

УДК 620.193

## ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОБЛАДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ В АГРЕСИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

АРХИПОВ О.Г.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО О.В.<sup>2\*</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ІВАНЧЕНКО В.В.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ШТОНДА Ю.М.<sup>4</sup>, *старший викладач*

<sup>1</sup>Кафедра обладнання хімічних підприємств, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля Технологічний інститут, вул.Донецька, 43, учбовий корпус, 93400, Северодонецьк, Луганська область, Україна, тел. +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

<sup>2\*</sup> Кафедра загальної та фізичної хімії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля Технологічний інститут, вул.Донецька, 43, лабораторний корпус, 93400, Северодонецьк, Луганська область, Україна, тел. 06452-2-89-95, 050-949-49-77, e-mail: [aspirant-snu@i.ua](mailto:aspirant-snu@i.ua)

<sup>3</sup>Кафедра обладнання хімічних підприємств, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля Технологічний інститут, вул.Донецька, 43, учбовий корпус, 93400, Северодонецьк, Луганська область, Україна, тел. +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

<sup>4</sup>Кафедра обладнання хімічних підприємств, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля Технологічний інститут, вул.Донецька, 43, учбовий корпус, 93400, Северодонецьк, Луганська область, Україна, тел. +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

**Анотація.** Деградація сталей під час тривалої експлуатації – складний і небезпечний процес. Вона охоплює різні процеси і чинники: зміну структури металу і корозійно-електрохімічних характеристик, зовнішні пошкодження поверхні, погіршення механічних властивостей тощо. Процеси, що відбуваються під час деградації сталей, взаємопов'язані, але їх взаємозв'язок складний і недостатньо досліджений. Оцінювання поточного стану металу обладнання, що відпрацювало значний термін, і прогнозування його залишкового ресурсу можна розглядати як комплексну задачу, яка охоплює і вибір чутливих характеристик металу, що підлягають оцінці, і вибір методики. Це обумовлює нагальну потребу розробки наукових підходів до оцінювання поточного стану обладнання і апаратури та методів прогнозування залишкового ресурсу. Для оцінювання ресурсу обладнання одним із головних показників є швидкість корозійних процесів. Ресурс за такого підходу визначають шляхом поділу запасу товщини стінки обладнання на швидкість корозії. Такими методами вдається прогнозувати ресурс лише за умови протікання рівномірної корозії. Методи контролю швидкості корозії за допомогою зразків-свідків, корозиметрів тощо оцінюють лише середню швидкість поверхневої загальної корозії, але в реальних умовах завжди існують коливання параметрів технологічного процесу. Для оцінювання ступеня небезпеки дефектів для сталевих труби використовують такі параметри, як товщина стінки труби, глибина і довжина корозійного пошкодження, характер розшарування сталі. В разі попадання дефекту в безпечну зону, зрозуміло, що подальша експлуатація можлива, але з періодичним контролем. Коли ж дефект попадає в зону руйнування, експлуатацію треба негайно припинити. Якщо попадає в зону, що вимагає експертного оцінювання, то залежно від додаткових умов, наприклад, місця розташування точки, яка відповідає дефекту на графіку, індивідуальних вимог приймають рішення про можливий подальший період експлуатації. Запропонований підхід дає можливість оцінити загалом залишковий ресурс обладнання. Але практика довела, що обладнанню хімічної і нафтопереробної промисловості притаманні локальні пошкодження металу. Це обумовлює необхідність оцінювати також залишковий ресурс саме “проблемних місць” обладнання. Встановлено, що незаплановані зупинки (іноді до 10 разів і більше за рік) суттєво впливають на динаміку розвитку локальних пошкоджень і їх площу. Іноді саме з цієї причини ресурс може зменшуватись у десятки разів.

Ключові слова: деградація, глибина і довжина корозійного пошкодження, корозійно-електрохімічні характеристики залишковий ресурс

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

АРХИПОВ А.Г.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО О.В.<sup>2\*</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ИВАНЧЕНКО В.В.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ШТОНДА Ю.Н.<sup>4</sup>, *старший преподаватель*

<sup>1</sup>Кафедра оборудования химических предприятий, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля Технологический институт, ул.Донецкая, 43, учебный корпус, 93400, Северодонецк, Луганская область, Украина, тел. +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

<sup>2\*</sup> Кафедра общей и физической химии, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля Технологический институт, ул.Донецкая, 43, лабораторный корпус, 93400, Северодонецк, Луганская область, Украина, тел. 06452-2-89-95, 050-949-49-77, e-mail: [aspirant-snu@i.ua](mailto:aspirant-snu@i.ua)

<sup>3</sup>Кафедра оборудования химических предприятий, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля Технологический институт, ул.Донецкая, 43, учебный корпус, 93400, Северодонецк, Луганская область, Украина, тел. +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

<sup>4</sup>Кафедра оборудования химических предприятий, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля Технологический институт, ул.Донецкая, 43, учебный корпус, 93400, Северодонецк, Луганская область, Украина, тел. +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

**Аннотация.** Дegradaция сталей при длительной эксплуатации - сложный и опасный процесс. Она охватывает различные процессы и факторы: изменение структуры металла и коррозионно-электрохимических характеристик, внешние повреждения поверхности, ухудшение механических свойств и тому подобное. Процессы, происходящие во время деградации сталей, взаимосвязаны, но их взаимосвязь сложный и недостаточно исследован. Оценки текущего состояния металла оборудования, отработавшего значительный срок, и прогнозирования его остаточного ресурса можно рассматривать как комплексную задачу, которая охватывает и выбор чувствительных характеристик металла, подлежащих оценке, и выбор методики. Это обуславливает настоятельную необходимость разработки научных подходов к оценке текущего состояния оборудования и аппаратуры и методов прогнозирования остаточного ресурса. Для оценки ресурса оборудования одним из главных показателей является скорость коррозионных процессов. Ресурс при таком подходе определяется путем деления запаса толщины стенки оборудования на скорость коррозии. Такими методами удастся прогнозировать ресурс только при условии протекания равномерной коррозии. Методы контроля скорости коррозии с помощью образцов-свидетелей, коррозиметров оценивают лишь среднюю скорость поверхностной общей коррозии, но в реальных условиях всегда существуют колебания параметров технологического процесса. Для оценки степени опасности дефектов для стальной трубы используют такие параметры, как толщина стенки трубы, глубина и длина коррозионного повреждения, характер расслоения стали. В случае попадания дефекта в безопасную зону, понятно, что дальнейшая эксплуатация возможна, но с периодическим контролем. Когда дефект попадает в зону разрушения, эксплуатацию надо немедленно прекратить. Если попадает в зону, требующую экспертного оценивания, то в зависимости от дополнительных условий, например, места расположения точки, соответствующей дефекту на графике, индивидуальных требований принимают решение о возможном последующем периоде эксплуатации. Предложенный подход дает возможность оценить в целом остаточный ресурс оборудования. Но практика показала, что оборудованию химической и нефтеперерабатывающей промышленности присущи локальные повреждения металла. Это обуславливает необходимость оценивать также остаточный ресурс именно "проблемных мест" оборудования. Установлено, что незапланированные остановки (иногда до 10 раз и более в год) существенно влияют на динамику развития локальных повреждений и их площадь. Иногда именно по этой причине ресурс может уменьшаться в десятки раз.

Ключевые слова: деградация, глубина и длина коррозионного повреждения, коррозионно-электрохимические характеристики, остаточный ресурс

## ASSESSMENT OF THE RESIDUAL SERVICE LIFE WORKING IN HOSTILE ENVIRONMENT

O.G. ARKHIPOV., *d.t.n., prof.*

O.V. LIUBIMOVA-ZINCHENKO, *k.t.n., reader*

IVANCHENKO V.V., *k.t.n., reader*

SHTONDA YU.M., *senior vkladach*

<sup>1</sup>Department of equipment of chemical enterprises, East Ukrainian National University n.a. V. Dal Technological institute, Donetskaya Street 43, educational Building, 93400, Severodonetsk, Lugansk region, Ukraine, Contact tel.: +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

<sup>2</sup> \* Department of General and Physical Chemistry, East Ukrainian National University n.a. V. Dal Technological institute, Donetskaya Street 43, laboratory building, educational Building, 93400, Severodonetsk, Lugansk region, Ukraine, Contact tel.: 06452-2-89-95, 050-949-49-77, e-mail: [aspirant-snu@i.ua](mailto:aspirant-snu@i.ua)

<sup>3</sup>Department of equipment of chemical enterprises, East Ukrainian National University n.a. V. Dal Technological institute, Donetskaya Street 43, educational Building, 93400, Severodonetsk, Lugansk region, Ukraine, Contact tel.: +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

<sup>4</sup>Department of equipment of chemical enterprises, East Ukrainian National University n.a. V. Dal Technological institute, Donetskaya Street 43, educational Building, 93400, Severodonetsk, Lugansk region, Ukraine, Contact tel.: +38 (064) 54802, e-mail: [oxp\\_kaf@sti.lg.ua](mailto:oxp_kaf@sti.lg.ua)

**Abstract.** Degradation staly at long operation - difficult and dangerous process. It covers various processes and factors: change of structure of metal and corrosion and electrochemical characteristics, external damages of a surface, deterioration of mechanical properties and so forth. The processes happening during degradation staly are interconnected, but their interrelation difficult and is insufficiently investigated. Estimations of current state of metal of the equipment which fulfilled considerable term, and forecasting of its residual resource it is possible to consider as a complex task which covers also a choice of the sensitive characteristics of metal

which are subject to an assessment and a technique choice. It causes an imperative need of development of scientific approaches to an assessment of current state of the equipment and the equipment and methods of forecasting of a residual resource. For a service life assessment one of the main indicators is the speed of corrosion processes. The resource at such approach is defined by division of a stock of thickness of a wall of the equipment into corrosion speed. Such methods will possible to predict a resource only on condition of course of uniform corrosion. Corrosion speed control methods by means of samples witnesses, korrozimetr estimate only the average speed of superficial general corrosion, but in actual practice always there are fluctuations of parameters of technological process. For an assessment of degree of danger of defects to a steel pipe use such parameters as pipe wall thickness, depth and length of corrosion damage, nature of stratification became. In case of hit of defect in a safe zone, it is clear that further operation is possible, but with periodic control. When defect gets to a destruction zone, operation should be stopped immediately. If gets to the zone demanding expert estimation, depending on additional conditions, for example, the locations of the point corresponding to defect on graphics of individual requirements make the decision on the possible subsequent period of operation. The offered approach gives the chance to estimate in general a residual service life. But practice showed that local damages of metal are inherent in the equipment of chemical and oil-processing industry. It causes need to estimate also residual resource of "problem places" of the equipment. It is established that unplanned stops (sometimes to 10 times and more in a year) significantly influence dynamics of development of local damages and their area. For this reason the resource can sometimes decrease in tens times.

Keywords: degradation, depth and length of corrosion damage, korrozionno-elektrokhimicheskiye characteristics, residual resource

Деградація сталей під час тривалої експлуатації – складний і небезпечний процес. Вона охоплює різні процеси і чинники: зміну структури металу і корозійно-електрохімічних характеристик, зовнішні пошкодження поверхні, погіршення механічних властивостей тощо. Процеси, що відбуваються під час деградації сталей, взаємопов'язані, але їх взаємозв'язок складний і недостатньо досліджений. Для обладнання деградація металу – одна з причин зменшення ресурсу і аварій. Через відсутність чітких критеріїв визначення допустимої деградації сталей, що використовують в складі технічних об'єктів, суттєво ускладнюється встановлення залишкового ресурсу.

Проблема визначення залишкового ресурсу обладнання, що працює в агресивних середовищах, зокрема хімічних і нафтопереробних виробництв, набуває все більшої гостроти, що обумовлено зростанням вартості основних фондів виробництв, необхідністю точнішого прогнозування терміну безпечної роботи обладнання і апаратури, зростаючими вимогами до безпеки експлуатації та екології. Тому задача оцінювання корозійно-механічного стану обладнання і апаратури та прогнозування його залишкового ресурсу є актуальна як з науково-технічного боку так і з економічного боку.

Оцінювання поточного стану металу обладнання, що відпрацювало значний термін, і прогнозування його залишкового ресурсу можна розглядати як комплексну задачу, яка охоплює і вибір чутливих характеристик металу, що підлягають оцінці, і вибір методики. Це обумовлює нагальну потребу розробки наукових підходів до оцінювання поточного стану обладнання і апаратури та методів прогнозування залишкового ресурсу.

У науково-технічній літературі поки що недостатньо інформації про вплив експлуатаційних чинників на механічні і електрохімічні характеристики конструкційних матеріалів упродовж тривалої експлуатації, коли можуть суттєво змінитися структура і характеристики сталей, утворитися тріщини за сумісної дії циклічних і статичних навантажень, окрихнитися метал і зварні з'єднання внаслідок наводнення, виникнути корозійно-механічні пошкодження через вплив агресивного середовища [1, 2]. Крім того, складно співставити отримані результати. Залежно від галузі застосування, технічного оснащення і фахового досвіду дослідники приділяють увагу розмаїттю (визначено шість можливих типів). Потім у координатах "глибина дефекту (h) – довжина дефекту (L)" будують графік, який умовно називають "ремонт потрібний – ремонт не потрібний" (рис. 1).

характеристик і параметрів при оцінці деградації металу. Навіть коли аналізують якийсь один напрямок досліджень, наприклад, механічні характеристики (вони і розглядаються в цій статті), „відповідальними” за старіння і деградацію часто виступає різна сукупність таких характеристик. Але небезпека експлуатації обладнання з невизначеними характеристиками сталей підштовхують до виконання робіт у цьому напрямку.

Для оцінювання ресурсу обладнання одним із головних показників є швидкість корозійних процесів. Ресурс за такого підходу визначають шляхом поділу запасу товщини стінки обладнання на швидкість корозії. Такими методами вдається прогнозувати ресурс лише за умови протікання рівномірної корозії. Методи контролю швидкості корозії за допомогою зразків-свідків, корозиметрів тощо оцінюють лише середню швидкість поверхневої загальної корозії, але в реальних умовах завжди існують коливання параметрів технологічного процесу. Це може суттєво впливати на розвиток корозії. Визначення ресурсу за середньою швидкістю інколи має оцінку, близьку до медіанної, тобто має імовірність 50%. Для оцінювання надійності обладнання з більшою вірогідністю необхідні спеціальні методи [3, 4].

Для досить простих конструкцій, наприклад трубопроводів, у світовій практиці добре зарекомендувала себе методика оцінювання залишкового ресурсу, відома як "Критерій B31G" із стандарту ANSI/ASME B31 G-1984 [5]. Вона орієнтована саме на практичне використання інженерами.

Оскільки основним видом руйнування транспортних трубопроводів у нафтопереробці є корозійні пошкодження, запропоновано виділити найтипівші серед них для сталевих труби. Передбачають, що внаслідок водневого розшарування і виходу водню на поверхню труби оцінка залишкової несучої здатності стає адекватною визначенню залишкової несучої здатності стінки труби, пошкодженої виразковою корозією або механічним поверхневим дефектом типу задиру. Місця дефектів необхідно заздалегідь визначити методами неруйнівного контролю, наприклад, ультразвуком. Для оцінювання ступеня небезпеки таких дефектів використовують такі параметри, як товщина стінки труби, глибина і довжина корозійного пошкодження, характер розшарування сталі

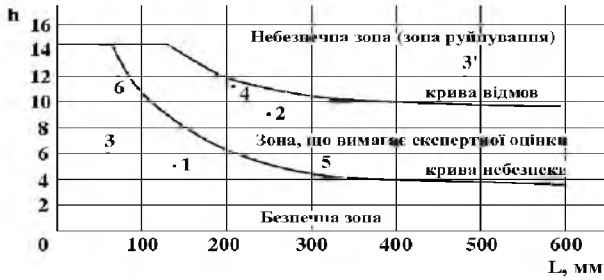


Рис. 1. Графік "критерію B31G" для оцінки ступеня небезпеки локальних дефектів на поверхні трубопроводу за принципом "ремонт потрібний – ремонт не потрібний" / Grafik "kriteriyu B31G" dlya otsinki stupenya nebezpeki lokal'nikh defektiv na poverkhnii truboprovodu za printsipom "remont potribniy - remont ne potribniy".

На графіку між побудованими "кривою відмови" і "кривою небезпеки" розташовуються три зони: зона руйнування; зона, яка потребує експертного оцінювання; безпечна зона. В разі попадання дефекту в безпечну зону, зрозуміло, що подальша експлуатація можлива, але з періодичним контролем. Коли ж дефект попадає в зону руйнування, експлуатацію треба негайно припинити. Якщо попадає в зону, що вимагає експертного оцінювання, то залежно від додаткових умов, наприклад, місця розташування точки, яка відповідає дефекту на графіку, індивідуальних вимог приймають рішення про можливий подальший період експлуатації. Недоліком описаного методу є необхідність попередніх внутрішньотрубних обстежень магнітними методами або за допомогою ультразвукових снарядів – дефектоскопів. Після виявлення дефектів їх обстежують з інтервалом, який задають експертним шляхом і не виключена можливість руйнування в міжінспекційний період. До того ж всі дефекти слід звести до певного типу, що дещо знижує точність розрахункової моделі.

У методиці, відомій як "Бритіш Газ" орієнтований залишок ресурсу визначають з графіка, побудованого в

координатах  $\frac{\sigma}{\sigma_{smys}}$  (де  $\sigma$  – діюче колове напруження,  $\sigma_{smys}$  – мінімальна границя текучості), і відносною залишковою товщиною стінки труби під дефектом (рис. 2).

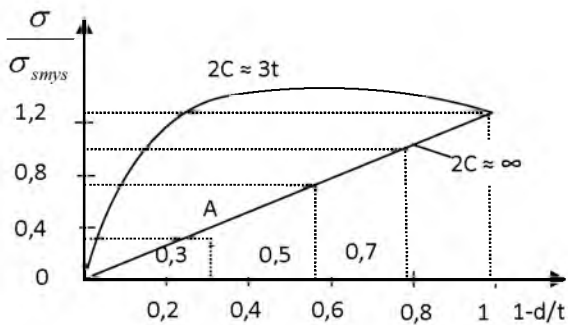


Рис. 2. Оцінка ступеня небезпеки локальних дефектів / Otsinka stupenya nebezpeki lokal'nikh defektiv.

У методиці Рітженса (фірма "Газюні") [6] графік будують у координатах "відношення глибини дефекту до товщини стінки ( $d/t$ ) і відношення довжини дефекту до товщини стінки труби" ( $L/t$ ) (рис. 3).

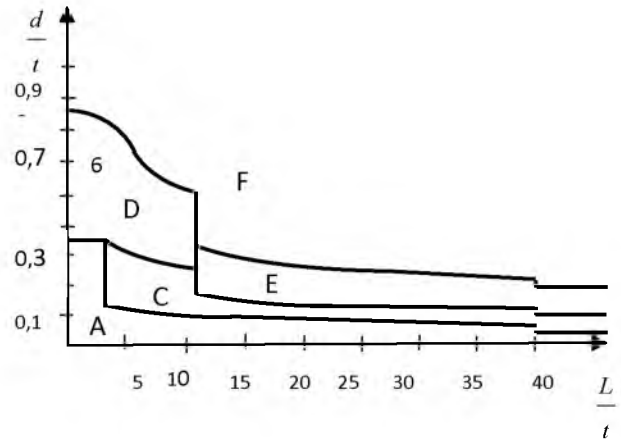


Рис. 3. Оцінка ступеня небезпеки локальних дефектів на поверхні трубопроводу / Otsinka stupenya nebezpeki lokal'nikh defektiv na poverkhnii truboprovodu.

Визначають певні зони А, С, D, Е, F і залежно від того, в яку з них попадає точка (на рисунку умовно позначена цифрою 6), адекватна визначеному дефекту, роблять висновок про подальшу експлуатацію і залишковий ресурс.

Науковою школою професора Г.М. Никифорчина розроблена теорія розсіяної об'ємної пошкодженості [7], яка розглядає виріб з металу як макрооб'єкт, а мікропошкодження, утворені внаслідок дії різних чинників, розподілені в об'ємі тіла за ймовірнісним законом. Враховується також дія інтенсифікувальних чинників, наприклад, наводнення або високої температури на динаміку деградації. Згідно з цією теорією визначено критерій застосування теорії розсіяної пошкоджуваності (рис. 4).

Як критерій слугує точка мінімуму відносного звуження  $\psi$ . За переходу на цю стадію автори пропонують не враховувати як чутливу величину відносно видовження через численні мікротріщини в об'ємі металу. Г.М. Никифорчин і О.Т. Цирульник вперше розробили підходи до встановлення кореляції змін механічних і електрохімічних характеристик упродовж тривалої експлуатації в агресивному середовищі. Зараз теорія розсіяної пошкоджуваності плідно розвивається науковою школою професора Г.М. Никофорчина.

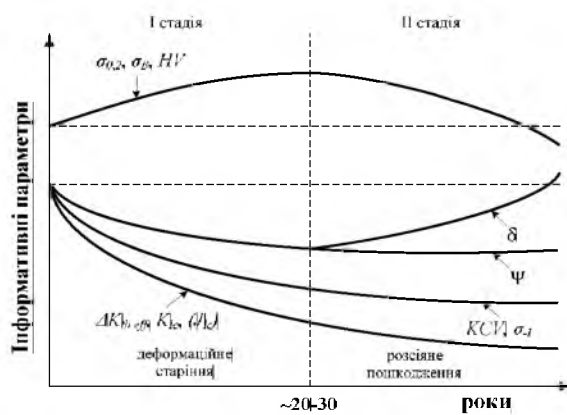


Рис. 4. Узагальнена схема зміни найуживаніших механічних характеристик трубопровідних сталей в часі їх експлуатації / Uzagal'nena skhema zmini nayuzhivanishikh mekhanichnikh kharakteristik truboprovodnikh staley v chasi ikh yekspluatatsii.

Особливістю вище наведених підходів є прийняття остаточного рішення щодо подальшої експлуатації експертами і орієнтація на відносно прості об'єкти: труби. Другий, з нашої точки зору, недолік – відсутність врахування змін механічних характеристик продовж тривалої експлуатації. Скориставшись викладеними в праці [2] методичними підходами визначення залишкового ресурсу металу ( $T_{зал}$ ), що працює за статичних навантажень і підвищених температур (теплообмінники, пічні труби тощо), з урахуванням змін механічних характеристик пропонуємо в цьому випадку залишковий ресурс розраховувати за формулою:

$$T_{зал} = tK_{мех},$$

де  $t$  – час напрацювання на момент контролю, год;  $K_{мех}$  – коефіцієнт запасу часу, що враховує зміни механічних характеристик.

Враховуючи специфіку зміни механічних характеристик з часом, пропонуємо на початковому етапі експлуатації використовувати таку функціональну залежність коефіцієнта  $K_{мех}$  від змін механічних величин:

$$K_{мех} = f(\sigma_{0,2}, \sigma_{0,2}/\sigma_b, \delta, \psi).$$

На другому етапі експлуатації після окрихчення сталі для його оцінювання достатньо обмежити лише напруженнями:

$$K_{мех} = f(\sigma_{0,2}, \sigma_{0,2}/\sigma_b).$$

Вибір певної величини або їх набору, а також конкретний вид функціональної залежності вибирають, виходячи зі специфіки робочих умов, габаритів обладнання тощо. Наприклад, для неосновного обладнання вибір параметра  $K_{мех}$  може ґрунтуватись лише на допустимому значенні  $\sigma_{0,2}$ . У складніших випадках слід враховувати умови експлуатації, габарити обладнання, специфіку навантаження тощо. Використання ударної в'язкості як самостійної характеристики, що здатна адекватно оцінювати ступінь деградації сталі, проблематичне через викладені вище причини. Але як допоміжну характеристику її можна використовувати на всіх етапах експлуатації.

Для трубних сталей нафтогонів залишковий ресурс визначають за формулою [8]:

$$T_{зал} = (N_0 - n)/\dot{n}C_g,$$

де  $N_0$  – кількість циклів до руйнування металу в вихідному стані;  $n$  – кількість циклів навантаження на момент визначення  $T_{зал}$ ;  $\dot{n}$  – кількість циклів за один рік експлуатації;  $C_g$  – коефіцієнт старіння металу, який враховує умови і час експлуатації.

Слід зазначити, що умови експлуатації труб помірковані і несуттєво змінюються на різних ділянках нафтогону (крім ділянок, прилеглих до насосів та компресорів), труба заповнена робочим середовищем зі сталими параметрами, а навантаження впродовж тривалого часу коливається в незначних інтервалах.

Експлуатація крупнотонажного обладнання в хімічній і нафтопереробній промисловості відрізняється не лише суттєво більшими механічними навантаженнями і агресивнішим середовищем, але і частими зупинками, обумовленими відсутністю сировини, ремонтними і профілактичними роботами тощо. Саме під час зупинок, а

не за умов роботи в запланованому режимі, часто відбуваються корозійні пошкодження обладнання, що визначають можливість його подальшої експлуатації. З урахуванням цього пропонуємо для оцінювання залишкового ресурсу основного обладнання, що працює за циклічним механічним навантаженням, використовувати формулу:

$$T_{зал} = (N_0 - n)/\dot{n}C_gK_6K_3,$$

де  $K_6$  – коефіцієнт безпеки, що враховує питому величину впливу певного обладнання на технологічний процес і наявність дублювальних ліній;  $K_3$  – коефіцієнт, що враховує кількість незапланованих зупинок за час експлуатації до моменту визначення залишкового ресурсу.

Для знаходження коефіцієнта старіння металу пропонуємо з урахуванням деградаційних процесів використовувати функціональну залежність:

$$C_g = f(\sigma_{0,2}, \sigma_{0,2}/\sigma_b, \delta, \psi).$$

Встановлено, що метал обладнання хімічної і нафтопереробної промисловості за тривалої експлуатації в агресивному середовищі окрихчується. Тому у розрахунках слід використовувати більші коефіцієнти запасу міцності. В сучасних методиках розрахунку на міцність експлуатованого обладнання старіння металу враховують лише шляхом корекції значень коефіцієнта запасу міцності. Причому вважають, що він змінюється за лінійним законом, насправді, за тривалої експлуатації, механічні характеристики металу обладнання змінюються за нелінійними законами. Це надає можливість врахувати деградацію металу більш адекватно і детально.

Запропонований підхід дає можливість оцінити загалом залишковий ресурс обладнання. Але практика довела, що обладнанню хімічної і нафтопереробної промисловості притаманні локальні пошкодження металу. Це обумовлює необхідність оцінювати також залишковий ресурс саме “проблемних місць” обладнання. Встановлено, що незаплановані зупинки (іноді до 10 разів і більше за рік) суттєво впливають на динаміку розвитку локальних пошкоджень і їх площу. Іноді саме з цієї причини ресурс може зменшуватись у десятки разів. Результатом суттєвого зменшення ресурсу може бути нежасна обробка перед консервацією. Конденсація атмосферної вологи, особливо за перепадів температур в осінньо-зимовий період, додатково розширює зони пошкодження. Під час експлуатації нафтопереробного обладнання, яке за останні десятиріччя працювало найменш ритмічно, зафіксовано, що величина  $K_3$ , залежно від конструкції обладнання і середовища, лежить в інтервалі 1...10. Але поки відсутній системний аналіз впливу незапланованих зупинок на пошкоджуваність металу, а отже, і на залишковий ресурс. Це додатково обумовлює необхідність розробки методів, які дають змогу визначати залишковий ресурс не статистичними методами, а шляхом постійного моніторингу корозійно-механічних пошкоджень певної частини обладнання.

### Висновки

Аналіз пошкоджень обладнання в хімічній і нафтопереробній промисловості довів, що вони мають переважно локальний характер. Складність і неоднозначність процесів, що супроводжують деградацію сталей, відсутність єдиної методології вимагають використання різнобічних підходів при аналізі змін

механічних характеристик. Наведені найбільш поширені в світовій практиці методи визначення залишкового ресурсу.

Запропонований авторами підхід до визначення змін механічних характеристик дозволяє більш точно прогнозувати залишковий ресурс обладнання, що працює в агресивному середовищі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Антикайн П.А. К оценке работоспособности паропроводов из перлитных сталей после длительной эксплуатации / П.А. Антикайн, Л.И. Рябова, А.В. Аксенов // Проблемы прочности. – 1971. - № 7. – С. 58-64.

Antikajjn P.A. K ocenke rabotosposobnosti paroprovodov iz perlitnyh stalej posle dlitel'noj jekspluatacii / P.A. Antikajjn, L.I. Rjabova, A.V. Aksenov // Problemy prochnosti. – 1971. - № 7. – S. 58-64.

2. Бугай Н.В. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования / Бугай Н.В., Березина Т.Г., Трунин Н.И. – М.: Энергоиздат, 1994. – 214 с.

Bugaj N.V. Rabotosposobnost' i dolgovechnost' metalla jenergeticheskogo oborudovanija / Bugaj N.V., Berezina T.G., Trunin N.I. – М.: Jenergoizdat, 1994. – 214 s.

3. РД 26 – 10 – 87. Методические указания. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном разрушении: РД 26 – 10 – 87. – М.: НИИХиммаш, 1987. – 49 с.

RD 26 – 10 – 87. Metodicheskie ukazanija. Ocenka nadezhnosti himicheskogo i neftjanogo oborudovanija pri poverhnostnom razrushenii: RD 26 – 10 – 87. – М.: NIIhim mash, 1987. – 49 s.

Для складних об'єктів перспективним є впровадження корозійно-механічного моніторингу основного обладнання впродовж всього періоду експлуатації.

4. Маннапов Р.Г. Методы оценки надежности оборудования, подвергающегося сплошной коррозии / Р.Г. Маннапов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1989. - № 5. – С. 25-28.

Mannapov R.G. Metody ocenki nadezhnosti oborudovanija, podvergajushhegosja sploshnoj korrozii / R.G. Mannapov // Himicheskoe i neftjanoe mashinostroenie. – 1989. - № 5. – S. 25-28.

5. ANSI / ASME B31G – 1991. Manual for Determining the Remaining Strenght of Corroded Pipelins. – ASME. New – York.

6. Rietjens I.P. Safely weld and repail inservice pipe lines // Pipe Line Industry. 1986. December. – P. 26-29.

7. Крижанівський Є.І., Никифорчин Г.М. Особливості корозійно-водневої деградації сталей нафтогазопроводів і резервуарів зберігання нафти // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2011. – № 2. – С.11-20.

Krizhaniv'skij Є.I., Nikiforchin G.M. Osoblivosti korozijno-vodnevoї degradacii stalej naftogazoprovodiv i rezervuariv zberigannja nafti // Fiz.–him. mehanika materialiv. – 2011. – № 2. – S.11-20.

8. Ямалеев К.М. Старение металла труб в процессе эксплуатации нефтепродуктов / Ямалеев К.М. – М.: ВНИИОЭНГ, 1990. – 62 с.

Jamaleev K.M. Starenie metalla trub v processe jekspluatacii nefteproduktov / Jamaleev K.M. – М.: VNNNOJeNG, 1990. – 62 s.

*Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Украина); докт. физ.-мат. наук, проф. А. В. Коваленко (Украина)*

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015