

**АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ІНТЕРФЕЙСІВ  
ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ АЕС**

**Орехова А.О., Харченко В.С.**

*Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"*

*Наведено результати аналізу вимог до проектування та оцінки людино-машинних інтерфейсів систем, важливих для безпеки АЕС.*

**Актуальність забезпечення якості людино-машинних інтерфейсів.** Цифрові інформаційно-управляючі системи (ІУС) є невід’ємною частиною атомних електростанцій (АЕС) [1]. Ці системи встановлюються на новозбудованих реакторних блоках та модернізуються на діючих АЕС [2,3]. Переваги нових ІУС та їх людино-машинних інтерфейсів (ЛІМІ) забезпечують можливість отримати більш точну і надійну інформацію у такому вигляді, який найкращим чином відповідає завданням персоналу. Однак у цих системах певні ризики, пов’язані з людською помилкою. Одна з причин аварій на АЕС – помилки при проектуванні людино-машинної взаємодії. Отже, ЛІМІ грає важливу роль у забезпеченні безпеки АЕС та для запобігання помилок операторів ІУС необхідно проектувати ЛІМІ з урахуванням вимог до їх безпеки.

**Аналіз нормативної бази наукових публікацій.** Міжнародні стандарти МАГАТЕ і МЕК вищого рівня, що містять вимоги до програмного забезпечення і ЛІМІ систем, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Міжнародні стандарти вищого рівня

Найменування документа	Зміст
NS-R-1 Проектування атомних електростанцій. Вимоги безпеки	Роль людського фактора. Людино-машинний інтерфейс Організація пультів управління Застосування комп’ютеризованих систем у важливих для безпеки системах
NS-G-1.2 Оцінка безпеки і незалежна перевірка для атомних електростанцій Посібник з безпеки	Дано рекомендації з оцінки у процесі проектування, а також рекомендації по незалежній перевірці безпеки АЕС у цілому
NS-G-1.3 Системи контролю та управління, важливі для безпеки атомних електростанцій	Матеріали з проектування систем контролю і управління АЕС, включаючи всі елементи таких систем, а також інтерфейси оператора

Як показав аналіз стандартів, при проектуванні АЕС для забезпечення вимог безпеки необхідно враховувати роль людського фактора і звертати особливу

увагу на ЛІМІ оператора. При цьому протягом всього життєвого циклу проектування ЛІМІ необхідно здійснювати оцінку його якості. (рис. 1).

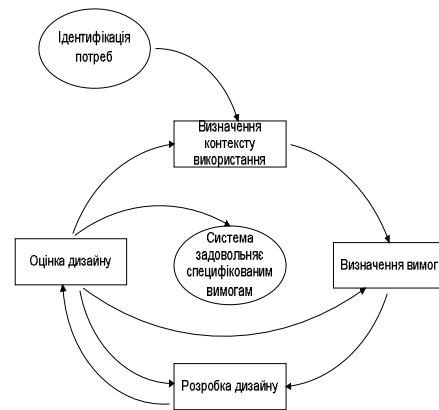


Рисунок 1 – Процес проектування ЛІМІ

Аналіз матеріалів конференції ICONE18 [5] показав, що актуальними в області ЛІМІ АЕС на даний час є:

- дослідження людського фактору з метою зменшення ймовірності помилок і підвищення якості роботи;
- оцінка дій операторів та дослідження впливу цифрових систем на роботу людини;
- аналіз людської надійності;
- оцінка інтерфейсів на основі аналізу результатів роботи операторів;
- дослідження ефективності роботи оператора в команді і оцінка психічного стану людини і якості його роботи;
- аналіз мінімального обладнання необхідного оператору для виконання дій, пов’язаних з ризиком та урахуванням оцінки можливих наслідків;
- розробка правил та контрольних списків для експертної оцінки критичних функцій безпеки, ризиковано важливих завдань, критичних людських дій.

**Мета статті.** На основі аналізу вимог до ЛІМІ ІУС АЕС визначити множину характеристик для розробки моделі, що дозволяє виконати оцінку їх якості та безпеки.

**Модель якості ЛІМІ.** Інтегральна характеристика якості ЛІМІ визначається, як практичність (usability). Субхарактеристиками практичності є:

- ефективність (effectiveness);
- продуктивність (productivity);
- задоволеність (satisfaction);

– безпека (safety).

Безпека оцінює рівень ризику, шкоди людям, бізнесу, програмного забезпечення, власності або навколишньому середовищу.

Аналіз стандартів [4] дозволив виявити множину вимог до проектування та оцінки безпечних ЛМІ систем АЕС (табл. 2).

Таблиця 2 – Вимоги до ЛМІ ІУС АЕС

№	Вимоги
1	Систематичний облік людського фактора і розробку ЛМІ слід включати в процес проектування на ранньому етапі і продовжувати до його закінчення
2	Слід виявити визначені експлуатаційному персоналу дії щодо забезпечення безпеки
3	Слід виконувати аналіз задач, щоб оцінити навантаження на операторів
4	У результаті аналізу завдань слід визначити вимоги до ЛМІ, обсягу необхідної інформації та управління
5	Слід забезпечити обсяг інформації та управління, достатні, щоб дозволити операторам виконувати необхідні дії
6	Умови роботи персоналу слід проектувати у відповідності з принципами ергономіки, забезпечувати надійне та ефективне виконання завдань. Особливу увагу слід приділяти системам відображення даних
7	ЛМІ слід проектувати так, щоб надавати операторам вичерпну, але легко сприймаючу інформацію для прийняття правильних рішень і виконання необхідних дій
8	В аналізі завдань слід показувати, що оператор має достатньо часу для рішень і дій, що інформація, яка необхідна для ухвалення рішень, представлена просто й однозначно
9	Слід забезпечувати малу чутливість до помилок персоналу і зниження наслідків помилкових дій. Для цієї мети слід ретельно встановлювати пріоритет між діями оператора і автоматичним спрацюванням систем безпеки
10	Слід, щоб аналіз безпеки визначав, чи дійсно адекватно враховані людський фактор і проблеми, пов'язані з робочими характеристиками людини

Аналіз вимог до ЛМІ ІУС АЕС дозволив визначити множину критеріїв і характеристик для оцінки якості та безпеки ЛМІ ІУС АЕС:

- адекватність урахування людського фактора;
- оптимальність дій оператора;
- навантаження на оператора;
- складність завдань оператора;
- обсяг необхідної інформації та управління;
- повнота наданих оператору даних;
- легкість сприйняття інформації;
- простота та однозначність інформації;
- чутливість до помилок оператора;
- наслідки помилкових дій оператора;
- пріоритет дій оператора;

– якість інструкцій оператора.

**Метрична оцінка якості ЛМІ.** Для практичного використання знайдених характеристик у процесі оцінки якості ЛМІ необхідно знайти відповідні їм метрики (шкали і методи вимірювання). Як відомо, велика частина з наведених характеристик є кількісними і для них можуть бути розроблені методи вимірювання.

Оцінка безпеки здійснюється детерміністичним та імовірнісним шляхом [4]. В завдання детерміністичного підходу входить вивчення роботи станції в режимах нормальної експлуатації та аварій. Початковою точкою аналізу безпеки є набір постульованих вихідних подій (ПВП). Під ПВП розуміється певна подія, що призводить до очікуваних порушень нормальної експлуатації або до аварій. До складу ПВП повинні входити і людські помилки, які можуть відбутися в будь-якому з режимів експлуатації станції (пуск, зупинка, перевантаження). Прикладом таких подій може бути неправильне або неповне технічне обслуговування, неправильна установка меж у пристроях управління або помилкові дії оператора. Необхідно розробляти методи виявлення ПВП, застосовуючи аналітичні методи, таких як: аналіз небезпек і працездатності (HAZOP), аналіз впливу механізмів відмови (FMEA), логічні діаграми, порівняння з переліком ПВП, розробленим для аналогічних станцій.

Імовірнісний аналіз безпеки забезпечує підхід до визначення сценаріїв аварій та отримання кількісних оцінок ризику, в тому числі ймовірності помилок персоналу. Для подій з низькою частотою слід робити експертну оцінку.

Людські помилки можуть призводити до відмов систем безпеки, тому необхідно їх моделювати при аналізі відмов систем. Людські помилки необхідно виявляти і включати, як частину вихідної події. В імовірність людських помилок слід враховувати фактори, які можуть впливати на роботу оператора, включаючи рівень стресу, час для виконання завдання, наявність інструкцій, рівень підготовки і зовнішні умови роботи. Це слід визначати в аналізі завдань, що виконуються як частина оцінок при проектуванні.

Оператори взаємодіють з великою кількістю різноманітних ЛМІ, важливих для безпеки АЕС. Для досягнення високого рівня обліку людських чинників (human factors) і забезпечення ефективності системи, перевірка і контроль якості (verification and validation) повинні бути виконані перед поставкою ІУС на підприємство.

Оцінка урахування людського фактора можлива на основі методології (human factors engineering, HFE), заснованої на огляді дослідної експлуатації (operating experience review, OER) [5]. Дослідна експлуатація атомних електростанцій є не тільки важливою умовою для безпечного та надійного функціонування, але і корисним при розробці нових аналогічних АЕС. Питання полягає в тому, як визначити і проаналізувати пов'язаний з безпекою досвід експлуатації. Щоб максимально врахувати людський фактор необхідно виробляти дослідну експлуатацію з самого початку процесу проектування. Дослідження огляду дослідної експлуатації концентрується на аспекті критеріїв огляду, області видимості і процедур реалізації людських чинників. Результати OER сприяють по-

ліпшенню безпеки, надійності та зручності використання ЛМІ. У НФЕ використовуються набори правил і контрольних списків, розроблених для досвідчених експертів, щоб провести ретельний і послідовний огляд. За допомогою спеціальних інструментальних засобів експерти перевіряють критичні функції безпеки, ризиковані завдання, критичні людські дії та інші важливі завдання для того, щоб гарантувати, що ЛМІ забезпечені всіма необхідними ресурсами для вирішення завдань.

Складність завдань оператора повинна оцінюватися з урахуванням категорії важливих для безпеки функцій і кількості необхідного обладнання ЛМІ (сигналізація, монітори, засоби керування і т.п.). Оператор АЕС вирішує різноманітне коло завдань:

- стежить за станом систем;
- підтверджує роботу і контролювану зупинку реактора;
- активує систему безпеки;
- аналізує умови, за яких можлива відмова ЛМІ;
- активує необхідні процедури управління;
- наводить станцію в безпечний стан;
- виконує дії пов'язані з ризиком і урахуванням оцінки можливих наслідків (probabilistic risk assessment, PRA).

Сценарії перевірки ретельно проектуються, щоб забезпечити майбутні випробування. Об'єктивні та суб'єктивні результати збираються і обробляються статистичними методами з метою визначення проблем, присутніх в існуючому дизайні. Всі невідповідності, знайдені в процесі перевірки, розміщуються в спеціальну базу даних і відслідковуються до тих пір, поки проблема не буде вирішена.

Методи прогнозування навантаження на людину при роботі на АЕС засновані на оцінці ефективності роботи оператора, яка безпосередньо впливає на безпеку електростанції. З розробкою нових комп'ютерних технологій, таких як засоби спостереження і відеокamer з функцією запису, з'явилася можливість відстежити і виміряти роботу оператора (як індивідуальну, так і колективну). Щоб покращити ефективність оператора, засновану на цифровому ЛМІ, в реальному часі стежать і оцінюють психічний стан людини та якість його роботи. За результатами аналізу приймається рішення про зміну дизайну ЛМІ для підвищення безпеки системи та ефективності роботи команди операторів АЕС.

Важливим завданням є підвищення людської надійності за допомогою збору даних про роботу операторів, особливо в аварійній ситуації. Щоб отримати достовірні дані, процес боротьби операторів з аварійними ситуаціями записується за допомогою системи відео спостереження. Після аналізу відеоматеріалів визначаються характеристики важливі для людської надійності, такі як: рівень навчання, завдання, середа, робота команди і т.д. За результатами аналізу роботи оператора оцінюється ЛМІ.

Метод оцінки роботоздатності (operability) інтерфейсу можливий на основі моделі людських пізнавальних процесів. Метод описує категорії систематичних людських помилок. Для оцінки використовуються експериментальні результати, отримані на тренажері.

**Висновки.** Проведений аналіз нормативної бази і

публікацій у області інформаційно-управляючих систем важливих для безпеки АЕС підтверджує актуальність проблеми проектування безпечних людино-машинних інтерфейсів. Систематизовано групи вимог до проектування людино-машинних інтерфейсів, а також характеристики, на базі яких може бути розроблена модель, а також методи та інформаційна технологія для оцінки якості та безпеки ЛМІ ІУС АЕС.

Проаналізовано метрики для оцінки якості ЛМІ і розроблено пропозиції щодо їх використання

## Список використаних джерел

1. Харченко В.С. Новые информационные технологии и безопасность информационно-управляющих систем АЭС / Харченко В.С., Ястребенецкий М.А., Складар В.В. // Ядерная и радиационная безопасность. - 2003. - Т. 6. - № 2. - С. 19-28.

2. Ястребенецкий М.А. Новым энергоблокам АЭС Украины – новые информационные и управляющие системы / Ястребенецкий М.А., Васильченко В.Н. // Ядерная и радиационная безопасность. - 2004. - № 7. - С. 5-12.

3. Складар В.В. Особенности и оценка безопасности программного обеспечения информационных и управляющих систем АЭС Украины / Складар В.В., Харченко В.С., Ястребенецкий М.А. // Ядерные измерительно-информационные технологии. - 2006. - № 1 (17). - С. 3-18.

4. Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций. Руководства / Серия норм МАГАТЭ по безопасности № NS-G-1.2 МАГАТЭ: Вена, 2004. - 99 с.

5. Danying Gu. Study on a methodology of human factor engineering operating experience review for nuclear power plant / Danying Gu, Shuhui Zhang, Zhonghe Ning // Proceedings of the 18th International Conference on Nuclear Engineering ICONE18 May 17-21, 2010, Xi'an, China

## Аннотация

### АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ИНТЕРФЕЙСАМ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭС

Орехова А.А., Харченко В.С.

*Приведены результаты анализа требований к проектированию и оценке человеко-машинных интерфейсов систем, важных для безопасности АЭС.*

## Abstract

### REQUIREMENT ANALYSIS TO INTERFACES OF INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEMS OF THE NPP

N. Orehova, V. Kharchenko

*Results of requirement analysis to designing and assessment human machine interfaces of systems, important for safety NPP are presented in this article.*