

Метод обработки рабочей характеристики электромагнита для прогнозирования его надежности

С.А. Гладких, А.М. Ланкин, М.В. Ланкин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск

Аннотация: Рассматривается разработка метода обработки вебер-амперных характеристик электромагнитных приводов. Вебер-амперные характеристики преобразуются в ампер-веберные, отражаются по максимальному значению потокосцепления и интерполируются по одинаковым для всех характеристик значениям тока. Полученные таким образом характеристики преобразуются методом главных компонент и представляются точкой в трехмерном пространстве. По расположению точек центра масс и дисперсии групп характеристик одного электромагнитного привода делается прогноз о его состоянии к моменту следующей проверки по регламенту.

Ключевые слова: прогнозирование, надежность, электромагнитный привод, вебер-амперная характеристика, главные компоненты, потокосцепление, обработка данных, рабочий цикл, неисправность, Statistica, облако точек.

Введение

Электромагнитные приводы широко применяются в быту и промышленности: как всевозможные замки, муфты; в составе клапанов, управляющих потоками жидкостей или газов; в робототехнике; системах сигнализации и т.д. [1]. Являясь невосстанавливаемыми устройствами в соответствии с ГОСТ 27.003-2016, электромагнитные приводы требуют своевременной диагностики состояния. Чтобы уменьшить вероятность выхода из строя электромагнита в промежутке между регламентными проверками, необходим метод прогнозирования его надежности. Прогнозирование надежности широко применяется на технических объектах [2, 3]. В данной статье рассматриваются основы такого метода, а также алгоритм его применения.

По рабочей характеристике электромагнита, представленной как зависимость потокосцепления от тока (рис. 1), протекающего в его катушке, визуально можно определить в какой стадии рабочего цикла находится электромагнит и насколько этот цикл исправно исполняется [4, 5]. Однако,

для обработки методами, позволяющими сжимать размерность и находить значимые изменения характеристики в процессе регулярных технических проверок, исходный вид характеристики не подготовлен.

Разработанный метод обработки рабочей характеристики электромагнита, а также результаты обработки, представлены в этой статье.

Методы

Первичным этапом обработки является взаимная перемена оси абсцисс и оси ординат, вследствие чего характеристика принимает вид зависимости тока (i) от потокосцепления (Ψ) (рис. 2) [6].

$$\Psi(i) \rightarrow i(\Psi).$$

Необходимость этого заключается в том, что вектор тока несколько раз за рабочий цикл электромагнита меняет свое направление (проявляясь как «складки» на поверхности графика), что приводит к появлению нескольких значений потокосцепления, соответствующих одному значению тока. Для последующей обработки такие места необходимо исключить, либо вводить третье измерение (временное), что усложнит процесс измерения и обработки. При этом потокосцепление меняет направление вектора всего единожды, что значительно упрощает работу в этой проекции [7].

Полученные таким образом значения потокосцепления необходимо отразить, начиная с места его максимального значения (рис. 3). Отражение происходит по следующему алгоритму:

$$\Psi'_{max+i} = \Psi_{max} + \Psi_{max} - \Psi_{max+i},$$

где Ψ'_{max+i} – новое (отраженное) i -е значение потокосцепления; Ψ_{max+i} – исходное i -е значение потокосцепления, идущего после исходного максимального значения потокосцепления; Ψ_{max} – максимальное значение потокосцепления в исходном наборе данных.

Для последующей обработки также необходимо, чтобы значения тока имели равную дискретизацию, начальное и конечное значение, что, соответственно, сделает возможным сравнение результатов в конкретных точках $i_d = d \cdot \Delta i$:

$$\Delta i = i_{\Psi_{mm}} / n.$$

где $i_{\Psi_{mm}}$ – значение тока, соответствующее последней точке потокосцепления в измерении с наименьшим максимальным значением потокосцепления; n – количество точек; d – номер точки (от 0 до n).

Если исходные данные измерялись с дискретизацией по времени, то необходимо интерполировать результаты.

На графиках (рис. 1-3) показана работа двух разных электромагнитов при воздействии на их якорь сил от 0 Н до 300 Н с шагом 80 Н. Синими и желтой линиями отображены характеристики первого электромагнита (Nr26), зелеными и красной – второго (Nr27). Желтая и красная линия отражают работу каждого электромагнита при воздействии на него силы в 300 Н.

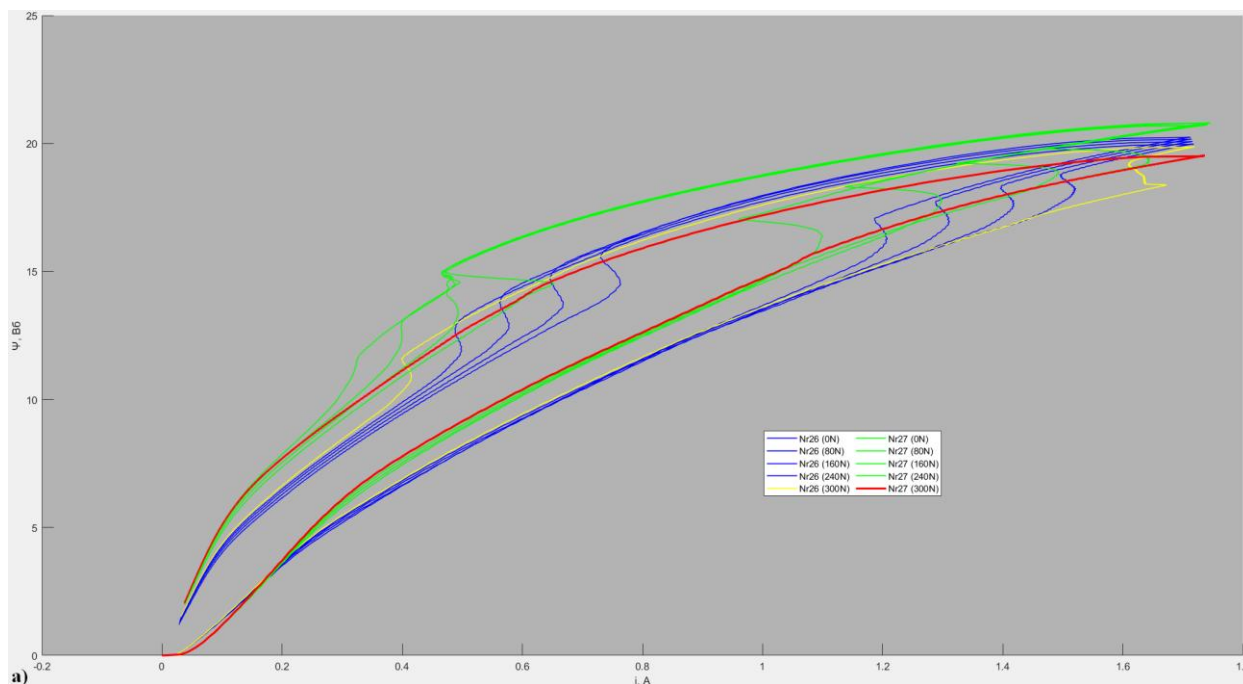


Рис. 1. – Вебер-амперные характеристики двух электромагнитов при различном силовом противодействии движению якоря.

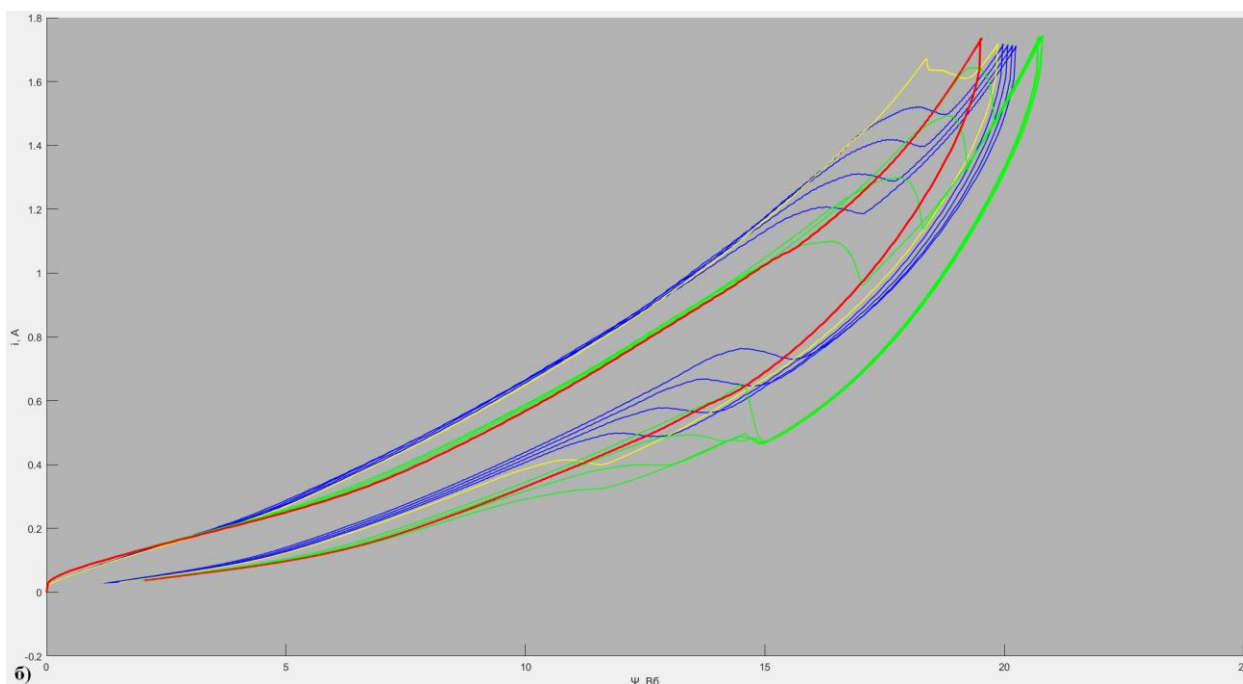


Рис. 2. – Ампер-веберные характеристики двух электромагнитов при различном силовом противодействии движению якоря.

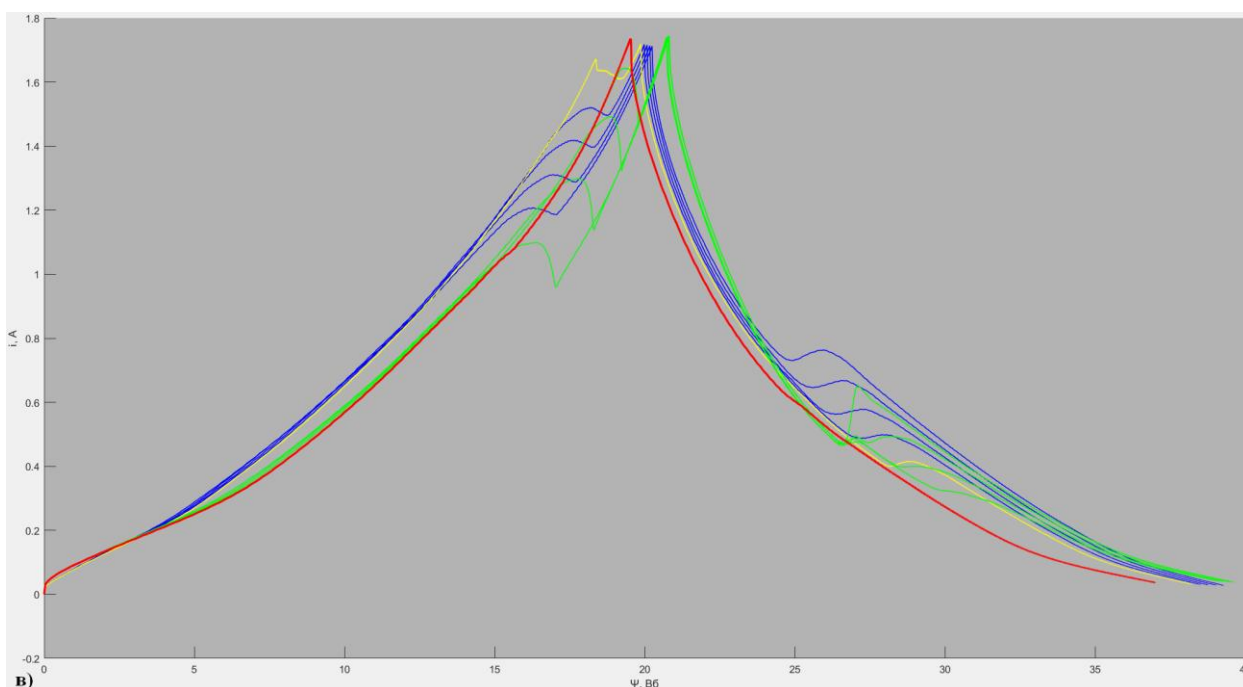


Рис. 3. – Отраженные ампер-веберные характеристики двух электромагнитов при различном силовом противодействии движению якоря.

Как видно из графиков, второй электромагнит при максимальной силе не сработал [8].

Подготовленные таким образом данные (рис. 4) для 10-ти различных электромагнитов (PC26-PC35) с 5 силовыми воздействиям (0N-300N) на каждом, готовы к последующей обработке и анализу.

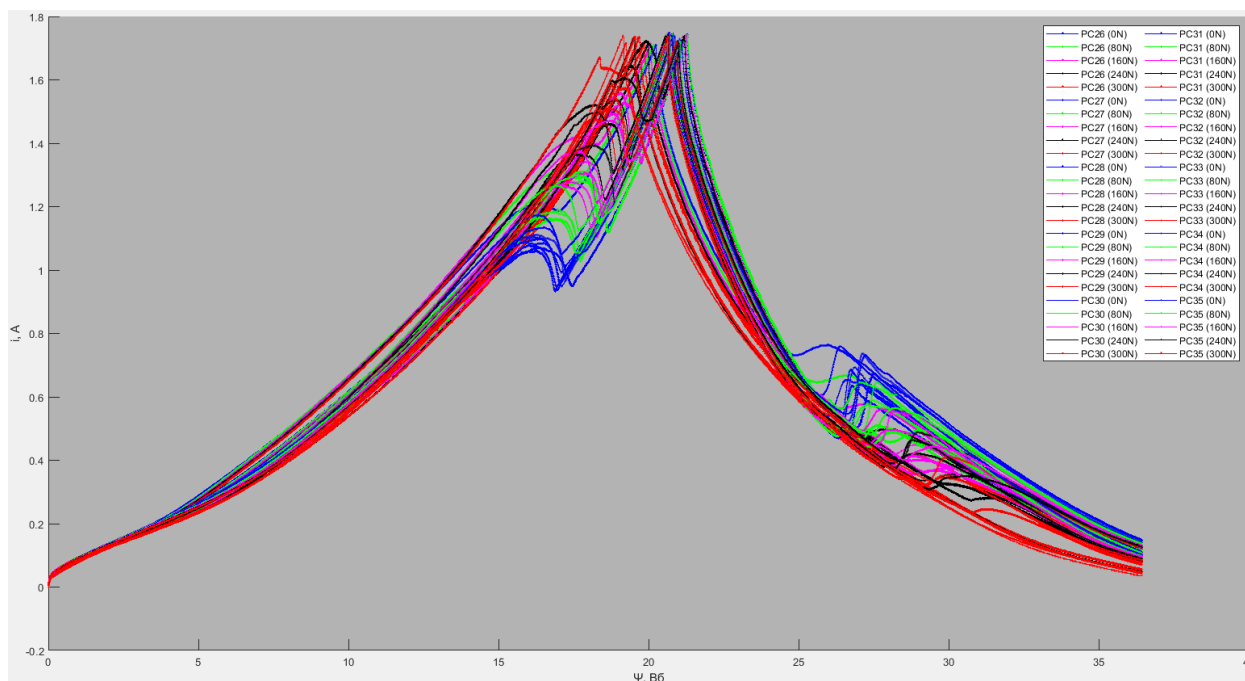


Рис. 4. – Подготовленные к дальнейшей обработке графики характеристик электромагнитов.

Применим к ним метод главных компонент [9, 10]. Использование модуля «Principal components and Classification» в программном продукте Statistica показывает, что применение трех главных компонент позволяет покрыть 99,6% дисперсии. Взяв это количество главных компонент, построено облако точек в трехмерном пространстве главных компонент, представляющих характеристики электромагнитов (рис. 5).

В этом облаке видно движение характеристик при увеличении нагрузки. Это движение в проекции первой и второй главной компоненты образует по форме «бумеранг» (рис. 6), нижний край которого отражает работу электромагнитов без нагрузки или с небольшой нагрузкой, середина наполнена характеристиками электромагнитов с нагрузками, требующими большой ток для работы, а верхний край «бумеранга» содержит точки с

максимальным усилием, в которых электромагниты не совершают рабочий цикл («толстые» красные символы) или их характеристики значительно искажены в сравнении с изначальными.

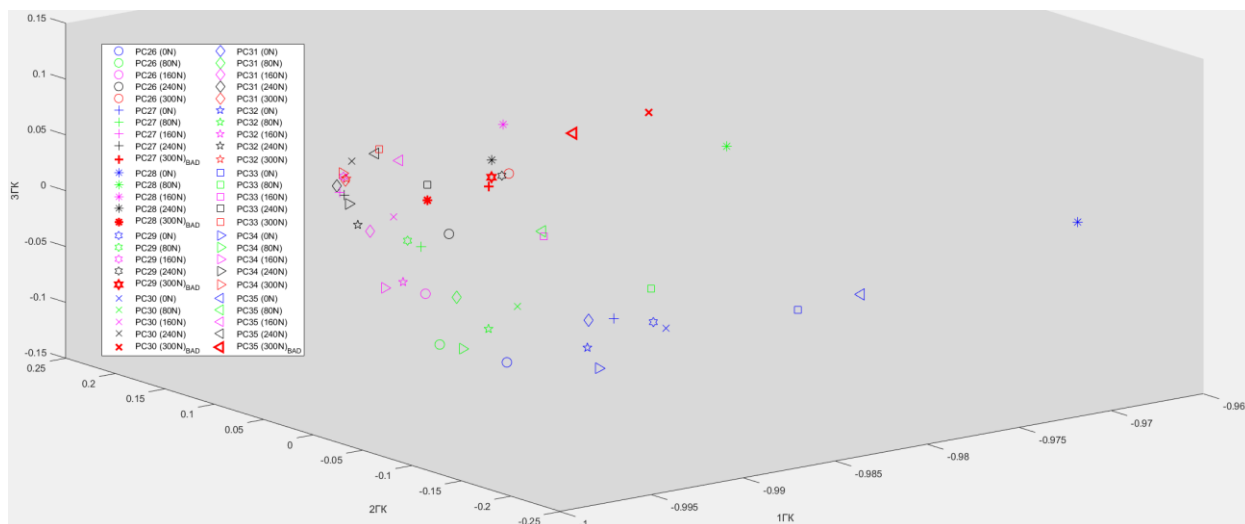


Рис. 5. – Характеристики электромагнитных приводов в трехмерном пространстве первых трех главных компонент.

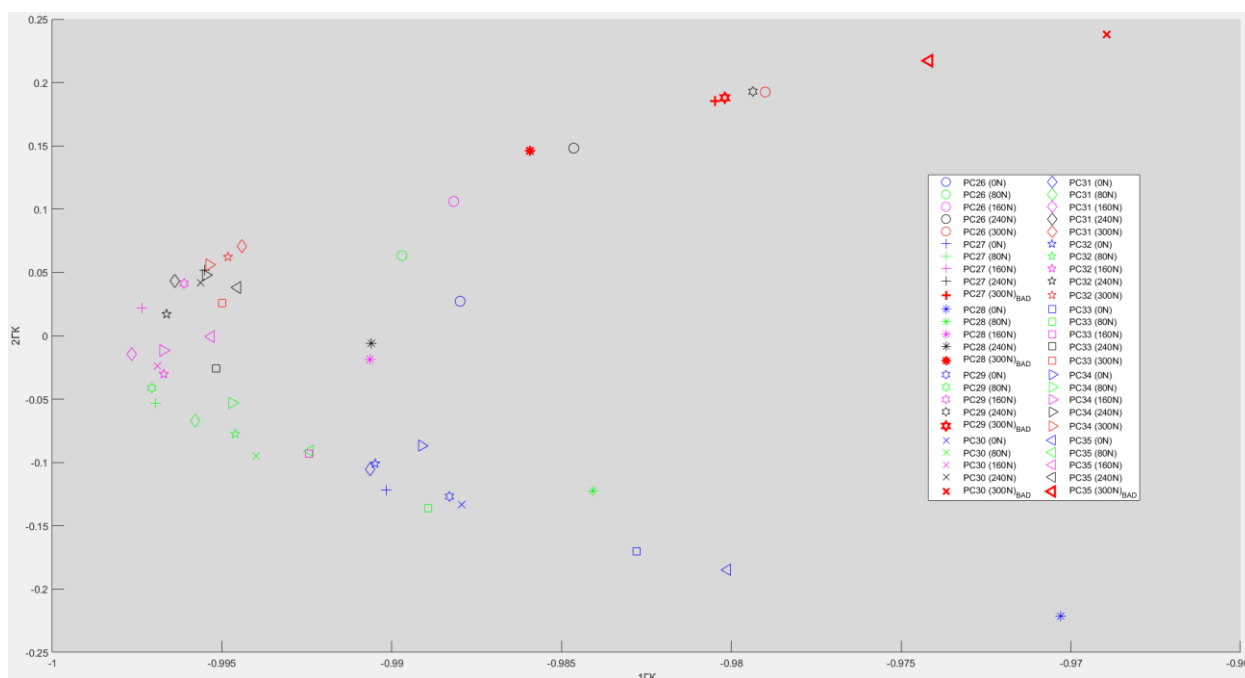


Рис. 6. – Характеристики электромагнитных приводов в пространстве 1-й и 2-й главных компонент.

Результаты

Применение такого метода обработки позволяет организовать следующий алгоритм прогнозирования надежности электромагнитных приводов:

1. Измерение рабочей характеристики электромагнита (зависимости потокосцепления от тока).
2. Обработка характеристик описанным выше методом без перевода в пространство главных компонент.
3. В случае, если это первое измерение для данного электромагнитного привода, полученные результаты сохраняются для последующих расчетов, а алгоритм начинается сначала при следующей регламентированной проверке.
4. Перевод групп характеристик, измеренных через заданный промежуток времени, в пространство главных компонент и получение облаков точек, каждая из которых представляет из себя измеренные в разное время характеристики.
5. Нахождение координат центра масс и дисперсий у каждого из облаков точек в пространстве главных компонент, отражающих измеренные характеристики в разное время.
6. Определение сдвига центра масс и изменение дисперсий облаков точек.
7. Построение регрессии по центрам масс и изменениям дисперсий.
8. Прогнозирование времени пересечения полученных линий регрессии и критических уровней значений центра масс и дисперсий (время выхода из строя электромагнитного привода).
9. Если прогнозируемое время выхода из строя электромагнитного привода, наступает позже момента проведения регламентных испытаний, то регламентные испытания проводят по плану, если раньше, то регламентный

период сокращают таким образом, чтобы испытания были проведены раньше прогнозируемого момента выхода из строя электромагнитного привода.

10. Повторение пунктов 1-9.

Заключение

Разработанный метод обработки исходных данных вебер-амперной характеристики позволяет применить методы анализа (главные компоненты, вейвлет-анализ и др.) для выявления искажения характеристик рабочего цикла электромагнитного привода.

В процессе накопления по описанному алгоритму данных более точно проявляется траектория движения точек в пространстве главных компонент, что позволяет с большей вероятностью прогнозировать время перехода электромагнитного привода в неисправное состояние.

Литература

1. Nesbitt B. Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 576 p.
2. Браганец С.А., Гольцов А.С., Савчиц А.В. Система адаптивного управления и диагностики сервомоторов направляющего аппарата гидроагрегата с поворотно-лопастной турбиной. // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1807
3. Браганец С.А., Гольцов А.С., Савчиц А.В. Система диагностики технического состояния главного золотника и сервомотора электрогидравлического преобразователя системы управления открытием направляющего аппарата гидроагрегата Волжской ГЭС. // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1912
4. Киселев В.И., Копылов А.И., Кузнецов Э.В., Герасимов В.Г. Электротехника и электроника. Книга 2. Электромагнитные устройства и



электрические машины. М: ООО «Торгово-Издательский Дом «Арис», 2010. 271 с.

5. Hayt W., Buck J. Engineering Electromagnetics. McGraw-Hill Higher Education, 2012. 608 p.

6. Глотова М. Ю. Математическая обработка информации: учебник и практикум для бакалавров. М.: Издательство Юрайт, 2015. — 344 с.

7. Kallenbach E., Eick R., Quendt P., Ströhla T., Feindt K., Kallenbach M., Radler O. Elektromagnete. Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung. // Ilmenau: Springer Vieweg, 2012. – 436 с.

8. Michalowsky L., Schneider J. Magnettechnik. Grundlagen, Werkstoffe. Anwendungen. 3. Aktualisierte Auflage. // Essen: Vulkan-Verlag GbH, 1994. – 363 с.

9. Мхитарян В.С. Эконометрика: учебник. М.: Издательство Проспект, 2014. 382 с.

10. Ланкин А.М. Проецирование динамических характеристик намагничивания электромагнитов методом главных компонент // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 9-3. – С. 420-424.

References

1. Nesbitt B. Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 576 p.

2. Braganets S.A., Gol'tsov A.S., Savchits A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1807.

3. Braganets S.A., Gol'tsov A.S., Savchits A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1912.

4. Kiselev V.I., Kopylov A.I., Kuznetsov E.V., Gerasimov V.G. Elektrotehnika i elektronika. Kniga 2. Elektromagnitnye ustroystva i elektricheskie mashiny [Electrical and Electronics. Book 2. Electromagnetic



devices and electrical machines]. M: ООО «Torgovo-Izdatel'skiy Dom «Aris», 2010. 271 p.

5. Hayt W., Buck J. Engineering Electromagnetics. McGraw-Hill Higher Education, 2012. 608 p.

6. Glotova M. Yu. Matematicheskaya obrabotka informatsii: uchebnik i praktikum dlya bakalavrov [Mathematical information processing: textbook and workshop for bachelors]. M.: Izdatel'stvo Yurayt, 2015. 344 p.

7. Kallenbach E., Eick R., Quendt P., Ströhla T., Feindt K., Kallenbach M., Radler O. Elektromagnete. Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung. [Electromagnets. Basics, calculation, design and application.] Ilmenau: Springer Vieweg, 2012. 436 p.

8. Michalowsky L., Schneider J. Magnettechnik. Grundlagen, Werkstoffe. Anwendungen. 3. Aktualisierte Auflage. [Magnet technology. Basics, materials. Applications. 3rd updated edition.] Essen: Vulkan-Verlag GbH, 1994. 363 p.

9. Mkhitarian V.S. Ekonometrika: uchebnik [Econometrics: a textbook]. M.: Izdatel'stvo Prospekt, 2014. 382 p.

10. Lankin A.M. Modern science-intensive technologies. 2016. № 9-3. pp. 420-424.