, сталевого облицювання);  
 пожежа у внутрішніх приміщеннях «Арки» НБК при порушенні її герметичності та при руйнуванні несучих конструкцій;  
 інерційні впливи (навантаження коливання, пов'язані з ударом), слід виконувати розрахунок спектрів реакцій на перекриттях на позначках розкріплення обладнання, трубопроводів і систем; вибухи аерозолів або суміші повітря і палива.

У [3] рекомендується враховувати наведені нижче навантаження. У випадках, коли повинні бути визначені характеристики первинного літака і вторинні падаючі предмети (двигуни й шасі), слід враховувати:

- клас, швидкість і кут зіткнення літака;
- масу, жорсткість (які є функцією довжини літака), несучу здатність за механізмами руйнування при ударі та межі загальної пластичності для елементів конструкцій споруди і літака;
- розміри та знаходження зони зіткнення;
- вторинні наслідки поодиноких ударів, наприклад уламків падаючих предметів або розлив палива.

У випадках застосування при перевірочних розрахунках стандартної функції навантаження (метод аналізу зміни навантажень у часі) слід забезпечити, щоб загальні вхідні дані включали:

задану функцію «навантаження - час»;

розміри й місцезнаходження зони ударної взаємодії.

При аналізі впливів на жорсткі або масивні споруди, для визначення імпульсного навантаження, зазвичай надається перевага використанню функції «навантаження - час», оскільки вплив повождення конструкцій на характеристику функції впливу передбачається незначним.

У випадку ударного впливу на гнучкі конструкції еквівалентна функція навантаження може значно залежати від динамічного впливу між падаючим предметом і конструкцією. Тому особливу увагу слід приділити визначенню характерної функції напруження, яка приймається для даної конструкції.

Можливі наслідки викидів палива, яке знаходиться на борту, слід оцінювати на підставі інженерно-технічної оцінки відповідно до наведеного нижче переліку потенційних наслідків [3]: а) горіння авіаційного палива на відкритому повітрі, яке викликає пошкодження важливих для безпечності зовнішніх елементів станції; б) вибухи частини або усього палива поза спорудою; в) потрапляння продуктів згоряння у вентиляційні системи або системи подачі повітря, що призводить до впливу на персонал або порушенню в роботі станції, таких як електричні несправності або відмови аварійних дизель-генераторів; г) потрапляння палива всередину важливих для безпеки споруджень через конструкційні прорізи, отвори, які утворилися внаслідок катастрофи, або у вигляді парів або аерозолів через канали для забору повітря, що призводить до пожегів і вибухів.

При виконанні аналізу конструкцій достатньо розглянути сполучення навантажень від падіння літака тільки з тими навантаженнями, тривалість яких є значною, а саме постійні та тимчасові навантаження (виключаючи всі екстремальні), експлуатаційні навантаження. Також слід урахувувати залишковий ресурс, навантаження та впливи, викликані пошкодженнями конструкцій, нерівномірною осадкою фундаментів [5, 13].

### **Рівняння умови енергетичної рівноваги системи «літак - споруда» протягом зіткнення**

У загальному випадку умову енергетичної рівноваги твердого деформованого тіла можна записати у вигляді [6, 7]

$$U + K + F - P - S - G = 0,$$

де  $U$  - повна енергія деформації;  $K$  - кінетична енергія, яка потрапляє в зону взаємодії тіл;  $F$  - робота, яку виконують статичні сили, розташовані на поверхні тіла під час взаємодії тіл при руйнуванні та деформуванні;  $P$  - робота пластичного деформування матеріалу тіла;  $S$  - робота, яка витрачена на руйнування матеріалу тіла;  $G$  - теплова енергія, яка потрапляє з зону взаємодії тіл, що вилучається під час пластичного деформування й під час руйнування та розсіюється в матеріалі й на поверхні тіла. Слід зауважити, що в [8, 9] при виконанні розрахунків через падіння літака методами «балансу енергій» і «зусилля - час» не враховували: роботу, витрачену на руйнування матеріалу тіла, і теплову енергію, яка потрапляє з зону взаємодії тіл, що вилучається під час пластичного деформування й руйнування і розсіюється в матеріалі і на поверхні тіла.

### **Критерії стійкості до руйнування будівельних конструкцій протягом удару**

Критерії стійкості «Арки» НБК:

герметичність при ПА, а саме зберігати цілісність сталевого облицювання, міцність зварних з'єднань і анкерів облицювання, недопущення утворення наскрізних тріщин, пробоїн у бетоні захисної оболонки;

міцність при МРА, а саме забезпечення міцності «Арки».

Критерії стійкості несучих конструкцій «Арки» НБК при ПА і МРА: забезпечення міцності несучих конструкцій.

Критерії стійкості елементів розкріплення обладнання і систем, відповідальних за ЯРБ при ПА і МРА: інерційні впливи на позначках розкріплення обладнання або систем не повинні перевищувати критично допустимі значення (сейсмічну кваліфікацію обладнання). Критерії стійкості до систем, які забезпечують аварійну зупинку при МРА: інерційні впливи на позначках розкріплення систем не повинні перевищувати критично допустимі значення (сейсмічну кваліфікацію систем).

Критерії стійкості захисних коробів для кабелів: при падінні дрірних уламків недопущення перфорації коробів.

Слід зауважити, що теорія міцності, яка сьогодні використовується при розрахунках будівельних матеріалів і будівельних конструкцій, базується на моделюванні пружно-пластичного (або пружно-в'язкого) деформування і в'язкого руйнування при статичному або квазістатичному навантаженні, коли швидкість навантаження незначна. Такі критерії застосовані в розрахунках [8, 9]. У той самий час у машинобудуванні, суднобудуванні, авіабудуванні останні 50 років поряд із в'язким руйнуванням розглядаються крихке руйнування матеріалів та їхні комбінації [12]. Для ударних навантажень більш характерне крихке руйнування. На думку авторів цієї роботи, для успішного вирішення задачі оцінки стійкості «Арки» НБК до падіння літака необхідно спочатку розробити теорію міцності матеріалів (у тому числі й композитів для ударних навантажень), яка одночасно враховує складову двох видів в'язкого (зміна форми та об'єму) і крихкого руйнування трьох видів (нормальний відрив, поперечний та прокольний зсув поверхонь розриву) [4].

### Методи моделювання стійкості «Арки»

Слід розділяти пряме і непряме моделювання удару падаючого предмета. Для прямого моделювання удару падаючого предмета можна застосовувати один з трьох методів: балансу енергії; аналізу кривих «зусилля - час»; аналізу взаємодії падаючого уламка і конструкції.

Метод балансу енергії [3] – початкова кінетична енергія падаючого літака або уламка порівнюється з енергією деформації і руйнування падаючого предмета при ударі й кінетичною енергією та енергією деформації, роботою зовнішніх сил і роботою руйнування конструкції при ударі. Цей метод трудомісткий, тому зазвичай у ньому розглядається загальна поведінка системи, і він корисний при попередньому розгляді міркувань щодо проектування. Для зменшення трудомісткості розрахунків у цьому методі до виконання розрахунків слід відпрацювати припущення щодо ефективної маси конструкції та кількості енергії, яка буде поглинена предметом, що падає при ударі. Сьогодні у різних варіантах цього методу принципи збереження імпульсу і збереження енергії використовуються для визначення ефективних початкових параметрів конструкції, для того щоб визначити загальну міцність конструкції. Цей метод застосовується лише для оцінки загальної поведінки і не дає змоги отримати детальних результатів, таких як криві зміни в часі перемішень для конструкції. Він найбільш доцільний у випадках простих конфігурацій конструкцій.

На нашу думку, перелічені вище недоліки пов'язані з тим, що сьогодні не враховуються втрати енергії на крихке руйнування і недостатньо враховуються втрати на в'язке руйнування. У випадку врахування пластичних деформацій і руйнування не працює принцип збереження імпульсу, тому що частина енергії витрачається на пластичне деформування, частина енергії витрачається на руйнування і лише залишкова частка енергії передається як імпульс.

Метод аналізу кривих «зусилля - час» [3]. Дані кривих «зусилля - час» вводяться в динамічні моделі будівельних конструкцій з метою визначення поведінки конструкції (структурних деформацій і зміщень, швидкостей і прискорень). Ці криві зазвичай отримують на підставі характеристик падаючих предметів, виходячи із припущення про удар о жорстку мішень (споруду, конструкцію). Використання цих кривих для аналізу гнучких конструкцій зазвичай виявляється консервативним у питаннях оцінки міцності конструкцій, оскільки врахування гнучкості конструкції знижує ефективне навантаження. Розрахунки з використанням кривих «навантаження - час» можна застосовувати для консервативної оцінки характеристик навантажень (швидкості, прискорення, площі зони удару) конкретних характеристик літака або крупних уламків із подальшим використанням характеристик навантажень в інших методах розрахунку.

Аналіз взаємодії падаючого уламка і конструкції [3] виконує прямий аналіз удару з використанням комбінованої моделі «конструкція і падаючий предмет». Моделюється нелінійна поведінка матеріалу, геометрії конструкції і предмета, що падає. Вплив визначається початковою швидкістю предмета, що падає, й після взаємодії моделюється в часі поведінка системи «ціль - падаючий предмет». Іноді застосовуються спрощені варіанти цього методу, близькі до методу кривих «зусилля - час», в яких приймаються визначені припущення відносно поведінки падаючого предмета при зіткненні (наприклад, відносно енергії, яка поглинається самим падаючим предметом під час взаємодії), і продовжують динамічний аналіз мішені (конструкції), враховуючи початкові умови зони взаємодії (початкову швидкість взаємодіючих вузлових точок). Такий аналіз дозволяє визначити поведінку конструкції мішені (структурні деформації і переміщення, швидкість і прискорення).

На нашу думку, метод аналізу взаємодії «ціль - падаючий предмет» має ті самі недоліки, що й метод балансу енергії, а саме: не враховуються втрати енергії на процес руйнування матеріалів, який відбувається у процесі взаємодії; не враховуються виділення тепла під час пластичних деформацій. Сьогодні рівняння механіки деформованого твердого тіла, навіть у нелінійній постановці, не дозволяють коректно визначити деформації, що перевищують залишкові деформації після розриву зразка, у той час коли деформації падаючого тіла можуть бути значно більшими.

Непряме (або альтернативне) моделювання падаючих предметів [3] засновується на застосуванні емпіричних і напівемпіричних аналітичних формул, отриманих головним чином для жорстких падаючих предметів. Однак значна частина формул, отриманих при дослідженні падаючих предметів, мають тенденцію надавати завищені прогнозовані значення глибини проникнення та достатньої товщини для запобігання перфорації (пробивання) і розтріскування бетонних та залізобетонних конструкцій. Діапазони параметрів, які входять в емпіричні формули (маса, жорсткість, швидкість, площа контакту), для яких вони були розроблені, зазвичай не збігаються зі значеннями уламків літака. Тому слід застосовувати інженерно-технічну оцінку формул, що застосовуються й у тих випадках, коли розбіжності незначні, і використовувати обґрунтовані поправочні коефіцієнти в емпіричних формулах.

### **Вимоги до моделювання системи «основа - споруда»**

Взагалі на контактній поверхні «грунт - споруда» повинні виконуватися умови рівноваги й сумісності переміщень. При цьому для моделювання основи (грунту) може бути застосована будь-яка модель, що враховує демпфірування та пружність ґрунту. У задачах падіння літака для нормальних фундаментів і умов майданчика достатньо розглядати усереднені за площею фундаменту умови ґрунту на майданчику, оскільки зазвичай зміна властивостей ґрунту надає зневажливо мале значення впливу на глобальний аналіз наслідків падіння літака [3]. При розрахунках реакцій споруд (переміщень і внутрішніх зусиль) слід застосовувати пропорційне швидкості (ленійне-в'язке) демпфірування, слідкуючи за тим, щоб запобігти нереально високим значенням у діапазоні високих частот. У випадку врахування старіння та пошкоджень основ і при розрахунках фундаментів на палях слід застосовувати підходи [10, 11]. Рідини, що зберігаються в резервуарах або басейнах, можуть бути представлені у вигляді жорстко зв'язаних мас [3].

### **Методи оцінки стійкості конструкцій до падіння літака та його уламків**

Методи оцінки стійкості конструкцій до падіння літака бувають детерміністичні та ймовірнісні. До детерміністичних відносяться методи лінійного динамічного аналізу [3] та еквівалентного статичного аналізу. Задача розрахунків цими методами – визначити критичні значення кінетичної енергії, інтенсивності зіткнення, при яких відбудеться відмова КСЕ при падінні літака або його уламків.

Метод лінійного динамічного аналізу використовує рівняння енергетичної рівноваги й використовується для прямого моделювання удару падаючого предмета й може застосовувати один із двох методів - балансу енергії або аналізу взаємодії падаючого уламка і конструкції, у рівняння яких входять швидкості і прискорення руху. Цей метод доцільно застосовувати для значних величин кінетичної енергії, швидкостей і прискорення руху.

Метод еквівалентного статичного аналізу застосовують із використанням звичайних норм для проектування залізобетонних конструкцій (фундаментів НБК), використовуючи максимальне пікове значення сили удару, помножене на динамічний коефіцієнт зусилля і коефіцієнт пластичності [3]. Значення коефіцієнта пластичності слід визначати розрахунковим шляхом і обґрунтовувати шляхом випробувань. Зазвичай напруження (нормальне напруження, дотичне напруження, згинаючий момент і крутильний момент) вираховують на підставі зусиль, що впливають на елемент, із використанням локальних пружних взаємодій і лінійних моделей [3]. Слід брати до уваги розвиток ударного навантаження в часі з метою забезпечення того, щоб пластичні деформації могли відбутися протягом часу взаємодії (тобто виконувати розрахунки у фізично нелінійній постановці). Для цього застосовується метод балансу енергії, аналіз кривих «зусилля - час»; аналіз взаємодії падаючого предмета та конструкції, в рівняння яких не входять швидкості і прискорення руху. Цей метод доцільно застосовувати для малих величин кінетичної енергії, малих швидкостей і відсутності прискорень руху.

У випадку аналізу локальних впливів на конструкцію при падінні середніх за вагою і розмірами уламків можна застосовувати чисельно нелінійний аналіз тільки тієї частини всієї конструкції, в

якій проявляється нелінійна поведінка. Частина моделі, в якій проявляється нелінійна поведінка, слід розповсюджувати за межі зони удару, зазвичай до точок, в яких можуть застосовуватися відповідні граничні умови.

Імовірнісний метод розрахунку включає в себе:

визначення ймовірності падіння літака на «Арку» в рік і за період її експлуатації та прийняття рішення про доцільність розгляду такої розрахункової ситуації;

визначення ймовірності зміни міцності конструкції і накопичення пошкоджень за період експлуатації «Арки» НБК;

визначення ймовірності виникнення навантаження (впливу) з інтенсивністю зіткнення на рівні ПА або МРА при падінні літака або його уламків;

визначення одночасної ймовірності та ризик перелічених вище подій.

При атестації конструкцій, систем та елементів у проекті при оцінці впливу від падіння літака слід у цілому розглядати [3]:

загальні згинаючі й поперечні зусилля, що виникають у конструкціях;

вимушені коливання в будівельних спорудах на перекриттях і в місцях кріплення обладнання і систем, пов'язаних із радіаційною безпекою, і особливо, коли вузли кріплення розташовані поблизу зовнішнього периметра споруди;

локальні впливи первинних і вторинних падаючих предметів, включаючи проникнення, перфорацію, розтріскування та відколи залізобетонних і металевих конструкцій;

вплив пожеж і вибухів, викликаних потраплянням палива на конструкції, а також на незахищене пов'язане з безпечністю обладнання (вентиляційні системи та дефлектори повітря).

### Висновки

На підставі викладеного вище доцільно розробити методики (теорії):

міцності матеріалів, у тому числі й композитів для ударних навантажень із широким спектром інтенсивності, яка одночасно враховує складову двох видів в'язкого (зміна форми та об'єму) і трьох видів крихкого руйнування (нормальний відрив, поперечний та прокольний зсуви поверхонь розриву);

атестації обладнання та систем у випадку падіння літака;

розрахунку детерміністичними методами стійкості конструкцій «Арки» НБК у випадку падіння літака;

розрахунку ризику руйнування «Арки» при падінні літака;

визначення локальних уражень залізобетонних і сталевих конструкцій НБК при падінні малих елементів літака;

розрахунку стійкості до пожежу «Арки» у випадку розлиття палива;

розрахунку стійкості до вибуху «Арки» у випадку утворення газових суміші з парів палива і повітря.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *ПуН АЭ 5.6* Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Правила и нормы в атомной энергетике. Министерство атомной энергетики СССР, Москва, 1986 г. - 15 с.
2. *IAEA, "NS-G-3.1. External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants: Safety Guide"*. - Vienna: IAEA, 2002.
3. *IAEA, "NS-G-5.1. External Events Excluding Earth Quakes in the Design of Nuclear Power Plants: Safety Guide"*. - Vienna: IAEA, 2003.
4. *Матченко Т.І.* Критерії якісного стану і сингулярності напруг для тріщин у тривимірних тілах // Вісник НАУ. - 2002. - № 2. - С. 204 - 210.
5. *Матченко П.Т.* Врахування впливів у розрахунках на довговічність будівельних конструкцій // Будівництво України. - 2012. - № 2. - С. 27 - 33.
6. *Bluhm J.I., Mardirosian M.M.* Fracture Arrest in Pressure Vessels. «Esptl. Mechanics», 1963, 3, p. 57 - 66.
7. *Bluhm J.I., Mardirosian M.M.* Fracture Arrest in Pressure Vessels. «Esptl. Mechanics», 1963, 12, p. 305 - 360.
8. *Бирбраер А.Н., Шульман С.Г.* Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 304 с.
9. *Бирбраер А.Н., Роleder А.Ю.* Экстремальные воздействия на сооружения. - Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. - 582 с.
10. *Матченко П.Т.* Методика врахування старіння несучих конструкцій і основи в розрахунках будівель і споруд на сейсмічні дії // Будівництво України. - 2012. - № 5. - С. 31 - 35.

11. *Матченко Т.І., Шаміс Л.Б.* Розрахунок на стійкість до сейсмічних впливів пальових фундаментів будівель і споруд, що експлуатуються // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2015. - № 3. - С. 17 - 23.
12. *Разрушение.* Т. 1 – 7 / Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1976.
13. *Матченко Т.І., Матченко П.Т.* Навантаження і впливи на перекриття будівель і споруд АЕС // Будівництво України. – 2008. - № 10. - С. 35–40.

**Т. І. Матченко<sup>1</sup>, Л. Б. Шаміс<sup>1</sup>, Л. Ф. Первушова<sup>1</sup>, П. Т. Матченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ПАО «Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект»,  
просп. Победы, 4, Киев, 01135, Украина  
ГНТЦ ЯРБ ГП Госатомрегулирование Украины, ул. Василя Стуса, 35/37, Киев, 03142, Украина

#### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ «АРКИ» НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА К ПАДЕНИЮ САМОЛЕТА**

На основании анализа отечественных и международных нормативных документов выполнен анализ методов расчета стойкости «Арки» нового безопасного конфайнмента к нагрузкам при падении самолета. Определены направления дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* падение самолета, надежность, новый безопасный конфайнмент.

**T. I. Matchenko<sup>1</sup>, L. B. Shamis<sup>1</sup>, L. F. Pervushova<sup>1</sup>, P. T. Matchenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Public joint-stock company “Kyiv research and design institute “Energoproject”, Peremoga str., 4,  
Kyiv, 01135, Ukraine  
<sup>2</sup>SSTC NRS SESNRCU, Vasyl Stus str., 35/37, Kiev, 03142, Ukraine

#### **THE ANALYSIS METHODS FOR ASSESSING RESISTANCE «ARCH» NEW SAFE CONFINEMENT AIRCRAFT CRASH**

Based on the analysis of domestic and international regulatory documents the analysis of methods for calculating the resistance NSC Arch aircraft crash. The direction for further research.

*Keywords:* aircraft crash, reliability, new safe confinement.

#### **REFERENCES**

1. *Rules and regulations NPS 5.6.* The norms of building design speakers with reactors of different types. Rules and regulations in the nuclear industry. USSR Ministry of Atomic Energy, Moscow, 1986. - 15 p. (Rus)
2. *IAEA, “NS-G-3.1.* External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants: Safety Guide“. - Vienna: IAEA, 2002.
3. *IAEA, “NS-G-5.1.* External Events Excluding Earth Quakes in the Design of Nuclear Power Plants: Safety Guide“. - Vienna: IAEA, 2003.
4. *Matchenko T.I.* Criteria for qualitative state and the stress singularity for cracks in three-dimensional solids // Visnik NAU (Bulletin of the National Aviation University). - 2002. – Iss. 2. - P. 204 - 210.(Ukr)
5. *Matchenko P. T.* Accounting for the effects in the calculation of the durability of building and structures // *Budivnytstvo Ukrainy* (Construction of Ukraine). - 2012. - Iss. 2. - P. 27 - 33. (Ukr)
6. *Bluhm J.I., Mardirosian M.M.* Fracture Arrest in Pressure Vessels. «Esptl. Mechanics», 1963, 3, p. 57 - 66.
7. *Bluhm J.I., Mardirosian M.M.* Fracture Arrest in Pressure Vessels. «Esptl. Mechanics», 1963, Iss. 12, p. 305 - 360.
8. *Birbraer A.N., Shulman S.G.* Durability and reliability of nuclear power plant designs in special dynamic effects. – Moskva: Energoatomizdat. 1989. - 304 p. (Rus)
9. *Birbraer A.N., Rohleder A.Y.* Extreme effects on structures // St. Petersburg: Ed. Polytechnic University, 2009. - 582 p. (Rus)
10. *Matchenko P. T.* The treatment of aging structural and foundation calculation of buildings and structures on the seismic effects // *Budivnytstvo Ukrainy* (Construction of Ukraine). - 2012. - Iss. 5. - P. 31 - 35. (Ukr)
11. *Matchenko T.I., Shamis L.B.* Calculation of resistance to seismic effects of pile foundations of buildings and structures in use // *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy* (Industrial construction and engineering structures). - 2015. – Iss. 3. - P. 17 - 23.(Ukr)
12. *Destruction.* Vol. 1 - 7. Translated from English. - Moskva: Metallurgiya, 1976. (Rus)
13. *Matchenko T.I., Matchenko P.T.* Load and effects on the overlap of buildings and nuclear power plants // *Budivnytstvo Ukrainy* (Construction of Ukraine). - 2008. - Iss. 10. - P. 35 - 40. (Ukr)

Надійшла 16.05.2016  
Received 16.05.2016