

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації аспіранта Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України Сапужака Ярослава Ігоровича на тему «Моделі та розрахункові методи оцінювання впливу наводнювання металу на довговічність елементів енергетичного обладнання» поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 - Математика та статистика за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Фаховий семінар проведений у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України 10 березня 2021 року, протокол №1.

1. Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки математичних моделей для визначення напружено-деформованого стану та оцінки залишкового ресурсу реальних елементів конструкцій за умов їх роботи у водневомісних середовищах та із урахуванням локальної експлуатаційної пошкоджуваності (дефектності).

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відділі міцності матеріалів і конструкцій у водневомісних середовищах (№10) Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, де здобувач Я.І. Сапужак був співвиконавцем наступних наукових тем і проектів:

- науково-дослідної роботи III-144-18 «Розроблення методології оцінювання технічного стану та прогнозування ресурсу роботи елементів конструкції 2-го контуру енергоблоку АЕС за наявності водню», № держреєстрації 0118U000464 (2018 – 2020 pp.);
- конкурсного проекту НФДУ за номером 2020.02/0049 «Фізико-механічні макро, мікро та нано механізми взаємодії водню із низьколегованими сталями як фундаментальний чинник міцності та працездатності систем зберігання і транспортування водню», № держреєстрації 0120U104904 (2020 – 2021 pp.),

де його власні результати наукових досліджень стали фрагментами даних науково-дослідних робіт.

3. Наукова новизна. У дисертації вперше одержані наступні наукові результати:

- **Вперше** на базі енергетичного підходу побудовано та реалізовано математичні моделі для оцінювання впливу водню та корозивного

середовища на нагромадження пошкодження в металі за механізмом повзучості.

- **Удосконалено** розрахункову методику і відповідне програмне забезпечення для оцінювання довговічності тривало експлуатованих конструкційних елементів за умов повзучості та наводнювання.
- **Вперше визначено** напружене-деформований стан та оцінено довговічність прямолінійної ділянки теплообмінних труб трьох типів парогенераторів, виготовлених із нержавіючої хромонікелевої сталі аустенітного класу 08Х18Н10Т за різних значень тисків робочого середовища та концентрації хлоридів в корозивному середовищі.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи мають теоретичний характер. У роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, які приводять до необхідності перегляду нормативної бази та розвитку методики уточненого розрахунку напружене-деформованого стану елементів енергетичного обладнання, яка б адекватно враховувала реальну геометричну форму конструктивних елементів, яка в процесі експлуатації може змінюватись, термоочутливість властивостей матеріалу в усьому діапазоні зміни температури, пружно-пластичний характер деформування та вплив наводнювання металу.

За результатами дослідження, виконаного в рамках даної дисертаційної роботи, було удосконалено розрахункову методику та програмне забезпечення для оцінювання довговічності та міцності конструкційних елементів за експлуатації на основі енергетичного підходу. За його допомогою були зроблені прогнозні оцінки довговічності прямолінійної ділянки теплообмінних труб парогенератора, що виготовлені із нержавіючої хромонікелевої аустенітної сталі 08Х18Н10Т за різних значень концентрації хлоридів та тиску робочого середовища з врахуванням наводнювання металу труб.

5. Використання результатів роботи. Отримані результати можуть бути використані для розв'язання прикладних задач у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України, Державному підприємстві «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ), Державному підприємстві «НАЕК «Енергоатом», Національному університеті «Львівська політехніка» (Інститут енергетики та систем керування), в науково-дослідних та конструкторських організаціях, які займаються проектуванням трубопровідних систем та обґрунтуванням їх безпечної експлуатації.

6. Особиста участь автора в отриманні наукових та практичних результатів, викладених в даній дисертаційній роботі. Дисертаційна робота виконана у відділі №10 «Міцності матеріалів і конструкцій у водневовмісних середовищах» Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, науковий керівник доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Гембара Оксана Володимирівна.

Здобувач особисто одержав результати дослідження. Вибір теми, формування завдань та аналіз результатів виконано спільно з науковим керівником. У наукових роботах, що підготовлені у співавторстві, автором безпосередньо виконано наступне: розвиток енергетичного підходу для аналізу нагромадження пошкодження в металах за дії водню; проведення обчислювальних експериментів, зокрема розроблення моделей елементів конструкцій та розбиття їх на скінченні елементи; розробка алгоритму та програми; визначення напружене-деформованого стану, енергії деформування та концентрації водню; аналіз отриманих результатів, представлення їх графічно; порівняння з відповідними експериментальними даними та результатами інших авторів.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, його наукових праць та Протоколу контролю оригінальності дисертаційної роботи (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Unicheck.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 5 статей у наукових фахових виданнях (з них 4 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу, фахових виданнях України категорії «А», або закордонних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних WoS або Scopus), 10 тез та доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Статті в наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection

1. Ivanytskyi Ya., Kharchenko Ye., Hembara O., Chepil O., Sapuzhak Ya., Hembara N. The energy approach to the evaluation of hydrogen effect on the

Здобувачем розвинуто енергетичний підхід для аналізу нагромадження пошкодження в металах за дії водню; проведено обчислювальні експерименти, зокрема створено геометрична і скінчено-елементна моделі зразка Бріджмана; проведено розрахунки перерозподілу водню та напруженого-деформованого стану.

2. Andreykiv O., Hembara O., Dolinska I., **Sapuzhak Ya.**, Yadzhak N. Prediction of Residual Service Life of Oil Pipeline Under Non-stationary Oil Flow Taking into Account Steel Degradation // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2020. – 102. – Р. 203-216. DOI 10.1007/978-3-030-58073-5 (**Scopus, WoS**).

Здобувачем проведено розрахунки росту корозійної тріщини в металевих матеріалах за відповідних умов навантаження, зокрема, дії водного корозивного середовища і зміни характеристик сталі X52 з часом в результаті її експлуатаційної деградації.

3. Hembara O., Chepil O., Hembara T., Mochulskyi V., **Sapuzhak Ya.** Influence of temperature and hydrogen on fatigue fracture of 10kh15n27t3v2mr steel / Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – Warsaw 2020 – 58, 1. – Р. 3-15. DOI: 10.15632/jtam-pl/115214 (**Scopus, WoS**).

Здобувачем аналітично описано кінетичні діаграми втомного руйнування (КДВР) аустенітної сталі 10X15H27T3B2MP за різних температур у нейтральному середовищі та у водні.

4. W.-G. Song, O. V. Hembara, and **Ya. I. Sapuzhak** Mathematical modeling of the influence of hydrogen on the corrosion activity of metal structures // Materials science. – 2020. – 56, №1. – Р.66-74. doi: 10.1007/s11003-020-00398-x (**Scopus, WoS**).

Здобувачем проведено розрахунки швидкості корозії у трубопроводах з урахуванням її інтенсифікації дифузійно-рухомим воднем, який надходить з теплоносієм першого контуру, та дії на зовнішню поверхню агресивного робочого середовища другого контуру.

*Статті в наукових виданнях, включених до переліку
наукових фахових видань України*

5. Zhigang Liu, Чепіль О.Я., **Сапужак Я.І.** Математичне моделювання нагромадження пошкоджень в умовах повзучості та корозійного розтріскування конструкційних матеріалів // Фіз. - хім. механіка матеріалів. – 2020. – № 6. – С. 38-44.

Здобувачем визначено напруженого-деформований стан теплообмінних труб різних типів парогенераторів, виготовлених із нержавіючої хромонікелевої сталі аустенітного класу. Обчислено параметр пошкодження

металу труб в розчині хлориду магнію з концентрацією 5 та 10%. Здійснено графічну обробку результатів.

Тези та матеріали міжнародних наукових конференцій

6. Чепіль О.Я., **Сапужак Я.І.** Оцінка довговічності барабана котла виготовленого зі сталі 22к з урахуванням впливу водню. *Конференція молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України: XXV відкрита наук.-техн. конф., 27–29 вересня 2017 р.: матеріали. Львів, ФМІ, 2017. С. 49–52.*

Здобувачем проведена обробка результатів та їх графічне представлення.

7. Апробація енергетичного підходу для моделювання нагромадження пошкодження в металі елементів енергетичного обладнання / Я. Іваницький, О. Гембара, О. Чепіль, **Я. Сапужак** // Сучасні проблеми механіки та математики: зб. наук. праць у 3-х т. / за заг. ред. А.М. Самойленка та Р.М. Кушніра // Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстрігача НАН України. 2018. Т. 1. С. 95–96.

Здобувачем проведено скінчено-елементне моделювання зразка Бріджмана та графічно оформлено результати розрахунків.

8. Методика оцінювання циклічного ресурсу елементів енергетичного обладнання з урахуванням впливу водню / О. Гембара, О. Чепіль, Т. Гембара, **Я. Сапужак** // *Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: 6-а міжн. наук.-техн. конф., 25–26 жовт. 2018 р.: тези доповідей. Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2018. С. 31–33.*

Здобувачем запропонована методика оцінювання ресурсу елементів енергетичного обладнання за термоциклування і наводнювання, основу якої складає енергетичний критерій руйнування та модель деформування елементів конструкцій в умовах взаємодії матеріалу цих конструкцій із водневмісним середовищем.

9. Гембара О.В., **Сапужак Я.І.**, Гембара Н.Т. Методика продовження терміну експлуатації обладнання АЕС України з урахуванням впливу водню // *Проблеми сучасної ядерної енергетики. Тези доп. XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених та фахівців: 14–16 лист. 2018: Харків, вид. ХНУ, 2018. С. 27.*

Здобувачем сформульовано основні положення методики продовження терміну експлуатації обладнання АЕС України з урахуванням впливу водню на основі енергетичного критерію руйнування.

10. The energy approach to the evaluation of hydrogen effect on the damage accumulation / Ya. Ivanytskyi, Ye. Kharchenko, O. Hembara, O. Chepil,

Ya. Sapuzhak, N. Hembara / Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity: Book of abstracts of the 6th International Conference (June 3–6, 2019, Lviv, Ukraine) / Edited by V. Panasyuk. Lviv: Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU, 2019. P. 64–65.

Здобувачем поширено енергетичний підхід для аналізу нагромадження пошкодження в металах за дії водню; проведено обчислювальні експерименти, зокрема створено геометрична і скінчено-елементна моделі зразка Бріджмана; проведено розрахунки перерозподілу водню та напруженого-деформованого стану.

11. Моделювання впливу водню на нагромадження пошкодження в металі за повзучості / О. Гембара, О. Чепіль, Т. Гембара, **Я. Сапужак** // *Математичні проблеми механіки неоднорідних структур*: зб. наук. праць 10-ї Міжнар. наук. конф. / за заг. ред. Р.М. Кушніра і Г.С. Кіта // Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. 2019. Вип. 5. С. 47–48.

Здобувачем проведено розрахунки кінетики нагромадження пошкоджень за різних концентрацій водню та здійснено графічне представлення отриманих результатів.

12. **Сапужак Я.І.**, Гембара Н.Т. Оцінка впливу водню на нагромадження пошкодження в металі за повзучості. Конференція молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України: XXVI відкрита наук.-техн. конф., 25–27 вересня 2019 р.: матеріали. Львів, ФМІ, 2019. С. 41–42.

Здобувачем проведено розрахунки кінетики нагромадження пошкоджень за повзучості та здійснено графічне представлення отриманих результатів.

13. Моделювання впливу водню на нагромадження пошкодження в металі за повзучості / О. Гембара, О. Чепіль, Н. Гембара, **Я. Сапужак** // Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій. Тези доповідей Другої міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті академіка НАН України В.І. Моссаковського (до сторіччя від дня народження): 10–12 жовт. 2019: Дніпро, вид. ДНУ, 2019. С. 198–199.

Здобувачем проведено розрахунки кінетики нагромадження пошкоджень за повзучості та здійснено графічне представлення отриманих результатів.

14. Моделювання нагромадження пошкодження в металі за енергетичним підходом / **Сапужак Ярослав**, Гембара Назар, Гриненко Михайло // Конференція молодих учених «Підстригачівські читання –2020», м. Львів, 26-28 травня 2020. – 2с.
<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2020/abstracts/Hrynenko.pdf>

Здобувачем проведено розрахунки кінетики нагромадження пошкоджень за повзучості та здійснено графічне представлення отриманих результатів.

15. Вплив корозивного середовища на повзучість металу / Гембара О., Чепіль О., Сапужак Я., Гембара Н., Гриненко М. // XV International Conference «Problems of corrosion and corrosion protection of structural materials». – Львів, 6-8 жовтня 2020. – С.103-106.

Здобувачем проведено розрахунки параметра пошкодження металу теплообмінних труб в розчині хлориду магнію з різною концентрацією. Здійснено графічну обробку результатів.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Сапужака Я.І. «**Моделі та розрахункові методи оцінювання впливу наводнювання металу на довговічність елементів енергетичного обладнання**», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України зі спеціальності 113 – Прикладна математика.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

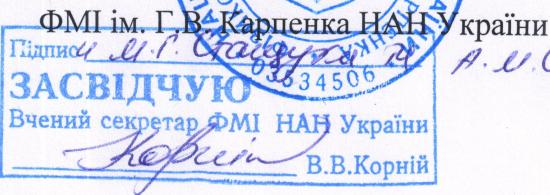
1. Дисертаційну роботу “**Моделі та розрахункові методи оцінювання впливу наводнювання металу на довговічність елементів енергетичного обладнання**”, подану Сапужаком Ярославом Ігоровичем на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

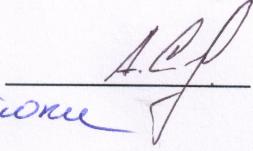
Рецензенти:

Д.Ф.-м.н., проф.,
пров. наук. співробітник
відділу міцності матеріалів і конструкцій
у водневовмісних середовищах
ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України


М.Г. Стащук

Д.т.н., с.н.с.,
пров. наук. співробітник
відділу міцності матеріалів і конструкцій
у водневовмісних середовищах




А.М. Сиротюк