



pesconf.nuczu.edu.ua

ПРОБЛЕМИ
НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ

Civil Security
Цивільна безпека

International Scientific
Applied Conference
"PROBLEMS
OF EMERGENCY SITUATIONS"

Chemical Technology and Engineering
Хімічна технологія та інженерія

Physics and Materials Science
Фізика та матеріалознавство

Applied Geometry, Engineering Graphics and Information Technology
Прикладна геометрія, інженерна графіка та інформаційні технології

Cherkasy



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ



Міжнародна
науково-практична конференція

**Проблеми
надзвичайних
ситуацій**

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Черкаси
21 травня 2026 року

ВІДНОВЛЕННЯ ПАРОТУРБІННОГО ОБЛАДНАННЯ ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ І ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Погрібний М. А.¹, к.т.н., професор,

Реброва О. М.¹, к.т.н., доцент,

Ребров О. Ю.¹, д.т.н., професор,

Васильченко О. В.², к.т.н., доцент,

Щегольова М. Г.¹, к.м.н., доцент

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

²Національний університет цивільного захисту України,

³Харківський національний медичний університет

Вирішення задачі підвищення надійності і довговічності деталей машин і механізмів в сучасному енергомашинобудуванні пов'язано, перш за все, з подовженням термінів служби робочих лопаток потужних парових турбін, які експлуатуються в умовах інтенсивного ерозійного зношування. Не дивлячись на використання протягом багатьох років різноманітних методів протиерозійного захисту ресурс роботи таких лопаток – унікальних за конструкцією та високовартісних виробів – продовжує залишатися значно нижчим від проектного. Оскільки одночасна заміна великої кількості зношених лопаток на нові з виробничої точки зору є досить проблемною, а з економічної відчутно затратною, стає привабливою можливість подовження термінів експлуатації за рахунок відновлення лопаток з ерозійними пошкодженнями, при чому, не тільки лопаток, що повністю втратили працездатність, а й тих, які недоцільно використовувати в подальшому з точки зору безпеки та економічності експлуатації турбоагрегатів в цілому.

На основі результатів експериментальних досліджень моделюючих зразків і проведення робіт по реставрації натурних виробів встановлено, що технологічний процес відновлення лопаток з ерозійним зносом повинен включати наступні основні технологічні операції: аргоно-дугове наплавлення зношених кромки сталі, близькими за хімічним складом до основного матеріалу лопатки, термічну і механічну обробку після наплавлення, а також протиерозійну обробку наплавлених кромки лопаток.

Для реалізації оптимальної технології відновлення зношених лопаток обрано метод наплавлення, який є найбільш технологічним, економічним і, що найважливіше, такий, що забезпечує отримання високоякісного з'єднання матеріалів у процесі наплавлення. Стосовно до робочих лопаток парових турбін, наплавлення яких ускладнено незначною товщиною в перетині профілю і його гвинтоподібною конфігурацією, саме цей метод виявився найбільш ефективним, оскільки дозволяє виконувати якісне наплавлення тонкостінних виробів та характеризується відносною простотою техніки наплавлення. В якості матеріалів, якими здійснювалося наплавлення, обрані високолеговані сталі з 11–13 % хрому та 0,15–0,20 % вуглецю, які за хімічним складом та властивостями є спорідненими з основним металом лопаток. Тому основним матеріалом для наплавлення послуговувалася сталь 20Х13.

Проведений після наплавлення відпуск з нагрівом в печі ($t_{\text{нагр.}}=660\dots680\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{нагр.}}=2\text{ год.}$) дозволив отримати в досліджуваних наплавках рівень властивостей, який відповідає нормативам технічних умов стосовно матеріалів для лопаток турбін. Крім того, результати виконаних досліджень засвідчили, що найбільш високий комплекс механічних властивостей наплавки сталей, що містять 12 % хрому, може бути досягнутий за рахунок високотемпературного відпуску із швидкісним (швидкість більше $150\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{сек}$) індукційним нагрівом, який забезпечує практично повне відновлення вхідних властивостей матеріалу наплавлених виробів. Таким чином, в залежності від конкретного рівня вимог до

експлуатаційних властивостей відновлених лопаток, після наплавлення в якості термічної обробки може бути використаний відпуск або з повільним пічним, або з швидкісним індукційним нагрівом.

Враховуючи накопичений досвід та результати попередніх досліджень, в якості основного методу захисту відновлених лопаток від ерозійного зношування був обраний метод поверхневого гартування з індукційним нагрівом струмами високої частоти (СВЧ). Доцільність та спроможності даного методу визначалися в процесі його порівняння з методом поверхневого електроіскрового легування твердим сплавом на основі карбідів вольфраму і титану марки Т15К6, який досить часто використовується для протиерозійного зміцнення нових лопаток.

Оцінка експлуатаційної надійності відновлених за розробленою технологією лопаток проводилася шляхом визначення комплексу показників, які характеризують їх конструкційну міцність. При цьому, виходячи з особливо важких умов роботи деталей лопаточного апарату турбін, які піддаються одночасному впливу статичних, динамічних і вібраційних навантажень, а також ерозійному зносу, визначали: короткочасні механічні властивості; втомну міцність (в умовах симетричного та асиметричного циклів навантаження); опір крихкому руйнуванню (за допомогою силових і температурних критеріїв механіки руйнування); рівень і характер розподілу залишкових напружень; ерозійну стійкість; конструктивну межу витривалості.

Порівняльні випробовування підготовлених у відповідності до розробленої технології моделюючих зразків і пакетів лопаток показали наступні основні результати:

- рівень короткочасних механічних властивостей лопаточної сталі 15Х11МФ з наплавленням мало відрізняється від властивостей матеріалу нових лопаток і задовольняє нормативним вимогам;

- обробка за технологією відновлення забезпечує в лопатковому матеріалі необхідний температурний запас в'язкості ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за $T_{кр.2}$), достатньо високу втомну міцність (305–325 МПа в симетричному циклі та 285 МПа в асиметричному циклі навантаження) і сприятливий стан залишкових напружень;

- за ерозійною стійкістю відновлені лопатки приблизно в 6 разів вище стійкості лопаточної сталі без зміцнення, перевищує більше ніж в 2 рази стійкість сталі 15Х11МФ з електроіскровим зміцненням сплавом Т15К6 і на 15–20 % вище опору ерозійному зносу нових лопаток з поверхневим загартуванням СВЧ;

- конструктивна межа витривалості лопаток після відновлення становить 150–160 МПа, що приблизно в 3 рази перевищує рівень фактичних вібраційних навантажень, визначених шляхом тензометрування натурних лопаток.

Аналіз результатів проведених досліджень дозволив підсумувати, що працездатність відновлених шляхом багатошарової наплавки і подальшої подвійної термічної обробки (відпуску та поверхневого загартування з нагрівом СВЧ) лопаток є достатньо високою і практично не поступається працездатності нових лопаток, виготовлених і зміцнених за прийнятою на теперішній час технологією.

Результати проведених досліджень підтверджені експлуатаційними випробуваннями партії відновлених лопаток на одному із енергоблоків діючою ТЕС, розроблена технологія рекомендована для промислового впровадження.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ

Андрієнко М. В., Бойко О. А., Гаман П. І. Сучасні підходи до цивільного захисту об'єктів підвищеної небезпеки та об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану	4
Афанасенко К. А., Григоренко О. М. Взаємозв'язок класів токсичних речовин за критерієм гострої токсичності при ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки	6
Баланюк В. М., Мирошкін В. С., Гусар Н. І. Щодо питання моделювання параметрів концентрації та геометрії аерозольної хмари під час гасіння горіння на відкритому просторі	8
Балдук Г. П., Беспалова А. В., Балдук П. Г. Інформаційні моделі будівель й споруд як інструмент підвищення якості експертизи проектної документації на будівництво	10
Балицька В. О. Аналіз основних тенденцій розвитку товстоплівкової сенсорики для застосування у сфері цивільного захисту	12
Барабаш М. С., Бармін І. В. Особливості розрахунку захисних споруд на аварійні впливи	14
Басманов О. Є., Карпова Д. І. Прогнозування температурного режиму вертикальних сталевих резервуарів при горінні нафтопродуктів	16
Батечко С. М., Отрош Ю. А. Трансформація превентивної діяльності ДСНС на рівні територіальних громад	18
Бекірова М. М., Чучмай О. М. Розрахунок рамних стержневих конструкцій на дію імпульсного навантаження	20
Березовський А. І., Копил Б. Я. Метод визначення міцності утвореного пінококсу вогнезахисних покриттів металевих конструкцій	22
Бондаренко С. М., Волошин Р. О. Апаратурне забезпечення дослідження характеристик аспіраційних пожежних сповіщувачів	24
Боцуляк А. І., Антошкін О. А. Автоматизація проектування систем пожежної сигналізації як інструмент підвищення якості роботи інженера-проектувальника	26
Братель С. Г., Білик І. В. Превентивна діяльність національної поліції України у системі запобігання надзвичайним ситуаціям: організаційно-правові та управлінські аспекти	28
Буднік С. В. Зміни клімату та трансформація представлення гідрометеорологічної інформації щодо запобігання надзвичайних станів	30
Вавренюк С. А. Загальні принципи побудови зовнішніх систем блискавкозахисту	32
Веселівський Р. Б., Яковчук Р. С., Смоляк Д. В., Поліщук І. М. Актуальність дослідження закономірностей зміни коефіцієнта теплопровідності та часу досягнення критичної температури у вогнезахисних сталевих конструкціях	34
Вітовецький В. О., Мельник В. П. Цифровізація робочих процесів у сфері цивільного захисту та превентивної діяльності	36

Лазаренко О. В., Пазен О. Ю.	
Оцінка ефективності використання вогнегасних речовин для гасіння літій-іонних акумуляторних батарей.....	291
Липовий В. О.	
Статистика пожеж на автостоянках закритого типу.....	293
Литвин М. В., Лин А. С.	
Методи досліджень термозахисних властивостей захисного одягу пожежників-рятувальників.....	295
Мельник В. І.	
Цифрові рішення для ризик-орієнтованого управління надзвичайними ситуаціями у системі цивільного захисту та на об'єктах критичної інфраструктури.....	297
Мельниченко А. С.	
Алгоритм евакуації постраждалого, завислого на страхувальному пристрої, при рятувальних роботах на висоті.....	299
Мельниченко А. С., Іваненко Я. С.	
Алгоритм евакуації постраждалого, завислого на спусковому пристрої, при рятувальних роботах на висоті.....	301
Мота А. Ф.	
Реагування на надзвичайні ситуації в сфері охорони державного кордону.....	303
Неклонський І. М.	
Моделювання діяльності функціонального підрозділу як активного агента в системі управління під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.....	305
Неутов С. П., Сур'янінов М. Г., Сур'янінов В. М.	
Порівняння результатів експериментальних та чисельних досліджень тріщиностійкості циліндричних оболонок.....	307
Осадчук М. В., Стилик І. Г.	
Застосування компресійної піни для висотного пожежогасіння.....	310
Остапенко А. О., Пустовіт М. О.	
Роботизація процесів пожежогасіння в умовах підвищеного ризику: огляд сучасного стану та можливостей.....	312
Пархоменко В.-П. О., Михалічко Б. М., Лавренюк О. І.	
Підвищення ефективності водних вогнегасних розчинів за допомогою інгібіторів.....	314
Півторацький В. В., Назаренко С. Ю., Коваленко Р. І.	
Експериментальне дослідження механічних властивостей матеріалу рукава високого тиску при випробуванні зразків на розрив після штучного старіння.....	316
Пліско Ю. В.	
Дії населення в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру.....	318
Погрібний М. А., Реброва О. М., Ребров О. Ю., Васильченко О. В., Щегольова М. Г.	
Відновлення паротурбінного обладнання шляхом наплавлення і термічної обробки.....	320
Присяжний Р. І., Великий Я. Б.	
Порівняльний аналіз моделі розвідки В-SHAF та сучасних тактичних концепцій оцінки пожежної обстановки.....	322
Присяжнюк В. В., Доценко О. Г., Тимошенко О. М.	
Створення випробувальної бази з перевірки окремих технічних вимог пожежної та спеціальної техніки.....	324
Приходько Б. В.	
Особливості реагування на пожежі в природних екосистемах під час війни.....	326
Пушкарьова К. К., Кочевих М. О., Кушнірова Л. О., Терещенко Л. В.	
Особливості процесів гідратації мінералів C_3S та C_3A у наномодифікованих цементних системах на основі білого портландцементу.....	327