

Е. А. Хом'як<sup>1</sup>  
Ю. І. Рудик<sup>2</sup>  
Є. І. Босенко<sup>1</sup>

## СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЕНЕРГООБЛАДНАННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС

<sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

*Розроблено нову систему контролю герметичності тепловидільних елементів (твелів), що реалізується в машині перевантаження пального. Запропонована система дозволяє оперативно виявляти тепловидільні збірки з негерметичними твелями під час перевантаження, що є критично важливим для підвищення безпеки та ефективності експлуатації атомних електростанцій. Удосконалено механічні та технологічні компоненти системи контролю герметичності оболонок твелів. Механічна частина включає барботажний трубопровід і пробовідбірний трубопровід, розміщені на секціях робочої штанги. Технологічна частина містить блоки для підготовки стисненого повітря, відбору та вимірювання активності газових проб, а також систему управління даними. Принцип роботи системи полягає у барботуванні повітря через тепловидільні збірки, що дозволяє виявити газоподібні продукти поділу, які свідчать про наявність негерметичних твелів. Встановлено, що система дозволяє зменшити обсяги радіоактивних відходів, пов'язаних з перевантаженням, а також знижує добові навантаження на персонал. Впровадження системи контролю герметичності оболонок твелів забезпечує контроль герметичності кожної перевантажуваної тепловидільної збірки, що є важливим кроком у підвищенні безпеки експлуатації атомних електростанцій. Зниження ризиків аварій, скорочення часу перевантаження та зменшення потреби в чистій борованій воді є суттєвими перевагами нової системи. Економічний ефект від впровадження системи контролю герметичності оболонок твелів може становити від 17,5 до 26,5 млн гривень на один енергоблок, що еквівалентно економії 4–5 тепловидільних збірок свіжого пального. Таким чином, стаття надає важливі рекомендації щодо підвищення якості контролю герметичності твелів, що актуально у сучасних умовах енергетичної безпеки. Впровадження системи контролю герметичності сприятиме підвищенню загальної надійності та безпеки атомних електростанцій, що є важливим завданням для енергетичної галузі.*

**Ключові слова:** контроль герметичності, тепловидільний елемент, якість, ВВЕР-1000, машина перевантаження.

### Вступ

У сучасній атомній енергетиці питання безпеки та ефективності експлуатації енергоблоків є надзвичайно актуальними, оскільки вони безпосередньо впливають на надійність постачання електроенергії та захист навколишнього середовища. Одним з ключових аспектів безпеки є контроль герметичності тепловидільних елементів (твелів), які використовуються в ядерних реакторах. Наявність негерметичних твелів може призвести до серйозних наслідків, включно з радіаційними витоками та збільшенням дозових навантажень на персонал. Під енергообладнанням будемо розглядати тепловидільні елементи. Тому удосконалення систем контролю герметичності є важливим завданням для підвищення загальної безпеки атомних електростанцій (АЕС) [1].

У статті розглянуто нову систему контролю герметичності, що реалізується в машині перевантаження пального енергоблоків типу ВВЕР-1000. Запропонована система дозволяє оперативно виявляти тепловидільні збірки (ТВЗ) з негерметичними твелями під час перевантаження, що є критично важливим для зменшення ризиків, пов'язаних з експлуатацією ядерних установок. Удоско-

налення контролю герметичності не лише підвищує безпеку, але й сприяє підвищенню коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП), що є важливим економічним показником для АЕС [2], [3].

У системі контролю герметичності оболонок (СКГО) твелів реалізовано нові механічні та технологічні рішення, які дозволяють значно підвищити якість контролю. Механічна частина системи включає барботаажний трубопровід і пробовідбірний трубопровід, а технологічна частина містить блоки для підготовки стисненого повітря, відбору та вимірювання активності газових проб. Це забезпечує високу чутливість та точність виявлення негерметичних твелів, що, в свою чергу, зменшує ризики радіаційних інцидентів [4]—[6].

У статті показано важливість удосконалення контролю герметичності твелів для підвищення якості експлуатації енергоблоків АЕС із ВВЕР-1000, що актуально у контексті сучасних викликів атомної енергетики. Впровадження нових технологій контролю сприятиме покращенню загальної надійності та безпеки атомних електростанцій, що є важливим завданням для енергетичної галузі в цілому [7], [8].

*Метою роботи* є удосконалення контролю герметичності тепловидільних елементів (твелів) під час експлуатації енергоблоків АЕС типу ВВЕР-1000. Запропонована система контролю, що реалізується в машині перевантаження пального, має на меті оперативно виявляти ТВЗ з негерметичними твелями під час перевантаження. Це дозволить знизити ризики, пов'язані з радіаційною небезпекою, а також зменшити дозові навантаження на персонал.

У дослідженні також оцінено системні фактори, такі як підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) та зменшення часу простоїв енергоблоків під час перевантаження. Удосконалення якості контролю герметичності сприятиме підвищенню загальної безпеки експлуатації АЕС, зменшуючи кількість аварійних ситуацій і радіаційних витоків.

Створення ефективної системи контролю забезпечить надійний моніторинг герметичності твелів, що зі свого боку підвищить безпеку та ефективність функціонування атомних електростанцій.

### Результати досліджень

Ключові питання, вирішення яких дозволяє підвищити конкурентоспроможність АЕС з ВВЕР-1000, — це підвищення експлуатаційної безпеки та готовності. Значною мірою ця двоєдина задача визначається якістю та швидкістю контролю герметичності оболонок тепловидільних елементів (твелів). Покращення якості та обсягів контролю твелів знижує ризик виникнення радіаційно небезпечної ситуації в реакторному відділенні та на АЕС, скорочення часу контролю дозволяє зменшити простої блока під час сумісних ремонтів та перевантажень за умовами операцій з паливом, і загалом, дає потенційну можливість досягнення вищих коефіцієнтів використання встановленої потужності (КВВП) [9], [10].

Призначена для оперативного виявлення ТВЗ, що містять негерметичні твели, під час транспортування їх при перевантаженнях пального, система СКГО твелів у перевантажувальній машині не заміняє контроль герметичності оболонок твелів в процесі перевірки негерметичних ТВЗ на відмову в пеналах штатної системи виявлення дефектів збірок (СОДЗ).

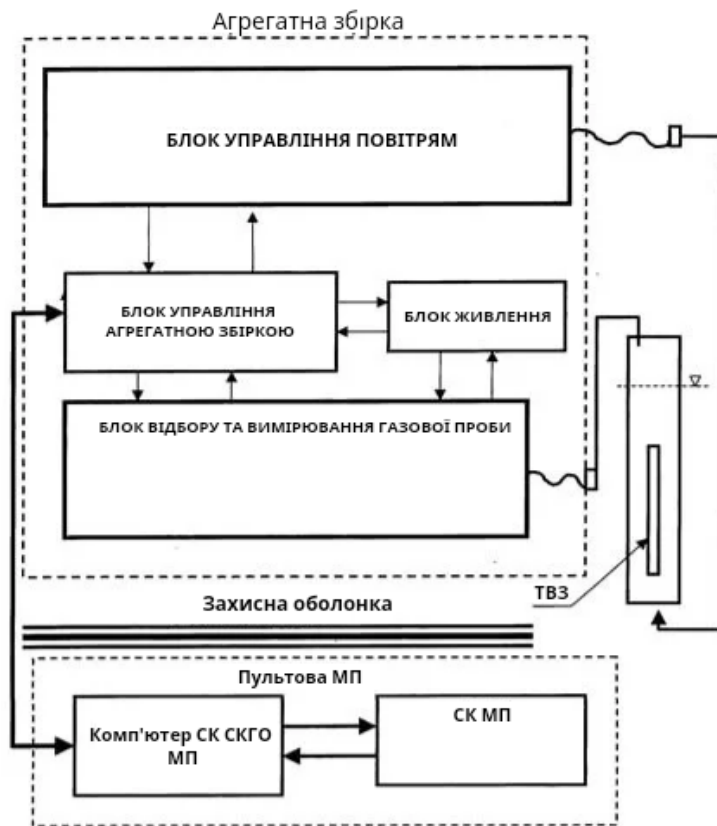
СКГО складається з двох частин — механічної та технологічної. З'єднання зазначених частин здійснюється за допомогою гнучких шлангів, які входять до складу технологічної частини СКГО.

Механічна частина (МЧ) СКГО включає: барботаажний трубопровід з форсункою та пробовідбірний трубопровід. Обладнання МЧ СКГО розміщується на секціях робочої штанги перевантажувальної машини.

Технологічна частина (ТЧ) СКГО складається з агрегатної збірки, в якій розміщено блок підготовки стиснутого повітря, блок відбору та вимірювання активності газової проби, арматурний блок і штуцери для подачі стиснутого повітря на барботааж та подачі газової проби в блок зміни активності; блок обробки та передачі даних; пристрій управління, обробки та відображення даних.

Комплект трубопроводів МЧ СКГО забезпечує: подачу барботаажного повітря під хвостовик ТВЗ, що знаходиться в робочій штанзі перевантажувальної машини в транспортному положенні; подачу газової проби в блок контролю.

Блок підготовки стиснутого повітря забезпечує подачу необхідної кількості повітря для барботування обсягу штанги машини перевантаження (МП).



Структурна схема СКГО

тема контролю герметичності інтегрується в процес перевантаження ТВЗ, а також ілюструє, як барботажний трубопровід забезпечує подачу повітря для виявлення газоподібних продуктів поділу, що свідчать про наявність негерметичних твєлів. Завдяки цій схемі стає зрозумілим, як різні елементи системи взаємодіють один з одним, що дозволяє досягти високої ефективності в контролі герметичності.

Таким чином, структурна схема СКГО є важливим інструментом для розуміння функціонування системи та її ролі в підвищенні безпеки експлуатації атомних електростанцій. Вона ілюструє, як механічні та технологічні компоненти працюють разом для забезпечення точного та швидкого контролю герметичності твєлів, що є критично важливим для запобігання аварійним ситуаціям та підвищення загальної надійності енергоблоків.

Завдяки впровадженню цієї системи контролю, АЕС зможуть зменшити ризики, пов'язані з експлуатацією негерметичних твєлів, а також покращити ефективність перевантаження пального, що в свою чергу позитивно вплине на загальну безпеку та економічність роботи атомних електростанцій.

Для проведення випробування ТВЗ вилучається з активної зони в робочу штангу перевантажувальної машини та піднімається в транспортне положення. Через зміну тиску внаслідок підйому ТВЗ продукти поділу, накопичені під оболонками негерметичних твєлів, переходять у воду, що заповнює внутрішню порожнину робочої штанги перевантажувальної машини. Після підйому ТВЗ у транспортне положення проводиться короточасне барботування об'єму робочої штанги повітрям для сепарації з води газоподібних продуктів поділу.

Управління процесом перевірки здійснюється за допомогою контролера блока управління натисканням кнопки «Пуск». Перевіряється також робота системи в режимі ручного управління натисканням відповідних кнопок на пульті управління для включення/вимкнення живлення виконавчих механізмів. Більше того, в системі передбачена можливість ручного відкриття відповідних вентилів.

Повітря подається з ресивера через відкриття електромагнітного клапана по повітроводу (імпульсній трубці) в спеціальний поворотний пристрій, розташований на зовнішній секції робочої штанги МП в її нижній частині. Спрацьовування поворотного пристрою розвертає з'єднану з ним форсунку з транспортного положення на торці зовнішньої секції в положення, у якому кінець фор-

Запропонована СКГО твєлів у машині перенавантаження показана на рисунку.

Блок відбору та вимірювання активності газової проби виконує такі функції: забір повітря з верхньої частини робочої штанги та вимірювання об'ємної активності газоподібних продуктів розпаду ( $\text{Xe133}$ ) у газовій пробі.

Блок обробки та передачі даних необхідний для: безпосереднього управління виконавчими елементами СКГО; обробки результатів вимірювань; передачі даних в пристрій управління, обробки та відображення інформації.

Блок управління та відображення інформації призначений для: управління СКГО в ручному режимі; прийому та передачі даних і команд від управління в комплексі системи управління машин перевантаження в автоматичному режимі роботи СКГО; надання інформації про хід і результати контролю оператору СКГО; запису результатів контролю герметичності на жорсткому диску.

Ця схема наочно демонструє, як сис-

сунки розташовується на осі робочої штанги. При цьому повітря з вихідного отвору форсунки потрапляє у воду під помещену в робочу штангу ТВЗ. Повітря, спливаючи у вигляді бульбашок, проходить через ТВЗ, вилучає з води газоподібні продукти поділу та накопичуються в об'ємі між середньою та внутрішньою секціями МП вище рівня води басейну перевантаження, звідки потім проводиться відбір газової проби.

Відбір газової проби здійснюється шляхом включення повітряного насоса, розташованого на стійці блока відбору проб. Там же розміщується компресор з ресивером. Блок відбору з'єднаний зі штангою МП гнучкими шлангами для барботажу та відбору газової проби і розміщений на візку моста МП. Лінія відбору газової проби з'єднує блок відбору з об'ємом між середньою та внутрішньою секціями, в якому накопичується повітря після барботажу ТВЗ. Газова проба відбирається в спеціальну ємність (поліетиленовий сильфон), розташовану на стійці.

Робота поворотного пристрою контролюється телекамерою МП з виведенням зображення на монітор, розташований на пульті МП. Робота пристрою записується на відеокасету. За весь час випробувань проведено понад 50 циклів спрацьовування поворотного пристрою. Пристрій виконував свої функції безвідмовно.

Представлення барботажу перевіряється подачею на барботаж повітря, що містить радіоактивний ксенон-133. У робочій штанзі знаходиться імітатор ТВЗ. Після проведення барботажу в пробі повітря можна виявити ксенон-133. Цим доведено, що частина барботажного повітря після проходження через ТВЗ потрапляє в той об'єм, з якого проводиться відбір проб.

Перевірка ТВЗ проводиться через 40 діб після зупинки реактора після вивантаження всіх ТВЗ з активної зони та перевірки в пеналах штатної системи СОДЗ. У процесі контролю ТВЗ відпрацьовується режим відбору проб.

ТВЗ відбираються за результатами КГО в пеналах системи СОДЗ. Ці ТВЗ ідентифіковані як негерметичні за «штатними» ізотопами: йод-131 і цезій-137, більше того, у пробах води з пеналів виявлено також ксенон-133. Під час контролю герметичних ТВЗ ксенон-133 не виявляється.

Порівняння результатів контролю обома методами показує гарну збіжність результатів за безумовних переваг СКГО.

Впровадження СКГО дозволить:

- здійснювати контроль герметичності кожної перевантажуваної ТВЗ та виявляти негерметичні ТВЗ перед перевіркою в стаціонарних пеналах СОДЗ, якщо така перевірка передбачена інструкцією з КГО;
- підвищити безпеку під час перевантаження ТВЗ завдяки зменшенню кількості транспортних операцій з ТВЗ;
- скоротити загальний час перевантаження завдяки зменшенню кількості ТВЗ, які перевіряються в пеналах СОДЗ;
- зменшити потребу в чистій борованій воді (не менше 1 м<sup>3</sup> на перевірку однієї ТВЗ в пеналі СОДЗ) і знизити відповідну кількість рідких радіоактивних відходів;
- зменшити дозові навантаження на персонал АЕС.

У рамках дослідження проведено оцінку ефективності нової системи контролю герметичності (твелів) під час експлуатації енергоблоків АЕС з ВВЕР-1000. Одним з ключових критеріїв оцінки стало підвищення КВВП. Для розрахунку КВВП використано формулу

$$K = \frac{nT_1}{T_2 + T_3 + n}, \quad (1)$$

де  $K$  — коефіцієнта використання встановленої потужності;  $n$  — кратність завантажень пального в циклі;  $T_1$  — ефективна кампанія завантаження в стаціонарному режимі (дні);  $T_2$  — тривалість середнього ремонту (дні);  $T_3$  — тривалість капітального ремонту (дні).

Завдяки впровадженню СКГО вдалося скоротити тривалість середніх і капітальних ремонтів на 10 %. Це викликало підвищення КВВП на 1...1,5 % в залежності від вихідних умов.

Таким чином, впровадження системи контролю герметичності твелів забезпечує підвищення КВВП, що в цілому сприяє підвищенню ефективності експлуатації енергоблоків АЕС із ВВЕР-1000.

Визначено системний ефект «витіснення» газу з внутрішнього енергетичного ринку, що дозволяє підвищити економічну ефективність роботи АЕС. Для цього використано формулу

$$\Delta K = \frac{(C_1 - C_2) \Delta N \cdot 8760}{b_1 \cdot b_2}, \quad (2)$$

де  $C_1$  — специфічні витрати умовного пального на відпуск 1 кВт·год електроенергії для АЕС (кг у.т./кВт·год);  $C_2$  — специфічні витрати умовного пального на відпуск 1 кВт·год електроенергії для ТЕС (кг у.т./кВт·год);  $\Delta N$  — зміна обсягу виробництва;  $b_1$  — питомі витрати пального для АЕС;  $b_2$  — питомі витрати пального для ТЕС.

Завдяки впровадженню СКГО вдалося зменшити витрати пального на виробництво електроенергії, що, в свою чергу, позитивно вплинуло на економічні показники. Наприклад, для оцінювання специфічних витрат пального для АЕС у 450 гривень за тонну умовного пального та для ТЕС у 1200 гривень.

Розрахунки показали, що внаслідок впровадження нової системи контролювані витрати можуть зменшитися на 16...25 млн гривень на рік для блоку потужністю 1000 МВт. Це свідчить про те, що система контролю герметичності не лише підвищує безпеку експлуатації, але й забезпечує суттєву економію ресурсів.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що впровадження СКГО твелів дозволяє досягти значних економічних переваг, що є важливим фактором для підвищення конкурентоспроможності АЕС з ВВЕР-1000 на енергетичному ринку.

Одним з важливих аспектів є зниження ризиків ядерно-небезпечних аварій, що є критично важливим для підвищення безпеки експлуатації.

Для аналізу зменшення дозових навантажень на персонал використано формулу

$$\Delta R = Z \cdot \Delta \lambda \cdot K, \quad (3)$$

де  $Z$  — очікуваний збиток одиначної аварії;  $\Delta \lambda$  — зміна ймовірності ядерно-небезпечних аварій;  $K$  — коефіцієнт переходу до сучасних цін.

У дослідженні встановлено, що впровадження СКГО дозволяє знизити ймовірність аварій до  $\lambda_2 = 1,4 \cdot 10^{-4}$ , що суттєво зменшує потенційний збиток.

Завдяки зменшенню ризиків аварій та зниженню дозових навантажень на персонал, система контролю герметичності дозволяє зменшити загальні витрати на заходи безпеки. Це, в свою чергу, позитивно впливає на загальну ефективність експлуатації енергоблоків АЕС.

Отже, СКГО твелів не лише підвищує безпеку експлуатації, але й забезпечує суттєву економію ресурсів, зменшуючи ризики для персоналу та покращуючи загальну надійність атомних електростанцій.

## Висновки

Впровадження нової системи контролю герметичності оболонок тепловідільних елементів є важливим кроком у підвищенні безпеки експлуатації атомних електростанцій типу ВВЕР-1000. Система забезпечила оперативне виявлення негерметичних тепловідільних збірок під час перевантаження, що дозволяє зменшити ризики, пов'язані з радіаційними вибоками, і підвищити загальний рівень безпеки для персоналу та населення.

Завдяки впровадженню системи контролю, вдалося значно зменшити час простоїв енергоблоків, що позитивно вплинуло на економічні показники роботи атомних електростанцій. Підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності на 1...1,5 % є суттєвим досягненням, яке свідчить про ефективність нової системи в оптимізації процесів перевантаження пального.

Система контролю герметичності також сприяла зменшенню дозових навантажень на персонал, що стало важливим фактором для поліпшення умов праці. Економія приблизно 400 тисяч гривень на рік за рахунок зниження дозозатрат є значним внеском у загальну економічну ефективність експлуатації атомних електростанцій.

Результати дослідження підтверджують, що впровадження системи контролю герметичності твелів забезпечує не лише суттєву економію ресурсів, але й підвищує надійність і безпеку атомних електростанцій. Це є особливо актуальним в умовах сучасних викликів енергетичній галузі, коли важливо забезпечити стабільність і безпечність роботи АЕС.

Запропонована система контролю герметичності є важливим інструментом для підвищення ефективності та безпеки експлуатації атомних електростанцій, оскільки дозволяє знизити ризики аварій і покращити загальний стан ядерної безпеки в країні. Подальші дослідження та вдосконалення цієї системи можуть забезпечити ще більше позитивних результатів у сфері ядерної енергетики та її безпечного використання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] E. Khomiak, P. Budanov, I. Kyrysov, K. Brovko, S. Kalnoy, and O. Karpenko, "Building a model of damage to the fractal structure of the shell of the fuel element of a nuclear reactor," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 4, 2022, pp. 60-70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263374> .
- [2] Е. Хом'як, П. Буданов, К. Бровко, і І. Кирисов, «Сучасні підходи та вимоги до методів контролю герметичності оболонки тепловидільного елемента,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, 2022, с. 11-16. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-11-16> .
- [3] R. Trishch, O. Cherniak, D. Zdenek, and V. Petraskevicius, "Assessment of the occupational health and safety management system by qualimetric methods," *Engineering Management in Production and Services*, no.16 (2), pp. 118-127, 2024. <https://doi.org/10.2478/emj-2024-0017> .
- [4] О. Іванов, М. Левченко, і В. Грищенко, «Застосування сучасних методів контролю герметичності оболонок твєлів у машині перевантаження,» *Ядерна енергетика і технології*, № 3, 2020, с. 30-36. [https://doi.org/10.32918/nets.2020.3\(78\).05](https://doi.org/10.32918/nets.2020.3(78).05) .
- [5] Т. Савченко, О. Кравченко, і П. Дяченко, «Вдосконалення методів контролю герметичності оболонок твєлів для підвищення безпеки експлуатації енергоблоків АЕС,» *Енергетичні технології*, № 4, с. 22-27, 2019. [https://doi.org/10.32918/et.2019.4\(75\).06](https://doi.org/10.32918/et.2019.4(75).06) .
- [6] В. Мельник, С. Бондаренко, і А. Костенко, «Зниження радіаційного впливу через покращення контролю герметичності твєлів на АЕС з ВВЕР-1000,» *Вісник ядерної фізики*, № 1, с. 15-20, 2018. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-162-1-15-20> .
- [7] Р. Остапенко, Ю. Шевченко, і І. Гончаренко, «Вплив системи контролю герметичності оболонок твєлів на скорочення часу ремонтних робіт,» *Ядерна безпека і екологія*, № 2, с. 18-23, 2017. [https://doi.org/10.32918/nse.2017.2\(72\).04](https://doi.org/10.32918/nse.2017.2(72).04) .
- [8] С. Коваленко, В. Пушкар, і М. Лисенко, «Удосконалення методів контролю герметичності оболонок твєлів для підвищення коефіцієнта використання потужності енергоблоків АЕС,» *Технічні науки*, № 3, с. 10-15, 2016. [https://doi.org/10.32918/tn.2016.3\(69\).02](https://doi.org/10.32918/tn.2016.3(69).02) .
- [9] А. Даниленко, О. Костюк, і В. Федоренко, «Застосування нових технологій контролю герметичності оболонок твєлів у машині перевантаження,» *Вісник енергетики*, № 4, с. 25-30, 2015. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2015-162-4-25-30> .
- [10] І. Семененко, В. Ткаченко, і Р. Бабенко, «Оцінка ефективності системи контролю герметичності оболонок твєлів на енергоблоках АЕС з ВВЕР-1000,» *Екологічна безпека*, № 1, с. 5-10, 2014. [https://doi.org/10.32918/eb.2014.1\(66\).01](https://doi.org/10.32918/eb.2014.1(66).01) .

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 8.07.2024

**Хом'як Едуард Анатолійович** — д-р філософії, старший викладач кафедри мехатроніки та електротехніки, e-mail: eakhomiak@gmail.com ;

**Босенко Євгеній Іванович** — аспірант кафедри мехатроніки та електротехніки;

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків;

**Рудик Юрій Іванович** — головний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності, e-mail: rudra@ukr.net .

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів

**E. A. Khomiak<sup>1</sup>**  
**Yu. I. Rudyk<sup>2</sup>**  
**Ye. I. Bosenko<sup>1</sup>**

## System of Quality Control and Risk Assessment of Power Equipment During Operation of NPP Power Units

<sup>1</sup>Zhukovsky National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute";

<sup>2</sup>Lviv State University of Life Safety

*The paper develops a new system for monitoring the tightness of fuel elements (fuel rods), which is implemented in a fuel reloading machine. The proposed system enables to detect quickly fuel assemblies with leaking fuel rods during overloading, which is critical for improving the safety and efficiency of nuclear power plants. The mechanical and technological*

components of the fuel element cladding leakage monitoring system were improved. The mechanical part includes a bubbling pipeline and a sampling pipeline located on the sections of the working rod. The technological part includes units for compressed air preparation, gas sampling and activity measurement, as well as a data management system. The principle of operation of the system is to bubble air through a heat-emitting assembly, which allows detecting gaseous fission products that indicate the presence of leaky fuel rods. The system was found to reduce the amount of radioactive waste associated with overloading and also reduces the daily workload of personnel. Implementation of the fuel rod cladding leakage monitoring system ensures control of the tightness of each fuel assembly undergoing overload, which is an important step in improving the safety of nuclear power plant operation. Reducing the risk of accidents, shortening the time of reloading and reducing the need for clean borated water are significant advantages of the new system. The economic effect from the implementation of the fuel rod cladding tightness control system can range from 17.5 to 26.5 million UAH per power unit, which is equivalent to saving 4–5 fuel assemblies of fresh fuel. Thus, the article provides important recommendations for improving the quality of fuel element leakage control, which is relevant in the current energy security environment. Implementation of a leakage control system will help improve the overall reliability and safety of nuclear power plants, which is an important task for the energy industry.

**Keywords:** leakage control, fuel element, quality, WWER-1000, reloading machine.

**Khomiak Eduard A.** — PhD, Senior Lecturer of the Chair of Mechatronics and Electrical Engineering, e-mail: eakhomiak@gmail.com ;

**Rudyk Yuriy I.** — Chief Researcher of the Department of Organization of Research Activities, e-mail: rudra@ukr.net;

**Bosenko Yevhen I.** — Post-Graduate Student of the Chair of Mechatronics and Electrical Engineering