

УДК 539.3: 539.214: 539.42: 536.2: 518: 621.311

Комп'ютерне моделювання процесів деформування елементів енергетичного обладнання

Дробенко Б. Д., д.ф.-м.н., ст.н.с., пров.н.с.

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
(вул. Наукова, 3^б, м. Львів, 79060, Україна)

Забезпечення високих показників міцності, надійності та довговічності енергетичного обладнання тісно пов'язане з побудовою нових математичних моделей, розвитком ефективних засобів чисельного аналізу та розробкою відповідного програмного забезпечення, архітектуру, зміст і можливості якого визначають математичні моделі й методи чисельного аналізу в сукупності з технічними засобами.

Наявність надійного програмного забезпечення дозволяє проаналізувати поведінку того чи іншого елемента енергетичного обладнання, отримати експертну оцінку його міцності, запасу ресурсу чи рівня залишкових напружень в ньому. Це значно прискорює процес виготовлення і заміни необхідних елементів як на етапі прийняття і оцінки конструктивних рішень, так і на етапі виробничого циклу. З іншого боку, програмне забезпечення надає можливість визначити раціональні значення геометричних параметрів елементів обладнання при врахуванні обмежень на їх міцність. При цьому різко зменшується кількість натурних експериментів, оскільки експериментально перевіряють лише раціональні проекти, отримані в результаті комп'ютерного моделювання.

Подано результати комп'ютерного моделювання процесів деформування елементів діючого енергетичного обладнання (зокрема, барабана котла з отворами і штуцерів з ремонтними вибірками дефектів, екранних труб з локальними пошкодженнями, колекторів первинного пароперегрівача котла) за умов експлуатації для отримання оцінки їх міцнісного ресурсу і розробки рекомендацій щодо виконання в них ремонтних робіт з метою зміцнення та продовження експлуатації. Обчислювальний експеримент виконано в межах тривимірної моделі неізотермічного термопружно-пластичного тіла за використанням методу скінченних елементів та сімейства простих однокрокових різницевих алгоритмів.

Штуцери й екранні труби моделювали циліндричним тілом із заданими вибірками дефектів та пошкодженнями на внутрішній поверхні, а барабан котла і колектори – порожнистим циліндром з днищами з низкою отворів для штуцерів та змійовиків.

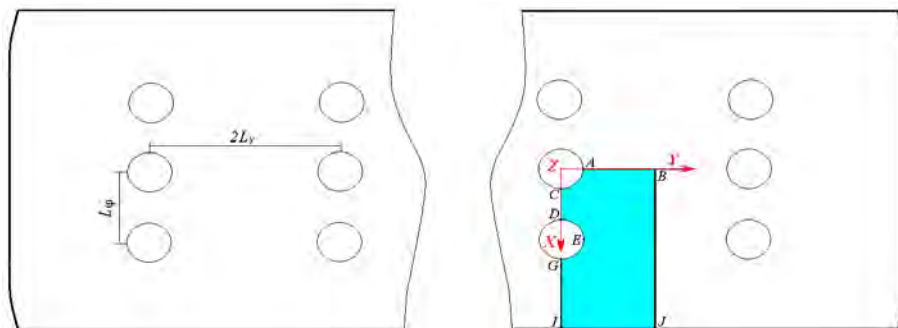


Рис. 1. Геометрична модель колектора

Як частковий приклад, на рис. 1 і 2 схематично подано одну з моделей колектора з поперечною тріщиною глибиною h між отворами (з умов симетрії розглядали лише частину

області). Під час чисельного моделювання в даному конкретному випадку використовували біквадратичні ізопараметричні скінченні елементи (фрагмент скінченно-елементного поділу розрахункової області в околі отворів показано на рис. 3).

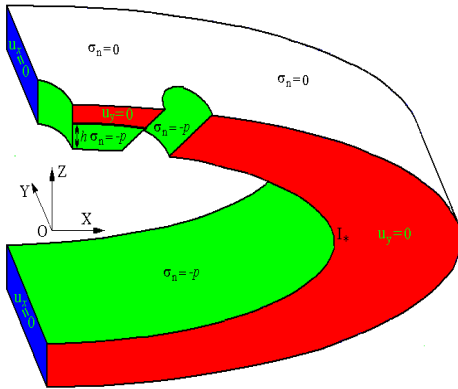


Рис. 2 Розрахункова область з урахуванням умов симетрії

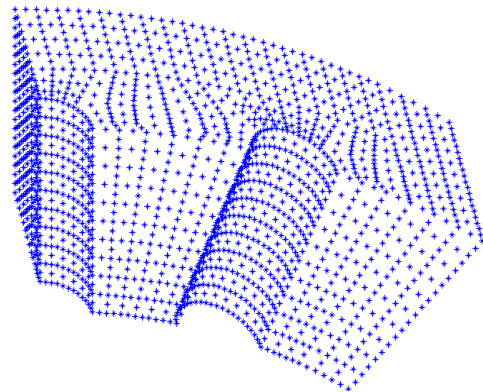


Рис. 3 Вузли фрагменту дискретної моделі колектора в околі отворів

В результаті дослідження напружено-деформованого стану колектора первинного пароперегрівача котла з урахуванням деградації матеріалу та експлуатаційних пошкоджень встановлено, що зародження і поширення поперечних тріщин у тілі колектора між отворами в площині пакету змійовика слід пов'язувати зі значними температурними перепадами за товщиною колектора в нестационарних режимах різкого охолодження (наприклад, за аварійної зупинки котла, при відхиленні в режимах охолодження). Показано, що за наявності наскрізної тріщини між отворами напружено-деформований стан колектора є таким, що практично виключає непрогнозоване катастрофічне руйнування колектора за відсутності тріщин за межами крайніх отворів.

Комп'ютерне моделювання процесів деформування діючих барабанів котлів високого тиску дало можливість визначити раціональні форми геометричних параметрів вибірок в околі отворів і на отворах, за яких рівень концентрації напружень в околі зон з ремонтними втручаннями є мінімальним. Запропоновано робити якнайширшими вибірки на внутрішній поверхні барабана в околі отворів, а вибірки на отворах замінити рівномірним розточенням отворів на глибину, що відповідає розміру локальної вибірки на отворі (погіршення міцнісних характеристик барабана у порівнянні з барабаном без вибірки при цьому не відбувається).

В межах запропонованого підходу побудовано функціональні залежності між глибиною, довжиною і шириною вибірки для визначення таких геометричних параметрів вибірок, за яких напруження у штуцерах барабана котла не перевищують допустимих. За побудованими на основі виконаних розрахунків номограмами також можна перевірити чи напруження у штуцерах з уже наявними конкретними вибірками, параметри яких визначені за існуючою в енергетичній галузі наближеною методикою, належать допустимій області.

Аналіз результатів, отриманих внаслідок численних обчислювальних експериментів, дав можливість виробити обґрунтовані рекомендації щодо проведення ремонтних робіт в штуцерах і барабані котла з тріщиноподібними дефектами, оцінити міцнісний ресурс колекторів і екранних труб з локальними пошкодженнями і встановити мінімально допустиму товщину стінки труби в місці пошкодження (за досягнення якої подальша експлуатація конструктивного елемента неможлива).