

схемы как стандартный универсальный язык ЧПУ. Система ЧПУ становится Web-сервером, который получает, разделяет и распространяет информацию по всему предприятию. XML используется для распространения информации в пределах и за пределами предприятия.

#### Выводы

Современная система ЧПУ представляет собой хорошо организованный управляющий комплекс со всеми существующими стандартными интерфейсами для организации любых внешних связей. Система открыта (в том числе и на уровне ядра) и непрерывно эволюционирует у производителя и конечного пользователя. Она не имеет нестандартной аппаратуры и полностью программно реализована. Наиболее продвинутые системы ЧПУ располагают STEP-NC интерфейсом согласно стандарту ISO-14649 и включают функции искусственного интеллекта. Интерес представляет новая ветвь систем ЧПУ с явно выстроенным интеллектом, например, "агентные колонические системы". Наконец, абсолютно нормальным становится построение систем ЧПУ с Web-доступом.

*Сосонкин Владимир Лазаревич — д-р техн. наук, проф., Мартинов Георги Мартинов — д-р техн. наук, доцент Московского государственного технологического университета "СТАНКИН".*

*Контактный телефон (095) 972-94-40, факс 972-18-73.*

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Р. Владов (ОГУ)

Рассматривается оценка эффективности функционирования промышленных объектов (ПрО) при аналитической идентификации их технического состояния (ТС). Выделены три наиболее важные характеристики эффективности функционирования ПрО: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и производительность. Для каждой характеристики построены две модели: обычное функционирование и функционирование при периодической идентификации ТС ПрО (методология последней основана на агрегированном подходе). Решается проблема выбора оптимального графика диагностики ПрО при эксплуатации. Теоретические положения предложенной методологии проиллюстрированы на примере обследования трубопровода.

Промышленные объекты (ПрО) в течение всего срока службы испытывают значительные внутренние напряжения, близкие к нормативным характеристикам прочности металла. Поэтому даже небольшие отклонения действительных условий от расчетных приводят объект в предельное состояние. Следовательно, использование моделей, учитывающих реальное техническое состояние (ТС) на протяжении всего периода эксплуатации ПрО, повышает их устойчивость и безотказность.

Наиболее информативным комплексным показателем работоспособности ПрО является эффективность функционирования, расчет которой затруднен в связи с ее сложностью и отсутствием методик учета идентификации ТС на основе агрегированных параметров и моделей. В общем случае эффективность  $W(t)$  ПрО находится в виде аддитивной модели, представляющей сумму произведений коэффициентов весомости  $\alpha_i$  и соответствующих безразмерных частных характеристик эффективности ПрО.

Учитывая стационарность ПрО, выделим три наиболее важные характеристики эффективности его функционирования: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и производительность. Для каждой характеристики будем рассматривать две модели: обычное функционирование и функционирование при периодической идентификации ТС ПрО. Определяющим фактором эффективности любого ПрО является надежность функционирования — объективное свойство сохранять потенциальную способность выполнения предусмотренных функций в заданных условиях в течение требуемого промежутка времени, которое определяется системой объективных критериев, обуславливающих нормативную работоспособность в режиме активного воздействия эксплуатационных факторов и окружающей среды. Для обеспечения надежности функционирования ПрО в эксплуатационный период нужны мероприятия, обеспечивающие предупреждение отказов, а не

ликвидацию их последствий. Одно из основных направлений исследований – аналитическая идентификация с комплексной оценкой текущих и прогнозных значений ТС и интенсивности его изменения.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  ПрО определяется посредством нахождения суммарной интенсивности отказов  $\lambda(t)$  [1]. Жизненный цикл любого ПрО проходит через три стадии: приработки, нормальной эксплуатации и износа. Рассмотрим второй участок, так как идентификация ТС связана с системой техобслуживания и ремонта ПрО. На этом участке можно пренебречь незначительным возрастанием интенсивности отказов и считать ее константой  $\lambda(t)=\lambda$ . Тогда используя исходные значения  $\lambda_i$  элементов ПрО, находим сначала суммарную интенсивность отказов объекта, а затем итоговую вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t\right). \quad (1)$$

Поскольку ПрО – восстанавливаемые системы, то помимо показателей, характеризующих только безотказность, учтем комплексные показатели, обусловленные также восстановлением работоспособности. Такими показателями являются коэффициенты готовности и использования, характеризующие одновременно два свойства объектов – надежность и ремонтпригодность. Коэффициент готовности определяется величиной наработки, средними временами ожидания ремонта, отыскания и устранения одного отказа. Коэффициент использования – более полный комплексный показатель надежности системы, поскольку учитывает также простои за счет профилактических работ, определяемые через среднее время профилактики, приходящееся на отказ за рассматриваемый промежуток времени.

Оценим восстанавливаемость ПрО как системы длительного использования в функции времени и параметров, характеризующих процесс восстановления. Рассматривая операцию восстановления как случайный процесс, найдем вероятность восстановления ПрО как вероятность того, что случайное время восстановления  $\tau$  не превышает заданного времени  $T_0$ . Считая, что закон распределения времени восстановления – экспоненциальный, получим:

$$V(\tau) = P\{\tau \leq T_0\} = 1 - \exp(-\mu\tau), \quad (2)$$

где  $T_0$  – среднее время восстановления объекта, затрачиваемое на обслуживание и устранение одного отказа,  $V(\tau)$  – вероятность восстановления объекта за время  $= T_0$ .

Рассмотрим вероятность нормального функционирования  $P_f(t)$  – более полную характеристику надежности объекта длительного использования, учитывая его начальное состояние, безотказность и восстанавливаемость.  $P_f(t)$  найдем по формуле полной вероятности сложного события. Предполагая потоки отказов и восстановлений простейшими и пре-

небрегая членами высших порядков малости [2, 3], получим:

$$P_f(t) = P(0)P(t) + [1 - P(0)] V(\tau)P(t - \tau), \quad (3)$$

где  $P(0)$  – вероятность исправного состояния объекта в начальный момент времени, характеризующая коэффициентами готовности или использования;  $1 - P(0)$  – вероятность неисправного состояния объекта к началу момента времени его применения;  $P(t)$  – вероятность безотказной работы;  $P(t - \tau)$  – вероятность безотказной работы объекта за оставшееся время  $(t - \tau)$ , безусловно, достаточное для его восстановления.

Выявлена закономерность: на этапе длительной эксплуатации ПрО с ухудшением ТС надежность функционирования снижается, но с использованием результатов аналитической идентификации ТС она снижается существенно меньше за счет своевременного и оперативного воздействия на агрегаты ПрО с ухудшенными техническими характеристиками. Поэтому вторая модель надежности функционирования  $P_{fs}(t)$  ПрО получается путем умножения (3) на выявленную функцию  $f_1(U)$  с агрегированной моделью, учитывающей влияние своевременного, оперативного и более объективного воздействия на ПрО, поскольку анализ ведется по всем диагностическим данным объекта. Отметим, что шкала измерения агрегированных моделей  $U$  принадлежит диапазону  $0...1$ , причем, чем больше величина  $U$ , тем хуже ТС, а при предельном ТС  $U \rightarrow 1$  [3-5].

Следующая частная характеристика – стоимость эксплуатации ПрО находится как сумма основных расходов в течение года. Выразим ее в долях общей стоимости объекта:

$$C_o(t) = \frac{1}{C_0} [C_{кз}(t) + C_{рем}(t) \cdot \varphi(t) + C_{зн}(t) + C_{np}(t)] t, \quad (4)$$

где:  $C_{кз}(t)$  – годовые расходы на защиту от коррозии;  $C_{рем}(t)$  – годовая стоимость ремонта;  $C_{зн}(t)$  – зарплата обслуживающего персонала в течение года;  $C_{np}(t)$  – прочие годовые расходы на эксплуатацию;  $C_0$  – проектная стоимость ПрО (все в тыс. руб.);  $\varphi(t)$  – функция, учитывающая повышение расходов на ремонт в процессе длительной эксплуатации.

Установлено, что на этапе длительной эксплуатации с ухудшением ТС стоимость эксплуатации повышается, но с использованием результатов аналитической идентификации она повышается существенно меньше за счет увеличения межремонтного цикла и уменьшения расходов на ремонт из-за повышения объективности и информативности представления о ТС. Эта закономерность справедлива с учетом некоторого возрастания стоимости за счет расходов на формирование БД и разработки соответствующего программного комплекса. Поэтому вторая модель стоимости эксплуатации  $C_{os}(t)$  ПрО получается путем умножения (4) на выявленную функцию  $f_2(U)$  с агрегированной моделью, учитывающей увеличение межремонтного цикла и уменьшение расходов на ремонт.

Для рассмотрения группы показателей, характеризующих производительность, примем в качестве ПрО транспортирующий объект, например газопровод. В этом случае будем говорить о суммарном объеме поставки газа ( $m^3$ ) за время функционирования газопровода. Тогда третья по важности частная характеристика эффективности функционирования определяется формулой:

$$R(t) = \frac{Q}{Q_{ном} T_{ном}} t, \quad (5)$$

где  $Q$  и  $Q_{ном}$  – фактическая и номинальная объемные производительности ( $m^3/c$ ), определяемые из соотношений:  $Q = PFV$ ;  $Q_{ном} = P_{ном} F_{ном} V_{ном}$ , где  $P, P_{ном}$  – рабочее и номинальное давление, МПа;  $F, F_{ном}$  – фактическая и номинальная площадь сечения,  $m^2$ ;  $V, V_{ном}$  – фактическая и номинальная скорость транспортировки продукта,  $m/ч$ ;  $T_{ном}$  – нормированный срок службы ПрО.

Вторая модель объема поставки газа  $R_s(t)$  получается путем умножения (5) на выявленную функцию  $f_3(U)$  с агрегированной моделью, учитывающей повышенные возможности соблюдения эксплуатационных режимов и сохранения проектных параметров, а также уменьшение времени простоя в ремонтный период и сокращение продолжительности ремонтов.

Используем приведенные модели при оценке эффективности функционирования трубопроводов. Анализ опыта эксплуатации трубопроводов с учетом статистики отказов показал, что частные характеристики эффективности после 20-летней эксплуатации целесообразно рассматривать в интервале 10000...60000 ч с шагом, кратным 10000 ч. Верхняя граница диапазона выбрана исходя из периодичности проведения внутритрубной дефектоскопии. В соответствии с проведенными расчетами результирующий коэффициент коррозионной опасности находится как произведение соответствующих коэффициентов, зависящих от концентрации агрессивных примесей, содержащихся в транспортируемом газе, скорости потока газа, типа применяемого ингибитора и покрытия, а также климатических условий, и равен 0,752 [3].

Трубопровод представляет собой совокупность соединенных элементов: труб, трубных деталей, арматуры. Для определения надежности трубопровод декомпозируется на отдельные элементы [2, 3, 4], в отношении которых определяются количественные характеристики надежности. Декомпозиция проводится так, чтобы отдельные элементы представляли собой конструктивно самостоятельные устройства, независимые в отношении отказов от других частей. Поскольку трубопроводы состоят из идентичных участков с крановыми узлами, а внутритрубная дефектоскопия не контролирует состояние кранового оборудования, оценим надежность функционирования только линейного участка.

Структурная модель типового участка соединительного трубопровода после его декомпозиции, в соответствии

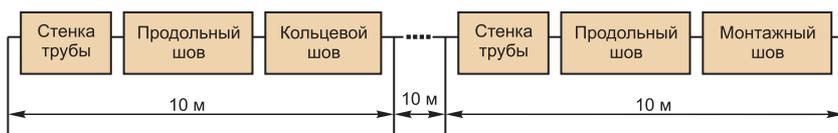


Рис. 1. Структурная модель типового участка трубопровода

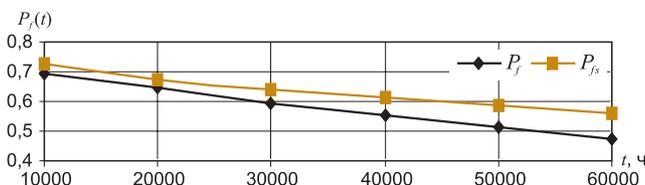


Рис. 2. Зависимости надежности функционирования трубопровода от времени эксплуатации

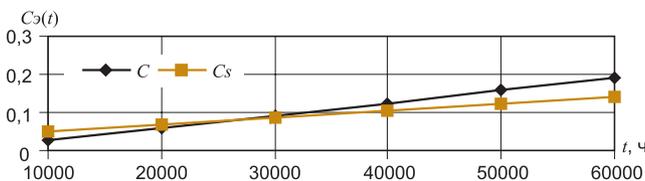


Рис. 3. Зависимости стоимости эксплуатации трубопровода от времени эксплуатации

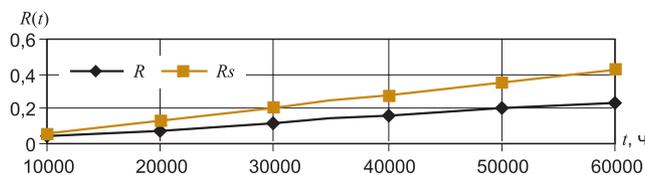


Рис. 4. Зависимости объема поставки газа от времени эксплуатации трубопровода

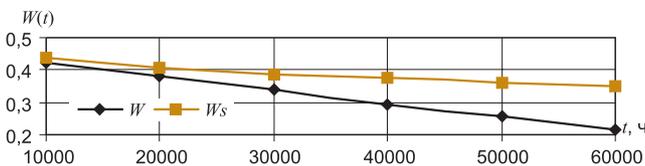


Рис. 5. Зависимости эффективности функционирования типового участка трубопровода от времени эксплуатации

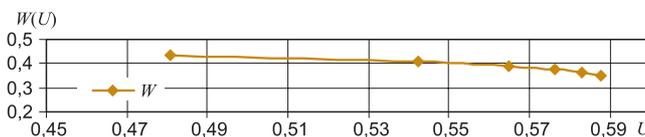


Рис. 6. Зависимость эффективности функционирования типового участка трубопровода от его технического состояния

с рис. 1, представляет собой совокупность стенок (300 ед.), продольных швов (300 ед.), кольцевых швов (через каждые 10 м 200 ед.) и монтажных швов (через каждые 30 м 100 ед.), соединенных последовательно [3, 4].

Согласно данным фирм Мартин и Джин (США) [1, 2] для элементов трубопроводов принимаем следующие удельные интенсивности отказов:  $\lambda_c = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_n = 5,95 \cdot 10^{-10} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_k = 1,17 \cdot 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_m = 2,92 \cdot 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$ , где  $\lambda_c, \lambda_n, \lambda_k, \lambda_m$  – удельная интенсивность отказа стенки, продольного, кольцевого и монтажного шва соответственно.

По результатам расчета надежности функционирования  $P_f(t)$  и  $P_{fs}(t)$ , стоимости эксплуатации  $C_3(t)$  и  $C_{3s}(t)$ , а также поставки газа  $R(t)$  и  $R_s(t)$  построены соответствующие графики (рис. 2-4).

С учетом найденных значений частных характеристик: надежности функционирования, стоимости эксплуатации и поставки газа оценим эффективность функционирования  $W(t)$  типового участка трубопровода:

$$W(t) = \alpha_1 P_f(t) - \alpha_2 C_3(t) + \alpha_3 R(t), \quad (6)$$

где  $\alpha_1 = 0,47$ ,  $\alpha_2 = 0,35$ ,  $\alpha_3 = 0,18$  – коэффициенты влияния частных характеристик на эффективность функционирования участка трубопровода, значения которых определены экспертной оценкой, проведенной среди специалистов газовой промышленности.

Результаты расчета эффективности функционирования трубопровода для двух вариантов моделей приведены на рис. 5.

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что для обеих моделей вероятность нормального функционирования  $P_f(t)$  участка трубопровода в исследуемом интервале времени монотонно убывает, поставка газа растет, а относительная стоимость эксплуатации участка трубопровода увеличивается. Учет ТС повышает надежность функционирования трубопровода в среднем на 5,7%, стоимость эксплуатации уменьшается на 4,3%, поставка газа возрастает на 7,3%, а эффективность функционирования повышается на 7,8%.

Найдены зависимости эффективности функционирования  $W(U)$  типовых участков ряда трубопроводов от ТС (рис. 6), подтверждающие высказанные закономерности. При этом можно утверждать, что если техническое состояние принадлежит диапазону 0,45...0,54, то оно оказывает не столь существенное влияние, но с его дальнейшим ухудшением в диапазоне 0,54...0,8 эффективность существенно убывает – 0,41...0,30.

Разработанная методология аналитической идентификации ТС ПрО позволяет решить проблему выбора периодичности и метода диагностики трубопроводов при дальнейшей эксплуатации. Согласно нормативно-технической документации (НТД) периодичность внутритрубных обследований для трубопроводов неочищенного газа определена в 5 лет, а для магистральных трубопроводов – в 8 лет. Исходя из ограниченных ресурсов предприятия, существует оптимальная протяженность трубопроводов для проведе-

ния внутритрубной дефектоскопии (ВТД). Если сроки проведения ВТД назначаются трубопроводам по календарному принципу (согласно НТД), график объемов работ и финансовых средств характеризуется большой неравномерностью, что приводит к негативным последствиям.

В Оренбургском государственном университете создан программный комплекс, позволяющий находить аналитические модели изменения ТС трубопровода при определенном уровне эффективности его функционирования как с учетом выявленных дефектов, так и после вырезки потенциально опасных участков. Следовательно, появляется возможность разработки более равномерного графика проведения ВТД, адаптированного к возможностям предприятия.

Таким образом, предложенные модели надежности функционирования, стоимости эксплуатации и величины поставки газа с учетом проведения аналитической идентификации ТС, позволяют определять эффективность функционирования трубопроводов. Результаты исследований показывают, что эффективность функционирования трубопроводов при аналитической идентификации ТС возрастает в среднем на 7,8...10,2%. При этом возможно строить перспективные графики проведения ВТД с равномерной величиной ежегодно обследуемых длин трубопроводов, а также сократить объемы внутритрубной дефектоскопии и ремонтных работ за счет мониторинга за изменением ТС трубопроводов до и после ремонта.

Разработанная методология аналитической идентификации ТС с предложенными агрегированными моделями успешно апробирована на энергетических котлах и паропроводах тепловой электростанции, а также ряде соединительных газоконденсатопроводов.

#### Список литературы

1. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: ЭАИ, 1986.
2. Беляев Ю.К., Богатырев В.А. и др. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985.
3. Владов Ю.Р. Идентификация коррозионного состояния трубопроводных систем в машиностроении. Оренбург: ОГУ, 2000.
4. Владов Ю.Р. Идентификация систем. Учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2003.
5. Владов Ю.Р., Кушнарченко В.М., Кандыба Н.Е., Степанов Е.П., Владова А.Ю. Идентификация технического состояния теплоэнергетического оборудования: Монография. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004.

*Владов Юрий Рафаилович – проф. кафедры САП Оренбургского государственного университета. Контактный телефон (3532) 71-14-18. E-mail: urvladov@rambler.ru*

#### Система учета газа для объекта энергетики. Этапы внедрения

Департамент комплексных решений и корпоративных проектов ЗАО "Индустриальные компьютерные системы" в марте 2005 г. завершает очередной этап внедрения автоматизированной системы учета газа для

ОАО "Мосэнерго". Данным этапом завершается пусконаладка системы отображения данных (СОД) АСКУГ ТЭС на более чем 10 филиалах ОАО "Мосэнерго", расположенных в Москве и Московской области.

<http://www.icnews.ru/i/a.nsf/u/kr>