



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54982 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПАРОПРОВОДУ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ІЗ ПОНАДПАРКОВИМ ТЕРМІНОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

1

2

(21) u201010204

(22) 18.08.2010

(24) 25.11.2010

(46) 25.11.2010, Бюл.№ 22, 2010 р.

(72) ЦИБЕНКО ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ, КРИЩУК МИКОЛА ГЕОРГІЙОВИЧ, ДУРАВКІН ІГОР ПЕТРОВИЧ

(73) ЦИБЕНКО ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ, КРИЩУК МИКОЛА ГЕОРГІЙОВИЧ, ДУРАВКІН ІГОР ПЕТРОВИЧ

(57) Спосіб визначення залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій з понадпарковим терміном експлуатації шляхом виміру і аналізу міцнісних характеристик елементів конструкції паропроводу, а саме: деформації повзучості металу на поверхні паропроводу, мікроструктури металу поверхні паропроводу, механічних характеристик жароміцності зразків металу і його структури після довготривалої експлуатації в умовах високотемпературної повзучості, який **відрізняється** тим, що додатково виконують імітаційну модель діючого паропроводу, по якій прогнозують залишковий ресурс елементів конструкції паропроводу з урахуванням характеристик по довготривалій міцності, пластичності та повзучості металу елементів конструкції діючого паропроводу і відповідних коефіцієнтів запасу, у випадку, якщо прогнозований ресурс менше величини, що допус-

кають, визначають індивідуальний залишковий ресурс або його відсутність для кожного елемента конструкції паропроводу шляхом визначення і аналізу швидкості зміни зернограничної деформації повзучості металу на кожному етапі термосилового навантаження паропроводу по вимірних величинах деформації повзучості на його поверхні, у випадку перевищення величини критичної зернограничної деформації повзучості металу стверджують про відсутність залишкового ресурсу, у випадку меншої ніж половина величини критичної зернограничної деформації встановлюють зменшений індивідуальний ресурс для даного елемента конструкції паропроводу, у інших випадках здійснюють додаткове дослідження вирізок металу, пошкоджуваність матеріалу визначають по мікроструктурі металу діючого паропроводу з застосуванням модифікованої контрастної схеми С-реплік, а величину граничних характеристик його пошкодження виконують на прикладі аналітичної моделі зародження росту пор при повзучості жароміцних сталей в заданому діапазоні високих температур і поточного часу експлуатації, при наявності багатьох пор у вигляді ланцюгів у матеріалі констатують відсутність ресурсу, а при наявності поодиноких пор виконують додаткові дослідження вирізок матеріалу, при відсутності пор визначають індивідуальний ресурс елемента конструкції.

Корисна модель відноситься до області теплоенергетики і може бути використана при оцінюванні залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій з понадпарковим терміном експлуатації.

Відомо, що визначення залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій є важливим завданням в умовах обмеженої можливості заміни старого обладнання, де єдиною можливістю продовження терміну служби елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій є його реконструкція.

Відомий спосіб визначення залишкового ресурсу труб теплових мереж, працюючих в умовах

довготривалого впливу постійних і перервних навантажень (див. патент Росії № 2366920, виданий 19.09.2009). Відомий спосіб об'єднує вибір ділянки трубопроводу із однієї марки заліза, одного номінального діаметра і товщини стінки, а залишковий ресурс визначають залишковим часом до максимального можливого терміну експлуатації, котрий на 1-3 роки передуює моменту співпадання працюючого тиску з руйнуючим навантаженням металу трубопроводу, при цьому руйнуюче навантаження визначають чисельним способом за формулою:

$$P_{\text{разр}} = \frac{\sigma_{T_0} + V_{\sigma} t}{D / \epsilon_0 + V t - 1} 2\varphi$$

(13) U

(11) 54982

(19) UA

$$\Delta T - T_1 \frac{P_c \ln \frac{Y_H}{Y_0}}{P_H \ln \frac{Y_1}{Y_0}}$$

де  $\sigma$  - границя текучості металу трубопроводу, МПа;  $V_\sigma$  - швидкість деградації, МПа/год;  $t$  - термін експлуатації, год;  $D$  - діаметр, мм;  $S_0$  - товщина стінки, мм;  $V$  - швидкість корозії, мм/год;  $\varphi = 0,9$  - коефіцієнт послаблення зварного шва.

Відомий винахід використовується щоб оцінювати ресурс роботи трубопроводу в процесі його експлуатації при застосуванні уточнених даних, швидкості корозії і швидкості деградації металу безпосередньо на кожній ділянці, в результаті змінних умов, визначати максимальний термін експлуатації трубопроводу.

Але недоліком відомого способу є недостатня достовірність визначення залишкового ресурсу труб теплових мереж, що обумовлено використанням при аналізі обмеженої кількості факторів, які характеризують стан елементів конструкції паропроводу.

Найбільш близьким по технічній сутності запропонованої корисної моделі є спосіб визначення залишкового ресурсу металу магістрального трубопроводу (див. патент Росії по заявці № 2002105603, опубл. 27.11.2003 г.), що включає вимірювання і аналіз міцнісних характеристик елементів конструкції паропроводу, особливо за величинами деформації повзучості металу на поверхні паропроводу, мікроструктури металу поверхні паропроводу, механічних характеристик жароміцності зразків металу та його структури після довготривалої експлуатації в умовах високотемпературної повзучості, тобто контроль не руйнуючими методами ділянок трубопроводу, вибір металу з вихідними механічними властивостями, його штучне деформаційне старіння яке має різну ступінь пластичної деформації, виготовлення зразків з цього металу та механічні випробування зразків, визначення шуканої величини по зміні параметрів механічних властивостей, використання нормативного значення параметрів механічних властивостей, визначення залишкового ресурсу. У цьому способі вимірюють відхилення досліджуваного трубопроводу від проектного положення, визначають навантажені ділянки трубопроводу чисельним методом, а неруйнуючим методом контролю вибирають з них найбільш навантажені ділянки і вирізають метал, виготовляють зразки з цього металу, по нормативно-технічній документації, діючій на момент будівництва трубопроводу, вибирають параметри механічних властивостей металу, проводять механічні випробування металу досліджуваного трубопроводу, результати випробування зразків початкового металу, підданому деформаційному старінню, апроксимують функціональною залежністю для кожного вибраного параметру механічних властивостей від величини пластичної деформації, визначають по цим апроксимованим функціональним залежностям шукану величину деформації металу досліджуваного трубопроводу для кожного параметру механічних властивостей,

встановлюють для кожного параметру механічних властивостей функціональну залежність між визначеною величиною деформації металу досліджуваного трубопроводу і часом його експлуатації, визначають ресурс металу досліджуваного трубопроводу по апроксимованій функціональній залежності зміни кожного параметру механічних властивостей початкового металу, підданого деформаційному старінню, встановленою функціональною залежністю між визначеною величиною деформації металу досліджуваного трубопроводу і часом його експлуатації і нормованому значенню відповідного параметру механічних властивостей, визначають по кожному параметру механічних властивостей залишковий ресурс металу як різницю між ресурсом металу досліджуваного трубопроводу і часом його експлуатації, встановлюють залишковий ресурс металу досліджуваного трубопроводу за мінімальним часом по критеріальним величинам при визначенні залишкового ресурсу, відповідних кожному параметру механічних властивостей.

Але недоліком вище вказаного способу є також недостатня вірогідність визначення залишкового ресурсу трубопроводу теплових мереж, що зумовлено аналізом обмеженої кількості факторів, які впливають на стан трубопроводу, особливо аналізом зміни механічних властивостей та пошкоджуваності металу в процесі експлуатації трубопроводу, особливо аналізом зміни механічних властивостей та пошкоджуваності металу в процесі експлуатації трубопроводу.

Завданням корисної моделі є розробка способу визначення залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій, який дозволяв би з більшою вірогідністю оцінювати залишковий ресурс елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій.

Технічний результат досягається тим, що у способі визначення залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій з понадпарковим терміном експлуатації шляхом виміру і аналізу міцнісних характеристик елементів конструкції паропроводу, а саме, деформації повзучості металу на поверхні паропроводу, мікроструктури металу поверхні паропроводу, механічних характеристик жароміцності зразків металу і його структури після довготривалої експлуатації в умовах високотемпературної повзучості, згідно корисній моделі додатково створюють імітаційну модель діючого паропроводу, по якій прогнозують залишковий ресурс елементів конструкції паропроводу з урахуванням характеристик по довготривалій міцності, пластичності та повзучості металу елементів конструкції діючого паропроводу і відповідних коефіцієнтів запасу, у випадку якщо прогнозований ресурс менше величини, що допускається, визначають індивідуальний залишковий ресурс або його відсутність для кожного елементу конструкції паропроводу шляхом визначення і аналізу швидкості зміни зернограничної деформації повзучості металу на кожному етапі термосилового навантаження паропроводу по вимірним величинам деформації повзучості на його поверхні, у випадку перевищення величини критичної зерно-

раничної деформації повзучості металу стверджують про відсутність залишкового ресурсу, у випадку менше ніж половина величини критичної зернограничної деформації встановлюють зменшений індивідуальний ресурс для даного елементу конструкції паропроводу, у інших випадках здійснюють додаткове дослідження вирізок металу, пошкоджувальність матеріалу визначають по мікроструктурі металу діючого паропроводу з застосуванням модифікованої контрастної схеми С-реплік, а величину граничних характеристик його пошкодження виконують на основі аналітичної моделі зародження росту пор при повзучості жароміцних сталей в заданому діапазоні високих температур і поточного часу експлуатації, при наявності багатьох пор у вигляді ланцюгів у матеріалі констатують відсутність ресурсу, а при наявності одиничних пор виконують додаткові дослідження вирізок матеріалу, при відсутності пор визначають індивідуальний ресурс елементу конструкції.

Сукупність, що заявляється істотних ознак дозволяє підвищити достовірність визначення залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводу теплоелектростанцій.

Спосіб визначення прогнозованого залишкового ресурсу паропроводу здійснюють у такій послідовності:

- оцінка навантажень для стандартних та нестандартних умов праці паропроводу;
- визначення механічних властивостей і характеристик жароміцності паропровідної сталі після довготривалої експлуатації;
- класифікація геометричних недосконалостей деталей паропроводу, визначення ступеня пошкодженості і наявності дефектів його матеріалу експлуатаційного походження;
- побудування імітаційної моделі паропроводу, визначення напружено-деформованого стану і оцінка міцності паропроводу з даними геометричними характеристиками його деталей, механічними і жароміцними властивостями, параметрами пошкодженості матеріалу;
- формалізація граничних станів для відповідних типів відмов і класифікація мінімально допустимого ресурсу кожного його елементу з допустимих умов працездатності паропроводу;
- визначення залишкового ресурсу деталей паропроводу.

Побудування імітаційної моделі паропроводу виконується в глобальній системі декартових координат. Геометричні характеристики його основних сполучних деталей (прямі ділянки труб, згини, трійники, заглушки) відповідають ГОСТу 45 і результатам поточних вимірів фактичних товщин стінок, коефіцієнтів овалізації круглого перерізу елементів конструкції у двох взаємно ортогональних напрямках. Схематизації підлягають всі основні внутрішні і зовнішні термосилові фактори, різні типи кінематичних опор, які впливають на напружений і деформаційний стан паропроводу. Термомеханічні властивості матеріалу паропроводу (модуль Юнга, коефіцієнт лінійного термічного розширення, коефіцієнт Пуассона) мають відповідати ізотропним властивостям результатів випробувань зразка марки сталі після довготривалої

експлуатації, враховуючи пошкоджувальність металу.

Перевірочні розрахунки на міцність і термокомпенсацію проводяться по номінальним напруженням, що допускаються, для холодного та гарячого станів паропроводу. Із застосуванням імітаційної моделі паропроводу визначенню підлягають реакції опор, деформації в контрольних точках, еквівалентні пружні (приведені номінальні) напруження під впливом тиску, температури і вагового навантаження, небезпечні перерізи деталей конструкції.

Для небезпечних перерізів паропроводу здійснюється аналітична оцінка номінальних навантажень і проводиться перевірочний розрахунок на міцність у відповідності з вимогами ГОСТ 108.031.08 (09, 10) - 85. «Котли стаціонарні і паропроводи пару і гарячої води. Норми розрахунку на міцність». Згідно ГСТу приведені напруження  $\sigma_{пр}$  від дії внутрішнього тиску  $p$  середовища в згинах і прямих трубах паропроводів розраховується по фактичній товщині стінки  $S_f$

$$\sigma_{пр} = \frac{p}{2\varphi_{\omega}} \left( D_a - \frac{S_f - c}{k_i Y_i} \right) \frac{k_i Y_i}{S_f - c},$$

де  $D_a$  - зовнішній діаметр,  $S_f$  - фактична товщина стінки труби,  $c$  - прибавка до товщини стінки,  $k_i$  і  $Y_i$  - торовий коефіцієнт і коефіцієнт форми відповідно, приймаючи для зовнішньої (стисненої), внутрішньої (розтягнутої) і нейтральної зон згину. Для згинів приймається найбільше з отриманих трьох значень приведенного напруження.

Визначення мікроструктури металу діючого паропроводу по модифікованій схемі С-реплік визначають по загальновідомому методу.

Для уточнення отриманих результатів проводиться чисельний розрахунок термонапруженого і деформаційного стану паропроводу в небезпечних перерізах по фактичним даним їх геометричних характеристик, термомеханічних властивостей, пошкодженості матеріалу і деформацій повзучості для стандартних і нестандартних умов навантаження паропроводу.

Першим критерієм можливості подальшої експлуатації прямої труби (згину) паропроводу при діючому приведеному навантаженні є виконання умови міцності  $\sigma_{пр} \leq [\sigma]_{\tau 3}^T$ , де значення номінальних допустимих напружень  $[\sigma]_{\tau 3}^T$  визначається по отриманим експериментальним даним границі довготривалої міцності жароміцних сталей у стані стабілізації (табл. 1, 2) при відповідному коефіцієнті запасу міцності  $k=1,5$ .

Спосіб оцінки залишкового ресурсу паропроводів побудовано на застосуванні критеріального методу в програмі індивідуального експертного обслідування обладнання паропроводу.

В якості основного критерію прийнята умова міцності  $\sigma_{пр} \leq [\sigma]_{\tau 3}^T$ , яка обмежує залишковий ресурс рамками значення коефіцієнту запасу середньомаркової міцності по відношенню до приведенного напруження у деталі не нижче, ніж 1,5. Значення розглядається не як залишковий, а як розрахунковий.

вий ресурс даної деталі і є орієнтиром у часі, під час якого треба виконати ті або інші операції технічної діагностики, а саме, аналіз деформації і ступінь пошкоджуваності металу.

Для згинів і прямих труб паропроводів виконується перевірочний розрахунок на міцність згідно першому критерію. Якщо в результаті розрахунку встановлено, що  $\tau_3 \leq 50000$ ч, то проводиться визначення залишкової деформації  $\epsilon_{ост}$  і аналіз пошкоджуваності металу. На основі результатів аналізу приймається рішення:

1) про демонтаж і заміну деталі ( $\epsilon_{ост} \geq \epsilon_{кр}$  або вміст ланцюгів пор);

2) додаткове лабораторне дослідження металу ( $0,5\epsilon_{ост} \leq \epsilon_{ост} \leq \epsilon_{кр}$  або одинокі пори) з можливою подальшою дефектацією або оцінкою працездатності деталі спеціалізованою організацією (як правило, включаючи у себе додаткові іспити на довготривалу міцність);

3) продовженню експлуатації ( $\epsilon_{ост} \geq \epsilon_{кр}$  або відсутність пор) під час  $\tau_3$ . При знайденому значенні  $\tau_3 > 50000$ ч деталь допускається до подальшої експлуатації на проміжок часу  $\tau_3 = 50000$ ч, по закінченню якого знову виконується аналіз деформації і пошкоджуваності металу у відповідності з запропонованим методом.

Максимальний залишковий ресурс паропроводу (або окремих груп їх деталей) відповідає величині  $\tau_3$ . Цей ресурс обмежено виконанням умови півторакратного коефіцієнту запасу довготривалої міцності.

Запропонована корисна модель може знайти широке застосування при визначенні залишкового ресурсу елементів конструкції паропроводів теплоелектростанцій з понадпарковим терміном експлуатації.