

УДК 004.93'11:681.5.015.52

# ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ВОЛЬТЕРРА

*Пропонується інформаційна технологія діагностування технічного стану електродвигунів, в основі якої лежать методи непараметричної ідентифікації об'єктів контролю (ОК) і побудови вирішальних правил оптимальної класифікації в просторі діагностичних ознак. В якості джерела діагностичної інформації використовуються нелінійні динамічні моделі у вигляді багатовимірних ядер Вольтерра, які ідентифікуються за результатами експериментальних досліджень ОК «вхід-вихід»*

*Ключові слова: інформаційні технології, діагностика, електродвигуни, нелінійні динамічні системи, ідентифікація, моделі Вольтерра*

*Предлагается информационная технология диагностирования технического состояния электродвигателей, в основе которой лежат методы непараметрической идентификации объектов контроля (ОК) и построения решающих правил оптимальной классификации в пространстве диагностических признаков. В качестве источника диагностической информации используются нелинейные динамические модели в виде многомерных ядер Вольтерра, которые идентифицируются по результатам экспериментальных исследований ОК «вход-выход»*

*Ключевые слова: информационные технологии, диагностика, электродвигатели, нелинейные динамические системы, идентификация, модели Вольтерра*

**С. Н. Григоренко**  
Инженер\*

E-mail: sn\_torchuk2012@mail.ru

**С. В. Павленко**  
Инженер\*\*

E-mail: psv85@yandex.ru

**В. Д. Павленко**  
Доктор технических наук, профессор\*

E-mail: pavlenko\_vitalij@mail.ru

**А. А. Фомин**  
Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: shtala@mail.ru

\*Кафедра компьютеризированных систем управления\*\*\*

\*\*Кафедра информатики и математических методов защиты информационных систем\*\*\*

\*\*\*Одесский национальный политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

## 1. Введение

Рост сложности объектов контроля (ОК), увеличение источников информации, учет динамических свойств объектов и систем, возросшие требования к точности и объективности принимаемых решений приводят к проблеме разработки новых эффективных алгоритмов математического обеспечения систем обработки диагностической информации, которые бы позволили обеспечить указанные требования и автоматизировать процесс контроля объектов разной физической природы [1, 2]. Проектирование современных систем диагностирования представляет собой многоэтапный процесс, который включает как теоретические, так и экспериментальные исследования с использованием различного математического аппарата и современных средств вычислительной техники [3–5].

В настоящее время в технической диагностике развивается направление, основанное на восстанов-

лении модели (оператора) диагностируемого объекта [3, 4, 6]. Обычно предполагается, что неисправности изменяют только параметры модели ОК, которые при диагностировании оцениваются методами параметрической идентификации. Однако часто, деградиационные процессы в объектах приводят к изменению не только параметров модели ОК, но и ее структуры, что обуславливает в диагностических исследованиях применение методов непараметрической идентификации для построения математической модели ОК на основе данных эксперимента «вход-выход».

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Эффективность использования современных методов диагностического контроля, основанных на восстановлении модели ОК, в значительной мере зависит от адекватности применяемых информационных моделей

реальным объектам и процессам. В системах контроля, реализующих методологию модельной диагностики, часто используются линейные динамические модели или модели, основанные на учете эффектов нелинейности, которые учитывают информацию только о свойствах статических характеристик ОК. Реальные объекты, как правило, одновременно обладают и нелинейными и динамическими свойствами. Поэтому, в качестве информативного описания ОК неизвестной структуры целесообразно использовать нелинейные непараметрические динамические модели на основе интегро-степенных рядов Вольтерры (РВ), которые характеризуют свойства ОК (его состояние) в виде последовательности инвариантных к виду входного сигнала многомерных весовых функций  $w_k(\tau_1, \dots, \tau_k)$ ,  $k=1, 2, \dots$  – ядер Вольтерры (ЯВ) [6, 7].

Применение моделей на основе РВ позволяет более полно и точно учесть нелинейные и инерционные свойства ОК, делает процедуру модельной диагностики более универсальной, повышает надежность диагноза.

Диагностическая процедура в этом случае сводится к определению ЯВ по данным эксперимента «вход–выход» и построению на основе полученных ядер диагностической системы признаков, в пространстве которых строится решающее (диагностическое) правило оптимальной классификации. Для построения диагностирующего правила используются методы статистической классификации (распознавания образов) [8–10].

Вентильно-реактивные двигатели (ВРД) (электрические), в которых коммутация фаз (секций) обмотки осуществляется полупроводниковой схемой по сигналам от датчика положения ротора, определяют собой быстро и эффективно развивающееся научно-техническое направление. Электропривод на основе вентильных двигателей все более широко используется в таких областях техники и промышленности, как приборная автоматика, станкостроение и робототехника, автоматизированные технологические линии, транспорт, аэрокосмическая техника, насосное и компрессорное оборудование и др.

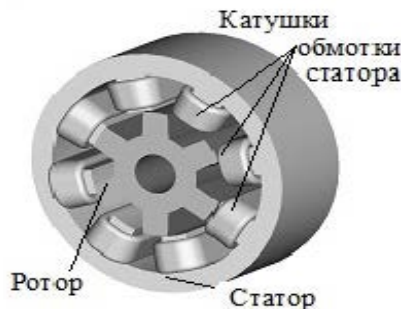
ВРД состоит из реактивного электромагнитного преобразователя (ЭМП), электронной схемы управления и датчика положения ротора (ДПР) (рис. 1, а) [11, 12]. Внешний вид показан на рис. 1, б.

В процессе длительной работы ротор ЭМП электропривода испытывает трение о воздух и с течением времени воздушный зазор (ВЗ) между ротором и статором в ЭМП увеличивается. Особенно это характерно для высокоскоростных электроприводов. При увеличении ВЗ снижаются энергетические показатели – энергия преобразуется с большими потерями. В связи с этим в процессе эксплуатации ВРД необходимо периодически контролировать величину ВЗ. Прямые же измерения неприемлемы, поскольку они трудоемки и требуют вывода ВРД из эксплуатации на время контроля.

Задача построения автоматизированной системы диагностики воздушного зазора (ВЗ) между ротором и статором в ЭМП электропривода по данным косвенных измерений (непрямыми методами) на основе информационных моделей «вход–выход» имеет важное практическое значение.



а



б

Рис. 1. Структурная схема и внешний вид ВРД: а – структурная схема; б – внешний вид ВРД

### 3. Цель и задачи исследования

Целью работы является повышение достоверности диагностирования состояния (величины ВЗ) ВРД за счет развития метода модельной диагностики на основе непараметрической идентификации ОК в виде ядер Вольтерра, исследование эффективности предлагаемой информационной технологии косвенного контроля и диагностики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) обосновать необходимость использования моделей Вольтерра в диагностических исследованиях электродвигателей;
- 2) разработать информационную технологию диагностирования состояния электродвигателей на основе исходного описания объектов контроля в виде ядер Вольтерра;
- 3) построить модели Вольтерра вентильно-реактивного электродвигателя с помощью средств компьютерного моделирования.

### 4. Нелинейные непараметрические динамические модели Вольтерра и идентификация объектов контроля

Для описания нелинейных динамических систем (НДС) с неизвестной структурой (типа «черный ящик») используют ряд Вольтерра [6, 7], который от многих функциональных аргументов  $x_1(t), \dots, x_n(t)$  – входных воздействий, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 y_j(t) = & \sum_{i_1=1}^v \int_0^t w_{i_1}^j(\tau) x_{i_1}(t-\tau) d\tau + \\
 & + \sum_{i_1=1}^v \sum_{i_2=1}^v \int_0^t \int_0^t w_{i_1 i_2}^j(\tau_1, \tau_2) x_{i_1}(t-\tau_1) x_{i_2}(t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \\
 & + \sum_{i_1=1}^v \sum_{i_2=1}^v \sum_{i_3=1}^v \int_0^t \int_0^t \int_0^t w_{i_1 i_2 i_3}^j(\tau_1, \tau_2, \tau_3) x_{i_1}(t-\tau_1) x_{i_2}(t-\tau_2) x_{i_3}(t-\tau_3) d\tau_1 d\tau_2 d\tau_3 + \\
 & j = \overline{1, \mu},
 \end{aligned}$$

где  $y_j(t)$  – отклик ОК на  $j$ -ом выходе в текущий момент времени  $t$  при нулевых начальных условиях;  $w_{i_1 i_2 \dots i_n}^j(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$  – ядра Вольтерры  $n$ -го порядка по  $i_1, i_2, \dots, i_n$  входам и  $j$ -му выходу, симметричные относительно вещественных переменных  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  функции;  $v, \mu$  – количество входов и выходов НДС соответственно.

Применение моделей на основе РВ в диагностических исследованиях объясняется его принципиально важными достоинствами: явными соотношениями между входными и выходными переменными; универсальностью – возможностью исследования нелинейных непрерывных во времени и импульсных систем, стационарных и нестационарных; одновременным и компактным учетом нелинейных и инерционных (динамических) свойств ОК.

Эффективность применения методов распознавания образов для косвенного контроля и диагностики состояния объектов в основном зависит от информативности используемой совокупности параметров (признаков). Если выбранные параметры достаточно полно характеризуют внутреннюю структуру объекта диагностирования, то объекты, являясь идентичными по структуре, отобразятся в пространстве этих параметров в виде плотного множества точек. Объектам с особенностями структуры (дефектным) будут соответствовать точки, отклоняющиеся от этого плотного множества.

В задачах модельной диагностики адекватность модели ОК следует понимать не в смысле точности описания отклика объекта, а в смысле информативности ее с точки зрения достоверного (надежного) распознавания состояния объекта. При использовании ЯВ в качестве источника диагностической информации об ОК необходимо обеспечить в первую очередь высокую точность оценки многомерных ЯВ малых порядков, что часто на практике оказывается достаточным для построения эффективной распознающей системы.

Высокая точность оценивания ЯВ достигается применением предложенных в работах [13–15] помехоустойчивых методов детерминированной идентификации.

### 5. Информационная технология диагностирования на основе исходного описания объектов контроля в виде ядер Вольтерра

Предлагаемая информационная технология косвенного контроля и диагностики нелинейных динамических объектов основана на непараметрической идентификации ОК с использованием ЯВ и заключается в последовательном решении следующих задач.

*Идентификация ОК.* Цель – получение информационной модели ОК в виде ЯВ.

- Этапы реализации:
- подача тестовых сигналов на входы ОК;
  - измерение откликов на них;
  - определение ЯВ на основе данных эксперимента «вход-выход».

- Построение диагностической модели ОК.* Цель – формирование пространства признаков. Этапы реализации: сжатие ЯВ; определение диагностической ценности признаков; выбор оптимальной системы признаков (редукция диагностической модели).

*Построение классификатора состояний ОК.* Цель – построение семейства решающих правил оптимальной классификации. Этапы реализации: построение решающих правил (обучение); оценка достоверности классификации (экзамен); оптимизация диагностической модели.

*Диагностика ОК.* Цель – оценка состояния ОК. Этапы реализации: идентификация ОК; оценка диагностических признаков; распознавание (отнесение ОК к определенному классу).

Применение данного метода модельной диагностики сопряжено с решением задачи параметризации многомерных функций ЯВ [16–20]. При построении диагностической модели выделяют три уровня описания [21]:

1. Исходный уровень, на котором функции  $w_k(\tau_1, \dots, \tau_k)$ , получаемые в результате идентификации ОК, рассматриваются как единое целое.

2. Уровень исходных признаков, на котором функция  $w_k(\tau_1, \dots, \tau_k)$  представляется вектором  $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_n)$ . Информативные признаки могут быть получены с помощью предварительного преобразования  $T_j: \mathbf{C}[a, b] \mathbf{R}^n$ , ( $j=1, \dots, n$ ):  $x_j=T_j(w_k(\tau_1, \dots, \tau_k))$ . В качестве оператора  $T_j$  могут применяться ортогональные разложения и интегральные преобразования ЯВ в векторы коэффициентов базисных функций [8, 9]. В простейшем случае оператор  $T_j$  является оператором дискретизации  $x_j=w_k(t_j, \dots, t_j)$ ,  $t_j=j\Delta t$  ( $\Delta t$  – шаг дискретизации).

3. Уровень преобразованных признаков, получаемых в результате реализации выбранного ортогонального преобразования  $\mathbf{L}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^m$  ( $m \leq n$ ), что обеспечивает сокращение размерности пространства признаков. При этом решается задача минимизации количества вторичных признаков при максимальном сохранении информации, содержащейся в исходном описании ОК [22].

Исследования диагностической ценности (информативности) различных систем признаков проводятся на основе критерия – максимальной вероятности правильного распознавания ( $P_{max}$ ), реализуемой построенной системой распознавания на подмножестве  $\mathbf{X}'$  из заданного множества признаков  $\mathbf{X}$  ( $\mathbf{X}' \subseteq \mathbf{X}$ ).

### 6. Построение модели Вольтерра вентильно-реактивного электродвигателя

Идентификация ВРД в виде ЯВ здесь осуществляется на имитационной модели ВРД в системе MATLAB–SIMULINK. Используется математическая модель в виде системы уравнений, задающая неявное описание ВРД типа «вход–выход» [23] при зафиксированном положении ротора:

$$U_\varphi = I_\varphi R_\varphi + \frac{d\Psi_\varphi}{dt}, \tag{2}$$

$$\Psi_\varphi = f_i(I_\varphi, \Theta), \tag{3}$$

где  $U_\varphi(t)$  – напряжение (входное воздействие),  $I_\varphi(t)$  – ток (измеряемый отклик ВРД),  $R_\varphi$  – сопротивление,  $\Psi_\varphi$  – потокосцепление фазы;  $\Theta$  – угол положения ротора относительно статора.

Зависимость (3) является существенно нелинейной, что определяется принципом работы и геометрическими особенностями ВРД. Она была получена для угла положения ротора относительно статора  $\Theta = 30^\circ$  (рис. 2) и четырех ВЗ между ротором и статором – номинальном и с увеличением на 30, 60 и 90 % от номинального. Численный расчет зависимостей (3) производился на основе полевой математической модели методом конечных элементов [23].

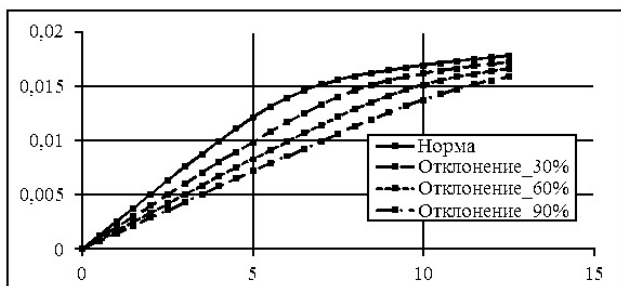


Рис. 2. Зависимости  $\Psi_\varphi(I_\varphi)$  при  $\Theta = 30^\circ$  для номинальной величины ВЗ и увеличенной на 30, 60 и 90 % от номинальной

Если, используя полученные с помощью машинных расчетов зависимости (3), найти обратную зависимость тока фазы от потокосцепления фазы  $I_\varphi = F(\Psi_\varphi, \Theta)$  и аппроксимировать ее степенным полиномом, получим модель ВРД в виде:

$$\frac{d\Psi_\varphi}{dt} + F(\Psi_\varphi, \Theta) \cdot R_\varphi = U_\varphi, \tag{4}$$

где  $F(\Psi_\varphi, \Theta) = (a_1\Psi_\varphi + a_2\Psi_\varphi^2 + a_3\Psi_\varphi^3 + \dots) \cdot R_\varphi$ . Структурная схема имитационной модели представлена на рис. 3.

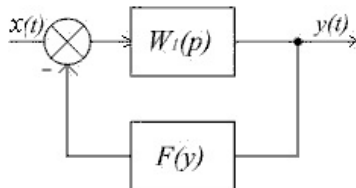


Рис. 3. Структурная схема имитационной модели ВРД

Здесь

$$W(p) = \frac{1}{p + a_1}, \quad F(y) = a_2 y^2 + a_3 y^3 + \dots$$

В результате этих преобразований получим модель ВРД в виде обыкновенного нелинейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\frac{d\Psi_\varphi}{dt} + a_1\Psi_\varphi + a_2\Psi_\varphi^2 + a_3\Psi_\varphi^3 + \dots = U_\varphi. \tag{5}$$

На основе уравнения (5) можно получить аналитические выражения для ЯВ первого порядка и диагональных сечений ЯВ второго и третьего порядков:

$$w_1(t) = e^{-a_1 t}, \tag{6}$$

$$w_2(t, t) = \frac{a_2}{a_1} (e^{-2a_1 t} - e^{-a_1 t}), \tag{7}$$

$$w_3(t, t, t) = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \cdot (e^{-3a_1 t} - 2e^{-2a_1 t} + e^{-a_1 t}). \tag{8}$$

На основе выражений (6) и (7) построены графики функций для ЯВ первого порядка  $w_1(t)$  (рис. 4, а) и диагональных сечений ЯВ второго порядка  $w_2(t, t)$  (рис. 4, б) для электропривода ВРЭП-57-005 (номинальный момент – 0.05 Н/м, номинальное напряжение – 24 В, максимальная частота вращения – 4500 об/мин) при различных значениях ВЗ: 0.15 мм (номинальное), 0.195 мм, 0.24 мм и 0.285 мм, соответствующих увеличению ВЗ на 30, 60 и 90 % относительно номинального.

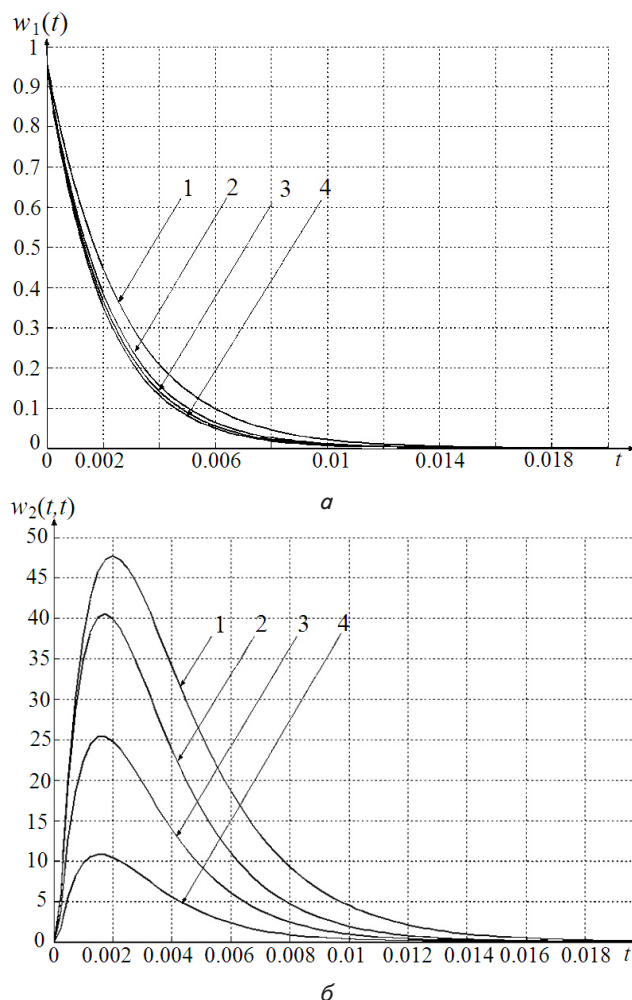


Рис. 4. Графики функций ЯВ: а – ЯВ первого порядка; б – диагональные сечения ЯВ второго порядка; 1 – для номинального ВЗ; 2, 3, и 4 – для ВЗ, увеличенного на 30, 60 и 90 % относительно номинального

Полученные результаты идентификации ВРД в виде модели (1) показывают, что ЯВ первого порядка практически не зависит от изменения величины контролируемого параметра — ВЗ между ротором и статором. Вместе с тем диагональное сечение ЯВ второго порядка существенно изменяется по величине и, следовательно, может использоваться в качестве источника первичных данных при построении диагностических моделей.

## 7. Выводы

Предлагается информационная технология косвенного контроля и диагностики электродвигателей, основанная на использовании данных их идентификации в виде рядов Вольтерра, что обеспечивает повышение достоверности распознавания состояний нелинейных динамических ОК по сравнению с традиционной диагностикой по динамическим характеристикам на основе линейных моделей “вход–выход”.

С помощью метода статистических решений получены оценки вероятности правильного распознавания состояний вентильно–реактивного электродвигателя

для признаков, формируемых на основе ядер первого и второго порядков.

Полученные здесь, с помощью имитационного моделирования, результаты исследования информативности формируемых на основе ядер Вольтерра диагностических признаков, позволяют сделать вывод об эффективности использования непараметрических динамических моделей в виде рядов Вольтерра для диагностирования электродвигателей.

В последние годы значительно возросло число работ по теории нелинейных систем на основе математического аппарата интегростепенных рядов Вольтерра. Это связано, во–первых, с необходимостью располагать моделями реальных объектов контроля и управления повышенной точности, принципиально отличных от линейных моделей и вместе с тем позволяющих развивать по аналогии уже созданную методологическую базу решения задач идентификации и диагностики динамических систем на качественно новом уровне. Во–вторых, благодаря достигнутым высоким показателям производительности вычислительной техники становится вполне возможной реализация новых информационных технологий с использованием этого математического аппарата.

## Литература

1. Korbicz, J. Modeling, Diagnostics and Process Control: Implementation in the DiaSter System [Text] / J. Korbicz, J. M. Kościelny (Ed.). — Berlin: Springer, 2010. — 384 p.
2. Korbicz, J. Fault Diagnosis: Models, Artificial Intelligence, Applications [Text] / J. Korbicz, J. M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa (Eds. ) — Berlin: Springer, 2004. — 920 p.
3. Katipamula, S. Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems — A Review, Part I [Text] / S. Katipamula, M. R. Brambley // HVAC&R RESEARCH. — 2005. — Vol. 11. — N 1, Jan 2005. — P. 3–25.
4. Patton, R. J. Model–Based Fault Diagnosis in Dynamic Systems Using Identification Techniques [Text] / R. J. Patton, C. Fantuzzi, S. Simani. — New York: Springer–Verlag, 2003. — 368 p.
5. Владимирский, А. А. Разработка средств технической диагностики [Текст] / А. А. Владимирский, И. А. Владимирский // Электронное моделирование. — 2007. — Т. 29, № 1. — С. 59–70.
6. Пупков, К. А. Методы классической и современной теории автоматического управления. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления: Учебник для ВУЗов [Текст] / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов. В 5 тт. Т. 2, 2–е изд., перераб. и доп. — М.: Изд–во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. — 638 с.
7. Doyle, F. J. Identification and Control Using Volterra Models [Text] / F. J. Doyle, R. K. Pearson, B. A. Ogunnaike. — Published Springer Technology & Industrial Arts. — 2001. — 314 p.
8. Ту, Дж. Принципы распознавания образов [Текст]: пер. с англ. / Дж. Ту, Р. Гонсалес. Под ред. Ю. И. Журавлева. — М.: Мир. — 1978. — 411 с.
9. Фукунага, К. Введение в статистическую теорию распознавания образов [Текст]: пер. с англ. / К. М. Фукунага. — Наука, 1970. — 368 с.
10. Дубровин, В. И. Методы повышения эффективности процедур нейросетевой диагностики [Текст] / В. И. Дубровин, С. А. Субботин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2002. — № 3. — С. 3–9.
11. Радимов, И. Н. Моделирование режимов работы вентильного индукторного двигателя [Текст] / И. Н. Радимов, В. В. Рымша, О. Е. Малеванный // Электротехника і електромеханіка. — 2002. — № 2. — С. 60–64.
12. Miller, T. J. E. Switched Reluctance Motors and their Control [Text] / T. J. E. Miller. — Magna Physics Publishing and Clarendon Oxford Press, 1993. — 203 p.
13. Pavlenko, V. Chapter 10: Identification of systems using Volterra model in time and frequency domain. In book: «Advanced Data Acquisition and Intelligent Data Processing» [Text] / V. Pavlenko, S. Pavlenko, V. Speransky, V. Haasz, and K. Madani (Eds. ). — River Publishers, 2014. — P. 233–270.
14. Павленко, В. Д. Идентификация нелинейных динамических систем в виде ядер Вольтерры на основе данных измерений импульсных откликов [Текст] / В. Д. Павленко // Электронное моделирование. — 2010. — Т. 32, № 3. — С. 3–18.
15. Павленко, С. В. Применение вейвлет–фильтрации в процедуре идентификации нелинейных систем на основе моделей Вольтерра [Текст] / С. В. Павленко // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — Т. 6, 4 (48). — С. 65–70.
16. Павленко, В. Д. Информационная технология косвенного контроля и диагностики динамических объектов на основе моделей Вольтерра [Текст] / В. Д. Павленко // Труды Одесск. политехн. ун–та. — 2008. — Вып. 2. (30). — С. 194–199.

17. Pavlenko, V. Technology for Data Acquisition in Diagnosis Processes By Means of the Identification Using Models Volterra [Text] / V. Pavlenko, O. Fomin, V. Ilyin // Proc. of the 5th IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2009), Rende (Cosenza), Italy, 2009. — P. 327–332. doi:10.1109/idaacs.2009.5342968
18. Павленко, В. Д. Эффективность методов извлечения диагностической информации из данных идентификации объектов контроля в виде ядер Вольтерра [Текст] / В. Д. Павленко, С. В. Павленко, В. М. Ильин // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — 2011. — Вип. 04 (80). — С. 154–161.
19. Pavlenko, V. Methods For Black–Box Diagnostics Using Volterra Kernels [Text] / V. Pavlenko, A. Fomin . ICIM 2008: Proceedings 2nd International Conference on Inductive Modelling. – Kyiv, Ukraine, 2008— P. 104–107.
20. Павленко, В. Д. Метод диагностики непрерывных систем на основе моделей в виде ядер Вольтерра [Текст] : зб. пр. / В. Д. Павленко, А. А. Фомин, С. В. Павленко, В. М. Ильин // Моделювання та керування станом еколого–економічних систем регіону. — Київ : МННЦІТІС, 2008. — Вип. 4. — С. 180–191.
21. Павленко, В. Д. Вычислительный интеллект и информационная оптимизация систем диагностирования состояний непрерывных объектов [Текст] / В. Д. Павленко, С. В. Павленко // Вычислительный интеллект (результаты, проблемы, перспективы): Материалы 1–й Международной научно–технической конференции. Черкассы. — Маклаут, 2011. — С. 113–114.
22. Файнзильберг, Л. С. Математические методы оценки полезности диагностических признаков [Текст] / Л. С. Файнзильберг. — Киев: Освита України, 2010. — 152 с.
23. Павленко, В. Д. Идентификация в виде ядер Вольтерра вентильно–реактивного двигателя для целей диагностики [Текст] / В. Д. Павленко, З. П. Процына // Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. — 2006. — Вип. 66. — С. 354–355.

*Розглянута проблема нормування викидів відпрацьованих газів автотранспортних засобів і їх інструментального контролю за допомогою газоаналізаторів і димомірів. Проведено аналіз особливостей застосування західноєвропейських стандартів серії Євро. Розглянуті українські стандарти, що нормують рівні викидів автомобілів і особливості їх застосування. Надано аналіз відмінностей стандартів Євро і українських. Приведені дані про технічні характеристики сучасних газоаналізаторів і димомірів, фізичні особливості методів вимірювання, діапазони, похибку*

*Ключові слова: автомобіль, викид, норматив, євростандарт, газоаналізатор, стенд, димомір, діапазон, похибка, регламент*

*Рассмотрена проблема нормирования выбросов отработанных газов автотранспортных средств и их инструментального контроля с помощью газоанализаторов и дымомеров. Проведен анализ особенностей применения западноевропейских стандартов серии Евро. Рассмотрены украинские стандарты, нормирующие уровни выбросов автомобилей и особенности их применения. Дан анализ различных стандартов Евро и украинских. Приведены данные о технических характеристиках современных газоанализаторов и дымомеров, физические особенности методов измерения, диапазоны, погрешность*

*Ключевые слова: автомобиль, выброс, норматив, евростандарт, газоанализатор, стенд, дымомер, диапазон, погрешность, регламент*

УДК 543.27; 533.2

## НОРМУВАННЯ ВИКИДІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛІВ ТА ПЕРЕХІД ДО СТАНДАРТІВ ЄВРО

**І. В. Приміський**

Технічний директор  
ТОВ «Автокоприлад»  
вул. Межигірська, 82 А,  
м. Київ, Україна, 04080  
E-mail: avtoeko@faust.net.ua

### 1. Вступ

Збільшення міського населення за останні десятиріччя призвело до стрімкого зростання кількості автомобілів. За даними ООН на тисячу жителів у таких країнах як США, ФРН, Франція, Великобританія зареєстровано від 450-600 автомобілів, у Польщі –

320, Росії – 210, Україні – 160. У світі зареєстровано близько 1 млрд. автомобілів, які кожен тиждень згоряє 50 млн. тон бензину. Автомобільний транспорт є джерелом постійно зростаючого техногенного навантаження на довкілля.

Нормування і контроль викидів є загальносвітовою і європейською проблемою і саме країни ЄС розробили