

**В.М. ДОЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук, ОАО «УкрНИИхиммаш»,  
г. Харьков

## **ОСОБЕННОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СОСУДОВ**

Прогнозування залишкового ресурсу потребує використання існуючої нормативної бази, з уточненням на можливість деградації властивостей металу та конструкції посудин. В статті наведені існуючі розробки в указаному напрямі та позначені шляхи подальшого розвитку методів індивідуального прогнозування.

Прогнозирование остаточного ресурса требует использования существующей нормативной базы с уточнением на возможность деградации свойств металла и конструкции сосуда. В статье приведены существующие разработки в указанном направлении и намечены пути дальнейшего развития методов индивидуального прогнозирования.

Forecasting of a residual resource demands use of available normative base with specification on an opportunity of degradation of properties of metal and a design of vessels. Available development in the specified direction are named and ways of the further development of methods of individual forecasting are planned.

Гарантированный ресурс сосуда определяется условиями прочности.  
В соответствии с [1] выбирается толщина стенки сосуда:

$$S_0 = S_p + V \cdot \tau + \Delta_1 + \Delta_2 \quad (1)$$

здесь  $S_0$  – номинальная толщина стенки обечайки;  $S_p$  – расчетная толщина;  $V$  – скорость коррозии;  $\tau$  – гарантированный ресурс;  $\Delta_1$  – прибавка на отрицательный допуск проката;  $\Delta_2$  – прибавка округления к стандартному значению толщины листа.

В простейшем случае (относительно низких температур ползучесть отсутствует), когда сосуд подвергается только действию внутреннего давления и условия укрепления отверстий соблюдаются, расчетная толщина стенки обечайки определяется по формуле:

$$S_p = D \cdot P_p / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]), \quad (2)$$

где  $[\sigma] = \min\{R_{np}/[n_{np}]\}$ ;  $R_{np} = \{R_m, R_e\}$ ;  $[n_{np}] = \{[n_m], [n_e]\}$ ;  $D$  – диаметр обечайки;  $P_p$  – расчетное давление;  $\varphi$  – коэффициент прочности сварного шва;  $[\sigma]$  – допускаемые напряжения;  $[R_{np}]$  – предельные характеристики;  $R_m$  – предел прочности;  $R_e$  – предел текучести;  $[n_{np}, n_m, n_e]$  – допускаемые запасы прочности.

Поверхностный анализ описанного подхода говорит о том, что гарантированный ресурс является и окончательным сроком эксплуатации, а продление ресурса возможно в пределах прибавки округления – нескольких лет. Однако, мировой опыт показал, что ресурс оборудования может быть продлен на 20 – 30 лет, даже при работе в особо тяжелых условиях со взрывопожароопасными и токсичными средами.

Проанализируем детально имеющиеся резервы работоспособности конструкции. Конечно, и прибавка на толщину проката может оказаться положительной, но более ощутимые результаты можно получить, если предприятие принимает меры к снижению агрессивности среды, уменьшению скорости коррозии. Коэффициент прочности сварного шва может быть увеличен за счет контроля качества сварных швов и проведения ремонта дефектных участков.

Значительный резерв прочности может быть обнаружен при экспериментальном построении характеристики сосуда «деформация стенки – давление» (рис. 1) – в соответствии с [2, 3]. Остаточный ресурс ( $\tau_0$ ) при этом может быть определен по формуле:

$$\tau_0 = (S/V) \cdot \{1 - [n_r] \cdot (P_p/P_e) \cdot ([\sigma_{20}]/[\sigma_t])\} \quad (3)$$

здесь  $S$  – минимальная толщина стенки;  $V$  – максимальная скорость коррозии, определенная в соответствии с [4];  $P_e$  – давление текучести;  $[\sigma_{20}]$ ,  $[\sigma_t]$  – допускаемые напряжения при 20 °С и при расчетной температуре;  $[n_r]$  – запас прочности при пробных испытаниях [1].

Как следует из изложенного, проблема продления ресурса оборудования имеет положительные перспективы. Однако, при этом надо учесть ряд обстоятельств, требующих дополнительного анализа.

В результате эксплуатации происходит деградация конструкции и изменение механических свойств металла.

Металл охрупчивается.

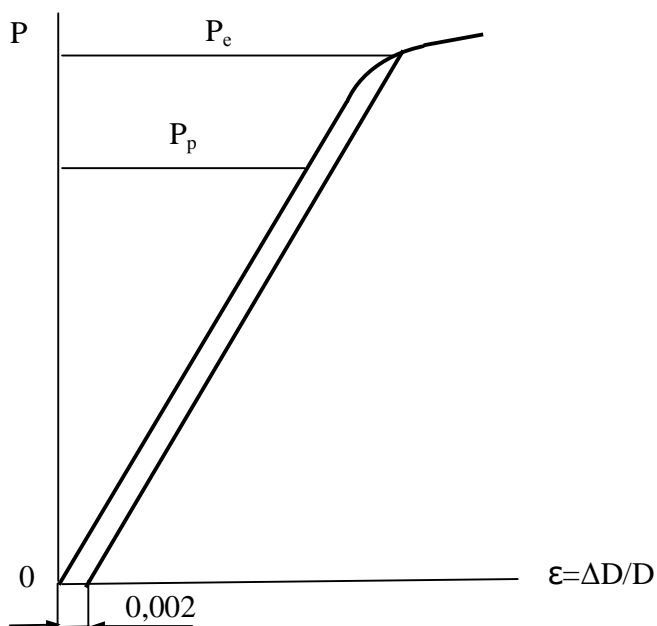


Рис. 1. Характеристика стенки сосуда « деформация стенки ( $\epsilon$ ) – давление ( $P$ )»

Например, температура хрупкости стали 09Г2С, из которой был изготовлен корпус колонны К-2 на АО «Укртатнафта», за 29 лет эксплуатации повысилась от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В таком случае предельное состояние конструкции определяется по двухпараметрической кривой (рис. 2).

При этом предельными характеристиками металла являются предел текучести и вязкость разрушения [5, 6, 7].

Дальнейшее совершенствование оценки работоспособности конструкций сдерживает крайне скудная информация о значениях вязкости разрушения в агрессивных средах.

Происходит также избирательное коррозионно-эрозионное разрушение стенки конструкций. Оценка работоспособности оборудования при этом производится по [8].

На стенках сосудов и трубопроводов появляются вздутия, вызванные расслоением металла в результате водородной и сероводородной коррозии. Возникающие дефекты также могут быть оценены по [8].

Опасность коррозионного растрескивания (КР) под напряжением снижается при проведении термо или гидрообработки [9].

Возможность развития трещин и трещиноподобных дефектов оценивается по [10].

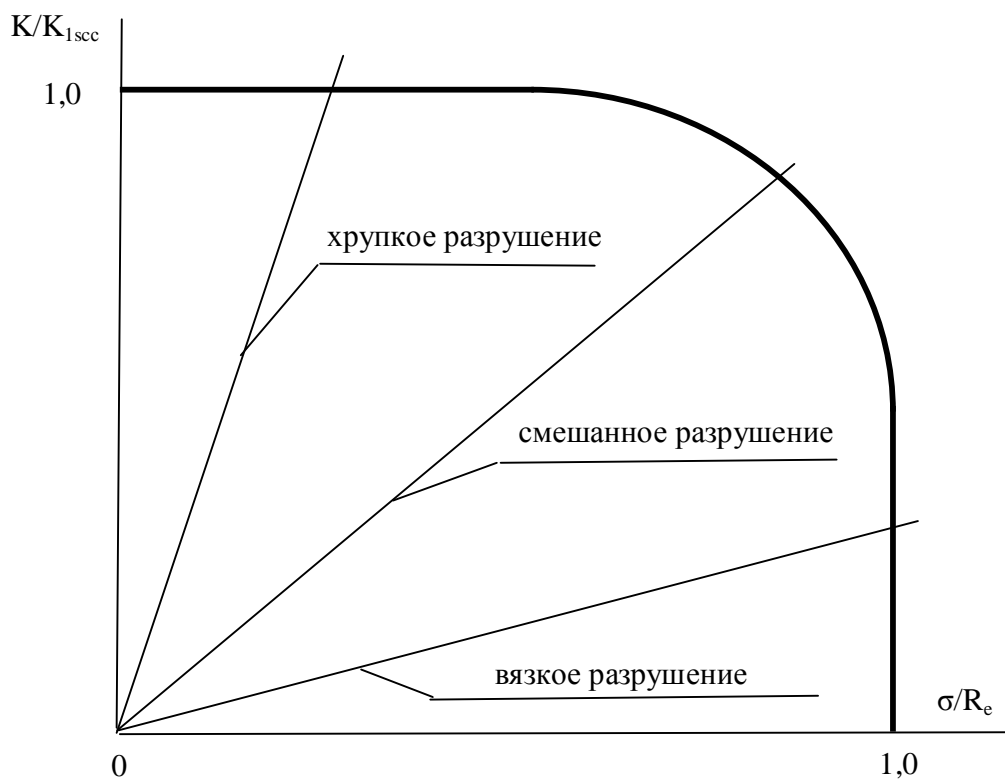


Рис. 2. Двухпараметрическая кривая  
 $K$ ,  $K_{1scc}$  – коэффициент интенсивности напряжений и вязкость разрушения  
 в агрессивной среде;  $\sigma$ ,  $R_e$  – эквивалентные мембранные напряжения  
 и предел текучести

Отклонение конструкции от формы идеальных оболочек приводит к значительному повышению напряжений в сосуде.

Поэтому необходимо выполнять расчеты с учетом имеющихся дефектов формы [11].

### Выводы.

С учетом изложенного УкрНИИхиммаш продлил ресурс более, чем трем тысячам сосудов и трубопроводов.

**Список литературы:** **1.** Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность; ГОСТ 14249-89. – [Дата введения 01.01.90]. – Издательство стандартов, 1989. – 79 с. **2.** Проведение работ по оценке остаточной работоспособности технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Методические указания; НПА ОП 0.00-7.02-93. – [Утвержден 19.05.1993]. – К.: Госнадзорхрантруда. – 1993. – 56 с. **3.** Сосуды. Аппараты. Трубопроводы. Гидрообработка; СОУ ОАО “УкрНИИхиммаш” 004:2009. – [Дата введения 10.08.2009]. – Харьков: Стандарт предприятия, 2009. – 12 с. **4.** Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні

вимоги; ДСТУ 4046-2001. – [Чинний від 27.07.2001]. – К.:Держстандарт України, 2001. – 24 с. **5.** Расчет на прочность действующих магистральных трубопроводов с дефектами; ВБН В.2.3.-00018201.04-2000. – [Введен в действие с 2000-01-05]. – К.: Госнефтегазпром, 2000. – 56 с. **6.** *Красовский А.Я.* Применения критериальных диаграмм разрушения для оценки несущей способности конструктивных элементов с трещиной / *А.Я. Красовский* // Заводская лаборатория. – 1989. – № 4. – С. 89 – 92. **7.** *Морозов Е.М.* Двухкритериальные подходы в механике разрушения / *Е.М. Морозов* // Пробл. прочности. – 1985. – № 10. – С. 103 – 108. **8.** Сосуды. Аппараты. Трубопроводы. Нормы и методы расчета на прочность. Определение допускаемых параметров повреждения стенок сосудов и трубопроводов; СОУ “УкрНИИхиммаш” 001:2009. – [Чинний від 2009-02-02]. – Харьков: Стандарт предприятия, 2009. – 10 с. **9.** Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови; СОУ МПП 71.120-217:2009. – [Чинний від 2009-07-07]. – К.: Мінпромполітики України, 2009. – 339 с. **10.** Посудини та апарати, що працюють під тиском. Методика ультразвукового контролю зварних з’єднань; ГСТУ 3-037-2003. – [Чинний від 2004 -01-01]. – К.: Мінпромполітики України, 2003. – 104 с. **11.** Методика оценки работоспособности сосудов с вмятинами и овальностью. – ОАО «УКРНИИХИММАШ», 2005.

*Поступила в редколлегию 25.03.10*

УДК 620.16.001.24

**Б.Я. КАНТОР**, докт. техн. наук, ИПМаш НАН України, г. Харьков,  
**В.М. ДОЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**Р.Л. ОНАЦКИЙ**, ОАО "УкрНИИхиммаш", г. Харьков, Украина

## **ВЛИЯНИЕ ВМЯТИН НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СОСУДОВ**

В роботі порівнюється тримкість посудин без ум'ятин та при наявності вм'ятин на стінці корпусу посудини. На основі методу скінченних елементів проаналізовано напружено-деформований стан посудини на різних стадіях навантаження: утворення ум'ятини індентором, розвантаження, подальше навантаження внутрішнім тиском із частковою рихтовкою ум'ятини.

В работе сопоставлена несущая способность сосудов без вмятин и при наличии вмятин на стенке корпуса сосуда. На основе метода конечных элементов был проведен анализ напряженно-деформированного состояния сосуда на различных стадиях нагружения: формирования вмятины индентором, разгрузка, последующее нагружение внутренним давлением с частичной рихтовкой вмятины.