

УДК 621.002:681.324

Е.Л. Первухина, Т.Л. Степанченко, В.В. Голикова

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Решение актуальной задачи принятия решений о годности готовых машиностроительных изделий к эксплуатации, являющейся частью более общей задачи управления качеством, во многом зависит от математического обеспечения автоматизированных систем стендовых испытаний на завершающем этапе производства [1]. В ходе испытаний экспериментально определяют количественные и качественные характеристики свойств изделий, т.е. проводят оценку конструкции и проверяют соответствие техническим требованиям. К сожалению, многие отечественные предприятия, обладая автоматизированными системами управления качеством, не располагают методологией создания для них необходимого математического обеспечения, отвечающего современному уровню сложности изделий и ужесточающимся требованиям к качеству, в том числе, надежности и безопасности. Основой математического обеспечения систем испытаний должны быть модели многомерных процессов, учитывающие причинно-следственные зависимости между основными диагностическими параметрами изделий и позволяющие по результатам анализа экспериментальной информации с наименьшими ошибками отбраковывать изделия, несоответствующие техническим требованиям.

К настоящему времени существует развитая теория принятия решений по результатам статистического контроля сложных объектов и систем, в том числе, на основе временных рядов измерений параметров. Однако большинство методов разработано в предположении независимости и нормального распределения наблюдаемых случайных величин, что редко выполняется на практике. Среди публикаций, раскрывающих принципы анализа временных рядов с учетом автокорреляций и других систематических воздействий, можно указать работу [2]. Основная идея подхода связана с заменой алгоритмов анализа процессов измерений

параметров стандартными процедурами и диаграммами статистического контроля для анализа ошибок моделирования. Однако рассматриваются только одномерные случайные процессы и результаты не могут быть распространены на случай исследования многомерных процессов.

Целью работы является организация процедуры принятия решений по результатам мониторинга технического состояния машиностроительных изделий в ходе их стендовых испытаний. Базой предлагаемого подхода являются стохастические многомерные модели, построенные по результатам измерений диагностических параметров изделий с учетом связей между ними. Модели используются для анализа коэффициента линейной зависимости между нестационарными процессами изменения параметров. Разработанное программное обеспечение позволяет принимать решения о годности изделий к эксплуатации в реальном времени испытаний.

При ограничении класса испытаний приемосдаточными и контрольными испытаниями после сборки, в ходе которых наблюдения за рабочими процессами готовых изделий проводят пассивно без применения регулировочных схем и звеньев, термин «контроль» используют в значении мониторинга технического состояния и под обратной связью понимают рекомендации сборочному цеху. При формализации задач испытаний учитывают их специфику. С одной стороны, технологический процесс изготовления стабилен и контролируемые параметры при работе изделий на номинальных режимах группируются вокруг некоторого эталона, репрезентативного для изделий данного класса. Учитывают приведенные к стандартным условиям значения параметров, исключая влияние атмосферных условий и регламентируя режимы испытаний [3]. Отклонения параметров от эталонных уровней имеют вид экстремальных индивидуальных наблюдений (хвостов) или аномальных последовательностей (отклонений выше и ниже некоторого уровня). Их обнаруживают по графикам изменения параметров во времени или при обзоре контрольных диаграмм, как например Шухарта, кумулятивных сумм, экспоненциально взвешенного скользящего среднего. Окончательное решение о годности изделия к эксплуатации принимают по результатам

проверки нулевой гипотезы о совпадении характеристик законов распределения параметров на текущем и эталонном режимах функционирования [2]. Отклонение нулевой гипотезы (принятие альтернативной) равносильно отнесению испытуемого изделия к классу негодных к эксплуатации.

С другой стороны, для более полного представления о техническом состоянии изделий и, следовательно, готовности к эксплуатации, измерения параметров, например, в ходе приемосдаточных испытаний, ведут на различных режимах. При этом установлено [4,5], что в отсутствие конструкторских или технологических дефектов статистические связи между параметрами при изменении режимов функционирования изделий остаются стабильными. При наличии дефектов или развивающихся повреждений связи нарушаются.

Кроме описанной специфики испытаний следует учитывать неконтролируемые дополнительные погрешности результатов, обусловленные неадекватностью используемых моделей процессам и изделиям (особенно новым или модернизированным) при неполном учете технологических факторов. Эти погрешности, как показывает практика испытаний, могут быть значительными и превосходить погрешности измерений [6].

Таким образом, в ходе испытаний измерительная информация представляет случайные процессы измерения диагностических (косвенных) параметров, характеризующих рабочие процессы изделий, в равноотстоящие моменты времени. Задача принятия решений формулируется в виде выбора одного из двух вариантов (пригодно изделие к эксплуатации или нет) в зависимости от результатов наблюдения этих случайных процессов.

В общем случае процесс принятия решений организован как система, состоящая из набора типовых подсистем и их элементов, взаимодействующих между собой, число и состав которых может меняться в зависимости от условий испытаний, контролируемых параметров и критерия выбора. Входным элементом системы является информация о номинальных (эталонных) значениях контролируемых параметров, выходным - оптимальное (относительно выбранного критерия) решение.

Исходя из специфики испытаний, для оптимальной (по времени и достоверности результатов) организации процесса принятия решений представляется важным наряду с обычным контролем параметров установить причинно-следственные зависимости между параметрами и отслеживать динамику этих зависимостей [7,8]. Поэтому по-прежнему актуальным является использование моделей временных рядов, поскольку они делают возможным изучение автокоррелированных процессов и случайных величин, поведение которых описывается законом распределения, отличным от нормального. При этом многомерные случайные процессы последовательных измерений основных параметров следует рассматривать не просто как совокупности взаимосвязанных элементов – скалярных процессов, а как единые динамические процессы. Появившиеся в последнее время в теории временных рядов новые методы анализа позволяют установить зависимости между такого рода нестационарными случайными процессами. Пример выявления зависимости между случайными процессами измерений трех параметров, характеризующих работу карбюраторного двигателя внутреннего сгорания в ходе контрольных испытаний: удельного расхода топлива  $g_e$  (г/э.лс.ч), разряжения давления во впускном коллекторе  $H$  (мм.рт.ст. ), содержания СН в отработавших газах (млн-1) – приведен в работе [7]. Все три процесса являются нестационарными со стационарными приращениями, между которыми, как показали исследования, существует линейная зависимость. Эта зависимость характеризуется коэффициентом линейной комбинации между исходными нестационарными процессами, представляющим стационарную случайную величину (на рис. 1 процесс ее изменения представлен жирной линией) с эмпирическим распределением, близким к нормальному (рис.2).

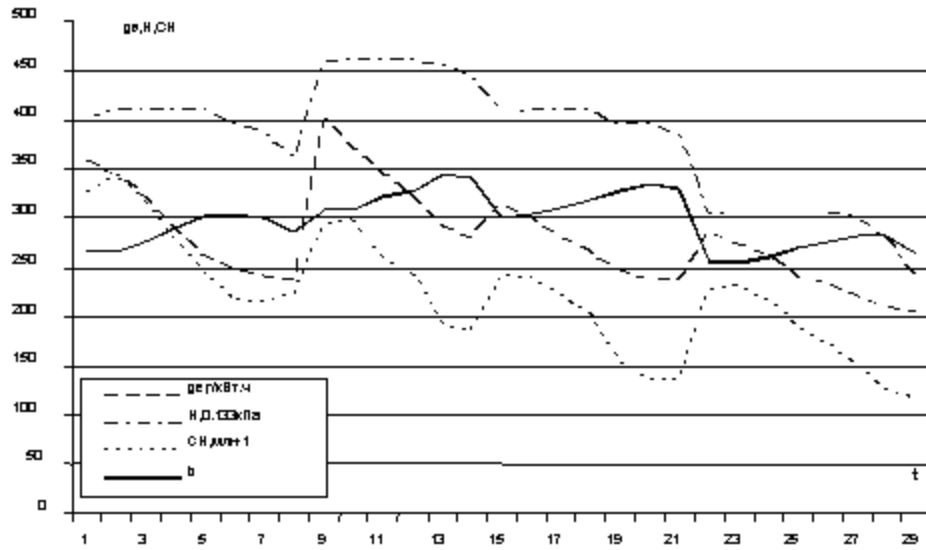


Рисунок 1 – Коинтегрированные временные ряды измерений параметров ДВС и коэффициент линейной комбинации между ними

Исследования показали, что подобные зависимости можно установить между основными диагностическими параметрами двигателей внутреннего сгорания, измеряемыми в ходе приемосдаточных и контрольных испытаний. Наличие зависимостей проверено с использованием стандартных характеристик (нагрузочных, скоростных, регулировочных) двигателей, создаваемых операторами испытаний по результатам обработки экспериментальной информации.

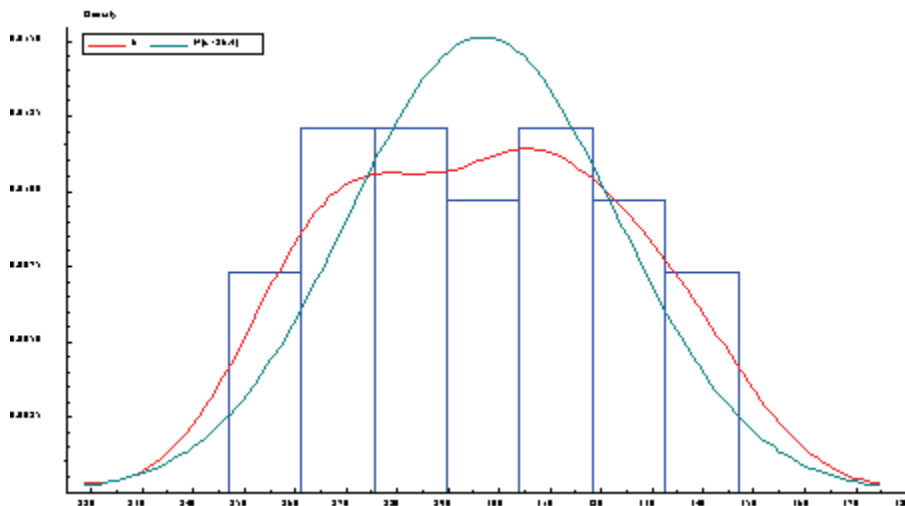


Рисунок 2 – Гистограмма величины, характеризующей зависимость между исследуемыми рядами

При установлении факта существования таких зависимостей между диагностическими параметрами испытуемых изделий для

организации процедуры принятия решений по результатам испытаний есть смысл использовать не только информацию об изменении каждого параметра в отдельности, отслеживая превышение ими предельно допустимых значений, но и анализируя динамику изменения коэффициентов линейных комбинаций между основными группами диагностических параметров. Они должны находиться в пределах  $\pm 3\sigma$  от эмпирического среднего.

Преимущества указанного подхода заключаются в возможности создания автоматического алгоритма моделирования и процедуры принятия решений по результатам определения коэффициентов линейных зависимостей между элементами многомерного нестационарного процесса, описывающего изменение технического состояния испытываемого изделия. Это позволит исключить оператора из процесса принятия решения, что, в значительной степени снизит вероятность принятия неверного решения (отнесения годного изделия к классу негодных и наоборот).

Направление будущих исследований может быть связано с организацией процедуры принятия решений для испытаний, когда результаты измерений параметров отображаются критически малыми объемами статистических выборок (10-20 значений параметров), т.к. обработка выборок таких размеров требует принципиально новых статистических подходов с целью извлечения максимума информации о техническом состоянии испытываемых изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скурихин В.И. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов / Скурихин В.И., Квачев В.Г., Валькман Ю.Р., Яковенко Л.П. // – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с.
2. Alwan L.C., Roberts H.V. Time Series Modeling for Statistical Process Control / L.C. Alwan, H. V. Roberts. - Journal of Business and Economics Statistics, 1988, vol.6, N1. - P. 87-95.
3. Первухина Е.Л. Информационные технологии в задачах оценки технического состояния машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, Т.Л. Степанченко, А.В. Первухин // Сборка в машиностроении, приборостроении. - №8 - 2006. – С. 31 – 40.
4. Рыбалко В.В. Параметрическое диагностирование энергетических объектов на основе факторного анализа в среде Statistica / В.В. Рыбалко // Exponenta Pro, 2004. – С. 78 – 83.
5. Первухина Е.Л. Оценка технического состояния машиностроительных объектов по термогазодинамическим параметрам / Е.Л. Первухина, П.К. Сопин // Сборка в машиностроении, приборостроении. - №2 - 2004. – С. 26 – 29.

6. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
7. Первухина Е.Л. Вычислительные аспекты поиска причинно-следственных зависимостей между параметрами сложных систем / Е.Л. Первухина, В.В. Голикова // Статья. Системные технологии, 2006. - №5 (46). – С. 101-112.
8. Первухина Е.Л. Векторные авторегрессионные модели в задачах исследования сложных машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, В.В. Голикова П.К. Сопин // Межд. Сб. научн. тр. Донецкого национального технического университета «Прогрессивные технологии и системы машиностроения», 2007. – Вып. 33. – С. 64-69.

Получено 30.08.2007 г.