

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПОВІЛЬНЕНОГО РУЙНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ДОВГОТРИВАЛОГО ЕКСПЛУАТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ДЕГРАДАЦІЇ ЇХ МАТЕРІАЛІВ

Олександр Андрейків¹, Ірина Долінська², Святослав Настасяк¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів;

²Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

Втрата міцності і вичерпання ресурсу елементів конструкцій довготривалого експлуатування відбувається внаслідок їх заповільненого руйнування, яке зумовлюють силові і фізико-хімічні чинники [1]. Заповільнене руйнування матеріалів відбувається за двома механізмами: об'ємне пошкодження – зміна структури (деградація матеріалу) за дії фізико-хімічних чинників (висока температура, корозійно-наводнювальні середовища тощо) і локальне руйнування – зародження та поширення тріщин, в тому числі, і за впливу фізико-хімічних чинників. Сьогодні широко розвинуті методи прогнозування залишкового ресурсу елементів конструкцій за їх локального руйнування (методи визначення періоду докритичного росту тріщин). Методи, які б враховували об'ємне пошкодження – деградацію матеріалів розвинуті ще не достатньо.

Довготривале експлуатування конструкційних матеріалів за дії силових і фізико-хімічних чинників передує їхній деградації, яка супроводжується зміною вихідної мікроструктури, а відтак зміною фізико-механічних характеристик. Здебільшого внаслідок деградації ці характеристики понижуються, що негативно впливає на міцність і довговічність елементів. Водночас деградація інтенсифікується впливом як високих температур, так і корозійно-наводнювальних середовищ, особливо воденьвмісних, коли водень дифундує на поверхню матеріалу і проходить його обезвуглечення. Таким чином, для більш надійного прогнозування ресурсу елементів конструкцій необхідно враховувати деградацію матеріалів під час експлуатування.

У даній роботі створено загальний енергетичний підхід для розроблення методів прогнозування залишкового ресурсу елементів конструкцій довготривалого експлуатування з урахуванням деградації їх матеріалів. В основу методів покладено побудову математичних моделей (диференціальні рівняння з початковими і кінцевими умовами), які моделюють кінетику заповільненого руйнування (поширення тріщини) з урахуванням зміни в часі фізико-механічних характеристик матеріалів під час довготривалого експлуатування. При цьому побудова диференціальних рівнянь базується на раніше сформульованому енергетичному підході [2, 3], в основу якого покладено перший закон термодинаміки і підходи механіки руйнування. Згаданий закон застосовується для елементарного акту заповільненого руйнування, тобто одиничного стрибка тріщини. Тому в основу методу визначення залишкового ресурсу

елемента конструкції покладено баланс енергетичних складових і роботи зовнішніх сил під час стрибка тріщини, як елементарного акту руйнування і, відповідно, баланс швидкостей зміни цих складових. У даному випадку враховуються дві енергетичні складові: енергія руйнування та енергія деформування. Фізико-механічні характеристики матеріалів входять в рівняння як функції, залежні від часу.

На основі такого загального підходу розроблено низку методів для розрахунку залишкового ресурсу елементів теплової і атомної енергетики, зокрема, труб паропроводів і коліс парових турбін, а також магістральних нафтогазопроводів з урахуванням їх дефектності і деградації матеріалів. При цьому на основі результатів експериментальних досліджень матеріалів труб і елементів турбін різного терміну експлуатації побудовано аналітичні моделі зміни їх міцнісних і втомних характеристик з часом. Розрахунки проводили для труб нафтогазопроводів зі сталей X52, X60, X70 з поверхневими тріщинами за дії довготривалого постійного тиску газу в газопроводах, змінного в часі тиску в нафтопроводах, наводнювання, ґрунтової корозії з урахуванням деградації в часі їх матеріалів. Встановлено, що залишкова довговічність труб значно скорочується зі збільшенням початкової глибини тріщини і часу її експлуатації.

1. *Андрейків О.Є., Скальський В.Р., Долінська І.Я.* Заповільнене руйнування матеріалів за локальної повзучості. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 400 с.
2. *Andreikiv O.E., Sas N.B.* Strength of thin-walled structural elements with cracks under the conditions of creep // *Materials Science*. – 2007. – **43**, No. 2. – P. 174–182.
3. *Andreikiv O.E., Dolins'ka I.Ya., Yavors'ka N.V.* Estimation of the periods of initiation and propagation of creep-fatigue cracks in thin-walled structural elements // *Materials Science*. – 2011. – **47**, No. 3. – P. 273–283.

SIMULATION OF DELAYED FRACTURE OF STRUCTURAL ELEMENTS WITH LONG-TERM EXPLOITATION TAKING INTO ACCOUNT THE MATERIAL DEGRADATION

A general approach for the development of forecasting methods of the residual life-time of constructures elements of long-term operation is formulated by taking into account the defects and degradation of materials. The application of the methods is given on the example of calculating the residual life-time of pipes of steam pipelines and wheels of steam turbines, as well as the main oil and gas pipelines, taking into account the degradation of their materials during long-term operation.