

РАСЧЕТ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАСТРАИВАЕМОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Кулеш Ю.О.¹, Беляускене Е.А.², Боловин Е.В.³

¹СТИ НИЯУ МИФИ, гр. Д-554,

e-mail: yok13@tpu.ru;

¹ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОАР/ИШИТР, инженер,

e-mail: yok13@tpu.ru;

²ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОММФ/ИЯТШ, старший преподаватель,

e-mail: eam@tpu.ru;

³ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ОЭЭ/ИШЭ, доцент,

e-mail: orange@tpu.ru

Информационно-измерительная система (ИИС) нестационарного динамического объекта представляет собой комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенный для автоматического получения, обработки и представления информации о состоянии и характеристиках объекта, который изменяется во времени. Разработка моделей ИИС является необходимым условием для повышения эффективности, надежности и точности работы таких систем [1]. Модели позволяют выявлять зависимости между переменными, прогнозировать поведение систем в условиях изменяющихся параметров и внешних воздействий, адаптироваться к изменяющимся условиям, оптимизировать ресурсы и обеспечивать высокое качество измерений и управления процессами в реальном времени. Одним из наиболее распространенных методов моделирования ИИС нестационарных динамических объектов является построение и настройка регрессионных моделей методом наименьших квадратов (МНК). Проверка адекватности построенной регрессионной модели является важным этапом в статистическом анализе и позволяет определить, насколько хорошо модель описывает эмпирические данные и может ли она быть использована для прогнозирования [2].

Работа посвящена исследованию на адекватность и сравнению между собой трех регрессионных моделей. Для создания моделей использовались данные ($N=1023$ замеров, что соответствует рациональной рекомендации $N > 200$ [3, с. 101, 102]), снятые с датчика тока одной из фаз электродвигателя АМ с ФЗ МТН011-6У1, справочные данные которого внесены в табл. 1.

Таблица 1

$P_{\text{ном}}, \text{Вт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	$I_{\text{ном стат}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном рот}}, \text{А}$	$U_{\text{ном рот}}, \text{В}$	КПД, %	$\cos\varphi$
1400	890	4,9	220/380	8,8	114	65	0,67

На основании визуальной оценки зависимости тока от времени (рис. 1) были выбраны модели из класса многочленов Фурье:

$$F_1(A_1, B_1, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t), \quad (1)$$

$$F_2(A_1, B_1, A_2, B_2, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t) + B_2 \cos(3\omega t), \quad (2)$$

$$F_3(A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, t) = A_1 \sin(\omega t) + B_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t) + B_2 \cos(3\omega t) + A_3 \sin(5\omega t) + B_3 \cos(5\omega t), \quad (3)$$

где угловая частота $\omega = 2\pi f$, $f = 50 \text{ Гц}$.

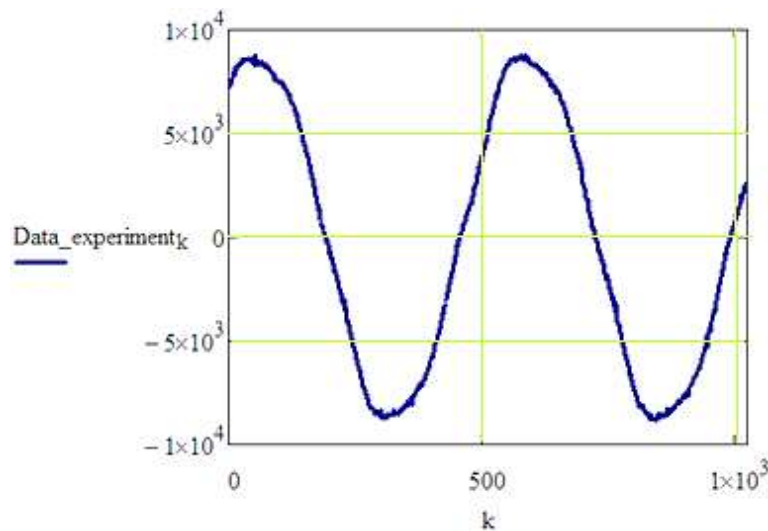


Рис. 1. Данные, полученные с датчика тока

Коэффициенты регрессионных моделей были получены с использованием метода наименьших квадратов (МНК) и проекционного алгоритма Качмажа.

Оценка качества построенных моделей выполнена на основе анализа регрессионных остатков. Оценки коэффициентов, полученных по методу наименьших квадратов, являются состоятельными, несмещенными и эффективными, если остатки $\varepsilon_k = y_k - \hat{y}_k$, где y_k – эмпирические данные, $\hat{y}_k$ – данные, рассчитанные по модели, независимы и подчиняются нормальному закону распределения с математическим ожиданием $E[\varepsilon_k] = 0$. Начинать анализ адекватности построенной модели следует с проверки гипотезы о нормальном распределении остатков. В настоящем исследовании на основании визуального анализа гистограммы и выборочной функции распределения, правила трех сигм, сравнения средних (мода, медиана, математическое ожидание) и критерия Пирсона был сделан вывод о том, что нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу на уровне значимости $\alpha = 0,98$. Гипотеза о равенстве математического ожидания остатков нулю согласуется с эмпирическими данными (уровень значимости $\alpha = 0,95$) на основании критерия о равенстве математических ожиданий эмпирических данных и данных, полученных по формулам (1)–(3) (дисперсии неизвестны, гипотеза о равенстве дисперсий принимается по критерию Фишера) [4].

Коэффициент детерминации является статистической мерой для оценки качества регрессионной модели и показывает, какая доля вариации зависимой переменной объясняется независимыми переменными в модели

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

где y_k – эмпирические данные, $\hat{y}_k$ – данные, рассчитанные по модели, $\bar{y}$ – математическое ожидание.

Коэффициент детерминации может принимать значения от 0 до 1, при этом значение:

- $R^2 > 0,8$ указывает на хорошее соответствие модели эмпирическим данным;
- $R^2 > 0,5$ означает удовлетворительное соответствие модели;
- $R^2 < 0,5$ указывает на то, что модель плохо объясняет данные и может быть неэффективной.

Вычисленные значения коэффициента детерминации для моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Модель	1	2	3
Значение R^2	0,994	0,995	0,996

Анализ остатков каждой модели показал, что они распределены случайным образом вокруг нуля, не демонстрируют систематических отклонений или паттернов, что подтверждает правильность выбранной формы моделей и отсутствие гетероскедастичности. Все три модели обеспечивают надежные результаты и могут быть использованы для управления диагностики и идентификация параметров электродвигателем в различных режимах работы. Высокое качество предсказаний позволяет использовать эти модели для оптимизации процессов управления и повышения эффективности работы электроприводов. Апостериорная проверка косвенно показала справедливость принятого допущения по рекомендации выбора размера выборки $N > 200$ [3].

Список литературы

1. Ефименко С.В., Татаринов Д.Е., Клавдиев А.А., Трушников В.Е. Обоснование метода оценки адекватности моделей режимов работы асинхронных электродвигателей с векторной системой управления. – Текст: электронный // ГИАБ. – 2017. – № 2. – URL: https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/62_74_2_2017.pdf (дата обращения: 18.11.2024).
2. Боловин Е.В. Критический экспертный анализ методов идентификации параметров асинхронных двигателей. – Текст: электронный // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriticheskiy-ekspertnyy-analiz-metodov-identifikatsii-parametrov-asinhronnyh-dvigatelay> (дата обращения: 18.11.2024).
3. Сажина О.С. Основы математической обработки наблюдательных и экспериментальных данных для астраномов. – Текст: электронный // ГИАБ. – 2020. – URL: https://www.sai.msu.ru/ao/speccourses/posobiya/Sazhina_MON2021.pdf (дата обращения: 18.11.2024).
4. Глазырин А.С. и др. О рациональной размерности базиса регрессионной модели для задачи адаптивного краткосрочного прогнозирования состояния дискретной нестационарной динамической системы. – Текст: электронный // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – № 11. – URL: <https://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/4482> (дата обращения: 19.11.2024).