

Міністерство  
освіти і науки  
України



Міністерство освіти і науки України

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України

Механіко-технологічний факультет

НДІ техніки і технологій

Кафедра транспортних технологій та засобів у АПК

Представництво Польської академії наук в Києві

Польська академія наук відділення в Любліні

Академія інженерних наук України

Українська асоціація аграрних інженерів



**ЗБІРНИК ТЕЗ  
доповідей  
III Міжнародної  
науково-практичної конференції  
«Автомобільний транспорт та інфраструктура»**



AutoTransport and Infrastructure

23-25 квітня 2020 року  
м. Київ

УДК 629.113

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЯ**

**Бажинов Алексей Васильевич**, д.т.н., проф.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

[alexey.bazhinov@gmail.com](mailto:alexey.bazhinov@gmail.com)

**Заверуха Руслан Романович**, аспирант

*Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя*

[ruslan.zaveruha@email.ua](mailto:ruslan.zaveruha@email.ua)

Идентификация нелинейной зависимости по экспериментальным данным традиционными методами оказывается трудновыполнимой задачей и сопряжена со значительными сложностями при сборе достаточного объема данных и трудностями вычислительного характера.

Вместе с тем существуют методы, позволяющие успешно идентифицировать зависимости сложных функций на основании экспериментальных исследований при ограниченном количестве данных. Среди таких подходов можно выделить использование искусственных нейронных сетей и систем нечеткого вывода [1, 2].

К достоинствам последних можно отнести возможность формализации и использования априорной информации об изучаемых явлениях. Для выбора наиболее обоснованного подхода к аппроксимации требуемой зависимости проведем исследования возможностей нечетких систем, искусственных нейронных и гибридных нейронных сетей.

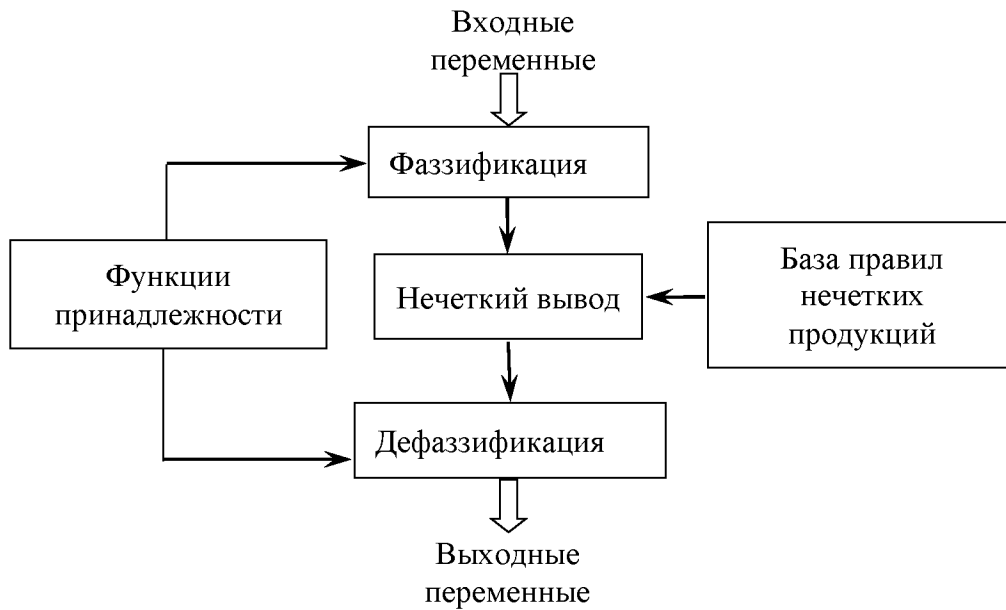


Рис. 1 – Структура нечеткой модели Мамдани

Среди различных систем нечёткого вывода используем систему Мамдани (рис. 1), как наиболее прозрачную с точки зрения формулировки правил нечётких продукций [3, 4]. Фаззификация входных переменных  $I_{st}$ ,  $U_{ab}$ ,  $n_{kv}$ ,  $T_m$ ,  $V_a$  выполняется путем задания их терм-множествами  $I_{st} = \{L, LM, M, MB, B\}$ ,  $U_{ab} = \{L, M, B\}$ ,  $n_{kv} = \{L, M, B\}$ ,  $T_m = \{L, M, B\}$ , где термам присвоены следующие значения: L – «малое», LM – «меньше среднего», M – «среднее», MB – «больше среднего», B – «большое». Выходной переменной системы является  $P_k = \{L, LM, M, MB, B\}$ . Термы могут быть представлены нечеткими множествами, использующими гауссову функцию принадлежности:

$$\mu(u) = \exp\left(-\frac{(u-b)^2}{2c^2}\right), \quad (1)$$

где  $u$  – нормированное значение соответствующей переменной;  $b$  – координата максимума;  $c$  – коэффициент концентрации.

Достоинством данной функции принадлежности является то, что для её задания необходимо только два параметра:  $b$  и  $c$ .

Дефаззификация выходных переменных, заключающаяся в преобразовании нечёткого множества в чёткое число, выполняется при помощи метода центра тяжести

$$\bar{P}_k \text{ mod} = \frac{\int_0^1 \bar{P}_k \mu_P(\bar{P}_k) d\bar{P}_k}{\int_0^1 \mu_P(\bar{P}_k) d\bar{P}_k}, \quad (2)$$

где  $\bar{P}_k$  – нормированное значение выходной переменной;  $\mu_P(\bar{P}_k)$  – степень принадлежности элемента  $\bar{P}_k$  нечёткому множеству.

Для синтеза нечёткой системы идентификации зависимости  $P_k = f(I_{st}, U_{ab}, n_{kv}, T_m)$  будем использовать метод двухэтапной идентификации нелинейной зависимости Ротштейна.

Согласно данного метода, сначала формируется база нечетких правил вида «Если-то» (структурная идентификация), после чего выполняется параметрическая идентификация зависимости путем нахождения таких весов правил и параметров функций принадлежности нечетких термов, которые минимизируют отклонение результатов нечеткого моделирования от экспериментальных данных.

Параметрическая идентификация модели выполняется на массиве экспериментальных данных, полученных при исследовании гібридної силової установки Toyota Prius.

После предварительной обработки результатов экспериментов из полученных данных была сформирована матрица, каждая из 313 строк которой содержит результаты отдельного замера параметров  $I_{st}$ ,  $U_{ab}$ ,  $n_{kv}$ ,  $T_m$  и  $P_k$ , соответствующих моменту движения до швидкості  $0,3 V_{max}$ . Массив данных был разделен на обучающую и контрольную выборки в отношении 2:1. В качестве входных переменных нечеткой модели использовались нормированные значения  $\bar{I}_{st}$ ,  $\bar{U}_{ab}$ ,  $\bar{n}_{kv}$ ,  $\bar{T}_m$  из обучающей выборки. Нормирование, имевшее целью приведения значений входных переменных в интервал  $[0, 1]$ , выполнялось согласно выражению:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - \min\{x\}}{\max\{x\} - \min\{x\}}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где  $\bar{x}$  – нормированное значение параметра,  $x$  – измеренное значение параметра,  $\min\{x\}$ ,  $\max\{x\}$  – минимальное и максимальное значения соответствующего множества значений параметров.

В работе приведен разработанный метод оценки технического состояния ГСУ автомобиля, который использует искусственные нейронные сети и системы нечеткого вывода для идентификации зависимости коэффициента технического состояния от диагностических параметров при диагностировании.

### Литература

1. Бажинов О.В., Бажинова Т.О., Кравцов М.М. Основи ефективного використання екологічно-чистих автомобілів: монографія. Х.: ФОП Панов А.М., 2018. – 200 с. ISBN 978-617-7722-30-3
2. Бажинова Т.О. Характеристика розв'язання неформалізованих задач стосовно до транспортних засобів / Бажинова Т.О., Берус С.В. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: зб. наук. пр. 2019. Вып. 198. С. 388–392.
3. Бажинова Т.О. Інтелектуальна інформаційно-керувальна система гібридних та електромобілів. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. пр.* 2019. Вип. 86. С. 148-155.
4. Мигаль В.Д. Бортові системи інтелектуального автомобіля / Мигаль В.Д., Бажинова Т.О., Іванов А.А. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація» 16–17 травня 2019 р., м. Харків. С. 95–96.