

УДК 004.942:519.876

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ХИМИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДВЕРЖЕННОГО КОРРОЗИИ.****Лыфарь В. А.****THE METHOD OF DETERMINING THE RELIABILITY OF CHEMICAL EQUIPMENT,
WHICH IS SUBJECT TO CORROSION****Lyfar V. O.**

Рассмотрен метод определения вероятности отказа оборудования, подвергающегося коррозии в течение времени эксплуатации до остаточного ресурса с целью планирования работы по принципу обслуживания по фактическому состоянию (ОФС). Обработка экспериментальных данных динамических характеристик коррозионных процессов позволяет определить основные показатели для применения рискоориентированного подхода при составлении планов ремонтно-восстановительных работ.

Ключевые слова: коррозия, ремонтно-восстановительные работы, безопасность, оборудование.

Постановка проблемы. Методология управления техногенным риском основана на принятии решений и реализации технических и организационных мероприятий в области допустимого риска. Под техногенным риском подразумевается вероятность определенного отрицательного события, которое может состояться в определенный диапазон времени при определенных обстоятельствах. Надежность изделий химического и нефтяного машиностроения в большой степени обусловлена коррозионной активностью технологических сред, характерной для нефтехимических производств. Например, в химической промышленности в 57 случаях из 100 причиной преждевременного выхода оборудования из строя является коррозия [1]. Определение прочностных характеристик оборудования на основании методов неразрушающего контроля недостаточно для того, чтобы определить показатели остаточного ресурса и абсолютно недостаточно для определения стохастических характеристик надежности в течение времени, выделенном остаточным ресурсом.

Ремонт, при котором контроль технического состояния выполняется с периодичностью и в объеме, установленными в нормативно-технической документации, а объем и момент начала ремонта определяется техническим состоянием изделия [из п. 42 ГОСТ 18322-78]

Данная технология основана на том, что все работы по ремонту и наладке производятся в зависимости от реального текущего технического состояния механизма, контролируемого в процессе эксплуатации без каких-либо разборок и ревизий на базе измерения соответствующих параметров.

Используемые при этом технические средства, как правило, позволяют не только контролировать состояние оборудования, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке в процессе эксплуатации и ремонта.

Данная технология коренным образом меняет систему обслуживания оборудования на предприятии и позволяет:

- контролировать реальное текущее техническое состояние оборудования;
- технически обоснованно определять сроки и содержание ремонтных и наладочных работ, контролировать качество их выполнения;
- сократить финансовые и трудовые затраты на эксплуатацию оборудования;
- продлить межремонтный период и срок службы оборудования;
- сократить потребность в запасных частях, материалах и оборудовании;
- избавиться от «внезапных» поломок механизмов и остановок производства;
- повысить общую культуру производства и квалификацию персонала.

Цель. Технология ремонта «по состоянию» позволяет сократить эксплуатационные расходы, существенно повысить ресурс и надежность оборудования, однако для ее внедрения необходимо техническое и методическое обеспечение определения показателей коррозионных процессов.

Материалы и результаты исследований. Традиционные статистические методы, используемые при оценке надежности изделий массового производства, для многих видов химического и нефтяного оборудования малоприменимы, так как для их применения необходима однородная статистическая информация об отказах. Такую информацию невозможно

получить для оборудования, выпускаемого в единичных экземплярах или малыми сериями и эксплуатируемого в существенно различных условиях, так как даже незначительные изменения в составе технологических сред и параметров технологических процессов часто вызывают большое изменение скорости коррозии и других видов разрушения оборудования. Поэтому оценка надежности многих видов химического и нефтяного оборудования осуществляется индивидуально для каждого экземпляра оборудования по результатам периодических обследований.

Важнейшим показателем надежности (ресурса) оборудования при коррозионном воздействии является скорость коррозии [2].

Равномерная коррозия наблюдается примерно в 1/3 случаев от всех случаев выхода оборудования из строя, причем равномерность условная, так как в реальных условиях неравномерность существует всегда.

Неравномерность коррозии обусловлена многими причинами: различием нагрузок на разные участки поверхности, сочетаниями физико-химических свойств металла, его напряженным состоянием на разных участках поверхности и другими причинами, рассмотренными в работе [3].

Знание статистических закономерностей коррозионного разрушения металлов и элементов оборудования позволяет в ряде случаев многократно сократить объемы испытаний при обеспечении заданных требований к точности и достоверности получаемых результатов. Кроме того, во многих случаях стохастический подход при управлении риском потенциально опасных объектов предполагает возможность учета вероятности разгерметизации, причиной которой является коррозия, в общем вкладе в эксплуатационный риск промышленных установок.

Первоначально необходимо оценить достоверность результатов коррозионных испытаний, полученных в процессе определения остаточного ресурса. Предварительная обработка результатов испытаний включает оценку аномальности наблюдений. Метод исключения резко выделяющихся значений результатов испытаний, приведенный в ГОСТ [4], предусматривает применение критерия Ирвина. При этом полученные значения x , результатов испытаний располагают в ряд $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ по степени возрастания значений x (вариационный ряд). Затем сомнительные значения на краях ряда проверяют по критерию λ , определяемому по формуле:

$$\lambda = \frac{x_n - x_{n-1}}{S} \quad (1)$$

где S - оценка среднего квадратичного отклонения значений x_i вычисляемая по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

в которой

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

x_n - вызывающее сомнение значение x ;

x_{n-1} - следующее от края значение x .

Полученные значения λ сравнивают с табличными, и если они не превышают их, то значения x_n оставляют, а в противном случае -- исключают из дальнейшего рассмотрения.

В ГОСТ [5] оценку аномальности наблюдений рекомендуется осуществлять по критерию Граббса

$$\eta = \frac{|x_n - \bar{x}|}{S} \leq \eta_{табл} \quad (4)$$

Результаты оценки, получаемые по критериям (1) и (4), оказываются близкими друг к другу.

Важное значение имеет коэффициент вариации глубины коррозии. Проведенные многочисленные испытания при различных комбинациях параметров модели коррозии позволили установить важную закономерность изменения коэффициента вариации v глубин проникновения коррозии от продолжительности испытаний t [6]:

$$v(t) = v_h \left[\frac{h}{h(t)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

где v_h - коэффициент вариации глубины коррозии, соответствующей средней глубине h ; $h(t)$ - средняя глубина коррозии в момент времени t .

Уточненная оценка коэффициента вариации глубины повреждений для рассматриваемого участка поверхности определится по формуле

$$v_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_{hi}^2 n_i}{N}} \quad (6)$$

где v_{hi} - коэффициент вариации глубины на i -м участке поверхности; n_i - число измерений глубины на i -м участке поверхности; N - число обследованных участков поверхности.

В работе [7] показано, что закон распределения глубин h коррозионных повреждений металлоконструкций подчиняется закону Вейбулла

$$F(h) = 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^b \quad (7)$$

где a - параметр масштаба распределения; b - параметр формы, характеризующий разброс значений h .

Для проверки соответствия полученных эмпирических распределений остаточных толщин δ

теоретическому распределению h (закон Вейбулла) результаты измерений после преобразования $h = \delta - \delta_0$, были нанесены на вероятностную бумагу (рис.1). Расположение точек на рис.1 подтверждает соответствие полученного распределения закону Вейбулла. Из изложенного следует, что функция распределения измеренных толщин стенок аппаратов, подвергшихся коррозии, подчиняется обратному закону Вейбулла

$$F(\delta) = \exp\left(-\frac{\delta_0 - \delta}{a}\right)^b \quad (8)$$

где δ_0 - начальная номинальная толщина стенки аппарата; a и b - параметры распределения - те же, что и в формуле (7).

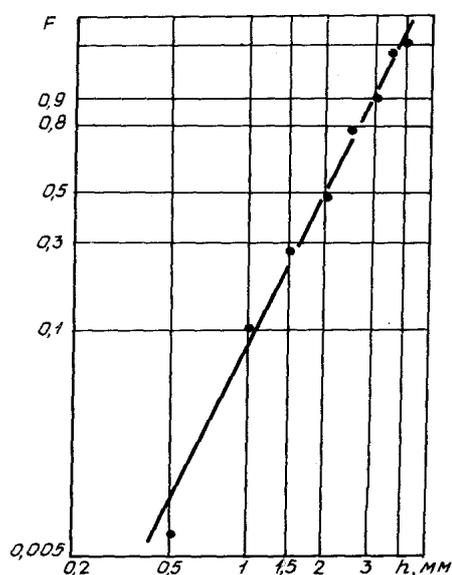


Рис. 1. Эмпирическая функция распределения $F(h)$ глубины коррозионных повреждений.

Для характерных показателей коррозии можно определить вероятность предельно допустимой коррозии участка площадью S в течение времени эксплуатации t по формуле:

$$P_s(t) = 1 - \exp\left(-\frac{\delta \cdot k_b}{t \cdot \xi_{cp}}\right)^{S/S_0} \quad (9)$$

где δ - толщина стенки аппарата; b - параметр распределения, k_b - коэффициент, определяемый по параметру b ($k_b = 0,89$ при $0.3 < 1/b \leq 0.7$ и $k_b = 1 - 0,37/b$ при $1/b \leq 0.3$); S_0 - площадь элементарного участка поверхности, принимаемая равной среднему размеру сечения зерна металл (поскольку в пределах одного зерна скорость разрушения можно принимать постоянной); ξ_{cp} - средняя скорость разрушения при установившейся коррозии.

Скорость разрушения и ее коэффициент вариации определяют по результатам испытаний в процессе эксплуатации.

На основании установленных зависимостей можно получить расчетные формулы для оценки надежности поверхностей при их двойном разрушении (например, в теплообменниках).

Аналогичными методами можно оценивать надежность аппаратов при других видах разрушений, например, при питтинговой, язвенной, межкристаллической коррозии.

Для определения надежности особых мест сварных соединений при вибрационной нагрузке необходимы иные методы.

На рисунке 1 представлен пример расчета вероятности отказа по показателям измерений коррозионных процессов в емкости в течение эксплуатации в течение допустимого периода остаточного ресурса.

$b := 6$ Коэффициенты, взятые по вариации
 $1 - \frac{0,37}{b} = 0,938$ $k_b := 0,938$ $S_0 := 5 \cdot 10^{-5}$ Площадь зерна металла, m^2
 $\xi_s := 0,1$ Средняя скорость коррозии коррозии, $mm/год$
 $\delta := 2$ Толщина стенки оболочки, mm
 $t := 11, 11.1., 12.5$ Диапазон времени контроля остаточного ресурса
 $S := 100$ разрушаемая площадь аппарата, m^2

$$P(t) = 1 - \left[1 - \exp\left[-\left(\frac{\delta \cdot k_b}{t \cdot \xi_s}\right)^b\right] \right]^{S/S_0}$$

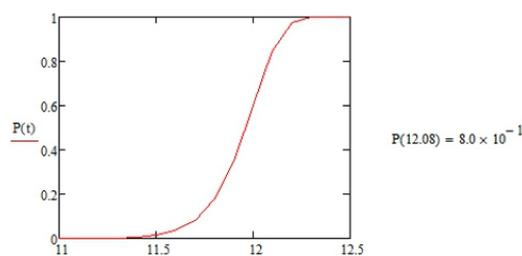


Рис. 2. Пример расчета вероятности критического отказа емкости в результате коррозии в течение времени эксплуатации.

Остаточный ресурс емкости определен до 12 года эксплуатационного периода. Но коррозионный процесс имеет стохастические характеристики, изменяющие вероятность устойчивой работы емкости на последней стадии от 11 до 12-го года эксплуатации.

Учитывая площадь поверхности емкости, характерные коэффициенты формы, показатели скорости коррозии и структуры металла, можно получить динамическую характеристику надежности емкости. В примере задаемся уровнем надежности 0,2 и получим, что допустимая эксплуатация заканчивается до 12,08 года.

Выводы:

1. Используя общепринятые методы определения показателей скорости коррозии и методы обработки стохастических результатов

контрольных измерений, а также характерные показатели химического оборудования, такие как коэффициент формы и геометрические размеры коррозионных поверхностей, можно не только определять остаточный ресурс оборудования, но и вероятность его критического отказа по причинам коррозии в течение времени эксплуатации.

2. Применяя вероятностный подход в рискоориентированных технологиях управления уровнем опасности химическими предприятиями можно проводить многокритериальную оптимизацию при планировании ремонта по состоянию.

Л и т е р а т у р а

1. Колотыркин Я. М. Коррозия металлов. - М.: Metallurgiya, 1985. - 400 с.
2. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. - М.: Изд-во стандартов, 1986.
3. Маннапов Р. Г. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном разрушении / Обзор. информ. Сер. ХМ-1.- М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988.
4. ГОСТ 21126-75. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость в агрессивных средах. Общие положения. - М.: Изд-во стандартов, 1982.
5. ГОСТ 11.002-73. Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений. - М.: Изд-во стандартов, 1974.
6. Маннапов Р. Г. Методы оценки надежности оборудования, подвергающегося коррозии / Обзор. информ. Сер. ХМ-9.- М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992.
7. Маннапов Р. Г. Статистические закономерности коррозионного разрушения поверхности металлов // Надежность и контроль качества. – 1988. - № 9. С. 48-52.

R e f e r e n s

1. Kolotyркиn Ya. M. Korroziya metallov. - M.: Metallurgiya, 1985. - 400 s.
2. GOST 9.908-85. Edinaya sistema zashity ot korrozii i stareniya. Metally i splavy. Metody opredeleniya pokazatelej korrozii i korrozionnoj stojkosti. - M.: Izd-vo standartov, 1986.
3. Mannapov R. G. Ocenka nadezhnosti ximicheskogo i nefyanogo oborudovaniya pri poverxnostnom razrushenii

/ Obzor. inform. Ser. ХМ-1.- М.: CINTIximneftemash, 1988.

4. GOST 2112b-75. Edinaya sistema zashhity ot korrozii i stareniya. Metody uskorenykh ispytaniy na dolgovechnost i soxryanaemost v agressivnykh sredax. obshhie polozheniya. - M.: Izd-vo standartov, 1982.
5. GOST 11.002-73. Prikladnaya statistika. pravila ocenki anormalnosti rezultatov nablyudenij. - M.: Izd-vo standartov, 1974.
6. Mannapov R. G. Metody ocenki nadezhnosti oborudovaniya, podvergayushhegosya korrozii / Obzor. inform. ser. ХМ-9.- М.: CINTIximneftemash, 1992.
7. Mannapov R. G. Statisticheskie zakonomernosti korrozionnogo razrusheniya poverxnosti metallov // Nadezhnost i kontrol kachestva. – 1988. - № 9. S. 48-52.

Лифар В. О. Метод визначення показників надійності роботи хімічного обладнання, що кородує

Розглянуто метод визначення ймовірності відмови обладнання, яке зазнає корозії протягом часу експлуатації до залишкового ресурсу з метою планування роботи за принципом обслуговування по фактичному стану (ОФС). Обробка експериментальних даних динамічних характеристик корозійних процесів дозволяє визначити основні показники для застосування ризикоорієнтованого підходу при складанні планів ремонтно-відновлювальних робіт.

Ключові слова: корозія, ремонтно-відновлювальні роботи, безпека обладнання.

Lifar V.O. The method of determining the reliability of chemical equipment, which is subject to corrosion

The method of determining the likelihood of equipment failure, exposed to corrosion over time to use residual resource for planning work on the principle of service to the actual state (FFS). Processing of experimental data of dynamic characteristics of corrosion processes to determine the basic parameters for use risk-oriented approach when planning repair work.

Keywords: corrosion, damage control, safety equipment.

Лифар Володимир Олексійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри вищої і прикладної математики, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Северодонецьк)

Рецензент: Суворін О. В. – д.т.н., доцент

Стаття подана 04.11.2013