

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

УДК 621.039.5:681.5

doi: 10.26583/gns-2022-03-05

**ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ПРИВОДОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ
ЭНЕРГБЛОКОВ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

© 2022 Абидова Елена Александровна¹, Пугачева Ольга Юрьевна²

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

¹e-abidova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0258-5543>

²OYPugacheva@mephi.ru

Аннотация. В работе описывается модель, которая подтверждает достоверность методики диагностики приводов системы управления и защиты (СУЗ) энергоблоков реакторной установки. Модель имитирует работу объекта диагностирования, который генерирует сигналы, регистрируемые, сохраняемые и обрабатываемые системой диагностики приводов СУЗ. Указанная система разработана НИЯУ МИФИ в качестве пилотного образца, предназначенного для диагностики привода аварийного, регулирующего, компенсирующего (АРК) четвертого блока Нововоронежской АЭС и линейного шагового привода (ЛШП) пятого блока НВАЭС. Основным требованием к системе является способность выявлять наиболее часто встречающиеся дефекты приводов АРК и ЛШП. Система обладает многофункциональностью, мобильностью, компактностью и удобством в использовании, а ее технико-экономические показатели выше запатентованных объектов промышленной собственности, что свидетельствует о перспективности ее использования для контроля технического состояния электроприводов СУЗ с целью повышения безопасности АЭС. Разработана методика, которая устанавливает требования к содержанию и организации процедуры диагностирования приводов СУЗ с использованием комплексной информационной системы контроля технического состояния приводов СУЗ энергоблоков с реактором ВВЭР-440. Настоящая методика распространяется на приводы СУЗ типа АРК и ЛШП, находящиеся в эксплуатации на АЭС и предназначена для специалистов, использующих систему диагностики по назначению. Валидация методики, положенной в основу работы системы, осуществляется путем обработки сигналов, имитирующих работу приводов в условиях наиболее часто встречающихся дефектов. В статье приводятся примеры симитированных сигналов, содержащих предусмотренные методикой диагностические признаки. Внедрение валидированной системы и методики позволит упростить задачу сбора, анализа, сравнения данных о приводах во время эксплуатации на АЭС, а также позволит повышать квалификацию персонала, что должно положительно сказаться на увеличении надежности и ресурсе оборудования.

Ключевые слова: привод СУЗ, система диагностики, диагностический сигнал, моделирование систем, диагностические признаки, валидация.

Для цитирования: Абидова Е.А., Пугачева О.Ю. Валидация методики контроля технического состояния приводов СУЗ энергоблоков РУ с использованием моделирования// Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 3(44). – С. 56-64. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-03-05>

Поступила в редакцию 11.06.2022

После доработки 29.08.2022

Принята к публикации 05.09.2022

Актуальность проблемы

Безопасность эксплуатации АЭС во многом обеспечивается надежностью систем управления и защиты реакторной установки (СУЗ РУ). В комплексе средств защиты СУЗ занимает важное место, обеспечивая поддержание необходимых штатных режимов работы и безопасность в аварийных ситуациях.

СУЗ РУ предназначена для пуска, регулирования мощности, компенсации избыточной реактивности и остановки реактора (в том числе, в аварийных ситуациях) путем введения в активную зону или выведения из неё поглощающих стержней. Исполнительным механизмом СУЗ РУ являются приводы СУЗ – устройства, предназначенные для изменения положения органа регулирования – поглощающих стержней. Контроль технического состояния приводов СУЗ имеет важное значение для безопасной эксплуатации АЭС. Он может осуществляться как в оперативном режиме, так и с использованием испытательных стендов.

Обзор информационных источников

Средства оперативного контроля технического состояния приводов СУЗ функционально ограничены из-за места расположения и условий эксплуатации приводов (работа в теплоносителе водо-водяного реактора под давлением). Контроль их состояния возможен только встроенными (штатными) средствами. Поэтому основным и, по существу, единственным диагностическим параметром является сигнал штатного датчика положения рабочего органа, по которому можно судить не только о его положении, но и о правильной отработке приводом команд управления [1].

Существенно большие возможности имеют системы контроля, используемые на испытательных стендах приводов СУЗ, которые есть на каждом блоке с реакторами ВВЭР. Основным направлением совершенствования подобных систем является, во-первых, автоматизация процессов сбора, регистрации, хранения и обработки информации, во-вторых – использование нескольких независимых каналов информации о состоянии привода: виброакустических шумов, напряжений и токов в электроприводе, температур обмоток и контактов [2, 3].

Существующие приборы и системы [2-5] выполняют в той или иной мере только отдельные функции предлагаемой системы, не предоставляют пользователю в автоматизированном режиме комплексную информацию о техническом состоянии СУЗ. При этом подавляющая часть аналогов контролирует только электрические параметры состояния.

Система контроля технического состояния приводов СУЗ

Институтом промышленных ядерных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) разработан и изготовлен опытно-промышленный образец комплексной информационной системы контроля технического состояния и ресурсных характеристик приводов СУЗ энергоблоков РУ ВВЭР-440 (далее КИС СУЗ или Система). Объектом диагностических испытаний являются привода СУЗ типа АРК и ЛШП. Система предназначена для автоматизации функций сбора, хранения, обработки, анализа и представления комплексной информации о техническом состоянии и ресурсных характеристиках приводов СУЗ. Применение КИС СУЗ не предполагает вмешательства в работу штатных систем и дополняет возможности стендов (стапелей) для испытаний СУЗ техническими и программными средствами получения, хранения и анализа диагностической информации.

Внешний вид опытно-промышленного образца Системы представлен на рисунке 1. В рамках разработки Системы был создан проект Методики диагностирования приводов СУЗ [6]. В основу Методики положен анализ наиболее

часто встречающихся дефектов привода СУЗ типа АРК и ЛШП и их проявлениям в диагностических сигналах. Как показал анализ, среди известных дефектов наиболее часто встречаются: затираание рейки в направляющих роликах АРК; короткое замыкание витков в обмотках двигателя АРК; дефект в подшипниках скольжения ЛШП.



Рисунок 1 – Внешний вид опытно-промышленного образца Системы [The exterior of the System prototype]

Система предусматривает выявление указанных дефектов с использованием следующих сигналов:

- 1) ток и напряжение в фазах 1-3 привода АРК, в фазах 1-4 привода ЛШП;
- 2) напряжение датчиков положения приводов АРК и ЛШП в зонах нижних и верхних конечных выключателей (НКВ и ВКВ) и зонах 1-9;
- 3) виброакустический сигнал.

Для регистрации указанных сигналов Система оснащена следующими датчиками: клещи токовые Fluke 80i-110s с кабелем (4 шт.); зажимы и преобразователи напряжения LV 25-400 (4 шт.); виброакустический датчик AP2037-10 (1 шт.) и другим оборудованием, необходимым для хранения и обработки данных. Измерительные каналы КИС СУЗ прошли успешную апробацию 29.09.2021 г. при стендовых испытаниях привода АРК четвертого и привода ЛШП пятого блока НВАЭС. В ходе апробации были зарегистрированы диагностические сигналы.

Методика диагностирования приводов СУЗ

Методика реализуется в соответствии со следующими задачами:

- 1) вычисление огибающей токового сигнала методом СКЗ;
- 2) вычисление огибающей виброакустического сигнала;
- 3) вычисление амплитудно-частотных спектров;
- 4) определение динамических характеристик привода (режим автоматического регулирования);
- 5) определение динамических характеристик привода АРК (режим аварийной защиты).

Следует отметить, что для вычисления огибающей токового сигнала используются следующие входные данные: один из массивов мгновенных значений тока и число точек – полуширина окна для вычисления СКЗ. Вычисление огибающей обеспечивает вычисление коэффициента пульсаций токов в фазах электродвигателя, как отношение размаха огибающей к арифметическому среднему значению. Коэффициенты пульсаций в разных фазах не должны отличаться более чем на 5 %.

Также следует отметить, что Методика определения скорости перемещения рейки привода в режиме автоматического регулирования реализуется для определения и контроля скорости перемещения рейки привода в каждой зоне при выполнении команды «Вверх» и «Вниз». Скорость перемещения рейки привода в зонах должна быть равномерной.

Методика определения динамических характеристик привода (режим аварийной защиты) направлена на определение времени перемещения рейки привода от верхнего

концевого выключателя до нижнего концевого выключателя при выполнении команды аварийной защиты. При необходимости возможно построение графика скорости перемещения рейки привода по команде аварийной защиты в каждой зоне для уточнения динамических характеристик привода (в первую очередь времени разгона рейки привода до скорости 200 мм/с). Методика реализуется для определения времени и скорости прохождения каждой зоны по команде аварийной защиты с одновременным контролем данных массивов виброакустического сигнала и спектра виброакустического сигнала. Одновременно с анализом выполняется контроль составляющих массива СКЗ виброакустического сигнала. Контроль заключается в сравнении мгновенного значения огибающей с уставкой на предельное значение уровня вибрации. При обнаружении превышения установленного уровня огибающей следует определить с использованием массива напряжения электрической цепи вторичных обмоток датчика положения, в какой зоне и на каком участке перемещения рейки привода произошло затирание рейки при перемещении по команде аварийной защиты.

Спектральный анализ дополняет анализ динамических характеристик. Анализ динамических характеристик привода позволит определить их отклонение внутри одного цикла выполнения команды автоматического регулирования. Если скорость перемещения рейки привода в зонах нижнего конечного выключателя, «0 – 9», верхнего конечного выключателя носит нестабильный характер, возможен механический дефект кинематических пар привода АРК. Для уточнения диагноза и определения конкретного дефектного узла следует выполнить анализ спектральных характеристик виброакустического сигнала VOGIB (виброскорости, виброперемещения и виброускорения) в зонах нижнего конечного выключателя, «0 – 9», верхнего конечного выключателя.

Решение диагностической задачи выполняется в следующей последовательности. Оценивается скорость перемещения рейки привода в каждой зоне в режиме автоматического регулирования. Если перемещение рейки привода осуществляется равномерно, без рывков, заеданий, то выполняется оценка спектральных характеристик привода с анализом виброакустического сигнала (или его огибающей) в каждой зоне и токового сигнала в соответствующей зоне. Если характерные параметры спектра («маска спектра») не отличается от эталонных в заданной частотной области, которая характеризует взаимодействия в соответствующих кинематических парах и не имеет изменяющегося тренда, или «прокола» «маски спектра» по амплитуде то можно предположить отсутствие дефектов в кинематических парах диагностируемого привода. Если скорость перемещения рейки привода в режиме АР не равномерна, наблюдаются рывки, заедания, то следует выполнить анализ спектральных характеристик виброакустического и токового сигналов в зонах, одновременно выполнить оценку СКЗ токового и виброакустического сигнала.

Если есть превышения значения уставки СКЗ токового сигнала и характеристик виброакустического сигнала в зонах, следует выполнить оценку спектральных характеристик (массива тока и массива вибраций) («маски спектра») по каждой зоне соответствующей кинематическим парам привода. Обнаруженные отклонения спектра – наличие места модуляции в районе характерных частот кинематических пар редуктора, пары рейка – реечная шестерня, подшипникового узла, направляющих роликов указывают на отклонения в их работе.

Методика позволяет достоверно выявить следующие три класса состояния привода АРК:

- 1) повышенное трение;
- 2) увеличенный боковой зазор в передачах редуктора;
- 3) дефект двигателя.

Состояние «повышенное трение» может быть конкретизировано следующими видами дефектов:

- 1) затираание рейки в направляющих роликах;
- 2) нарушение резьбового соединения блока перемещения;

Состояние «увеличенный боковой зазор в передачах редуктора» может быть дополнительно уточнено следующими видами дефектов:

- 1) пропуск шага;
- 2) расцепление защелки магнита;

Состояние «дефект двигателя» также может быть дополнено:

- 1) КЗ витков в обмотках ЭД;
- 2) повышенное трение в подшипниках на валу электродвигателя.

Модель для валидации методики контроля технического состояния

Однако регистрация в условиях стендовых испытаний на действующей АЭС имеет ограничения: не все возможные состояния могут быть воспроизведены без повреждения промышленного оборудования. Поэтому с целью валидации методики контроля технического состояния разработана расчетная модель, которая позволяет имитировать как исправную работу приводов, так и работу в условиях наиболее часто встречающихся дефектов [7]. Модель разработана с использованием среды SimInTech, поскольку данный продукт позволяет составлять и рассчитывать сложные системы [8]. Представляет собой два связанных блока: базовую модель и модель нагрузки [9, 10]. Также модель может дополняться блоками, имитирующими изменение параметров при наличии дефектов (деформация, инерция, трение) [11, 12]. Упрощенная структура модели для привода АРК представлена на рисунке 2.

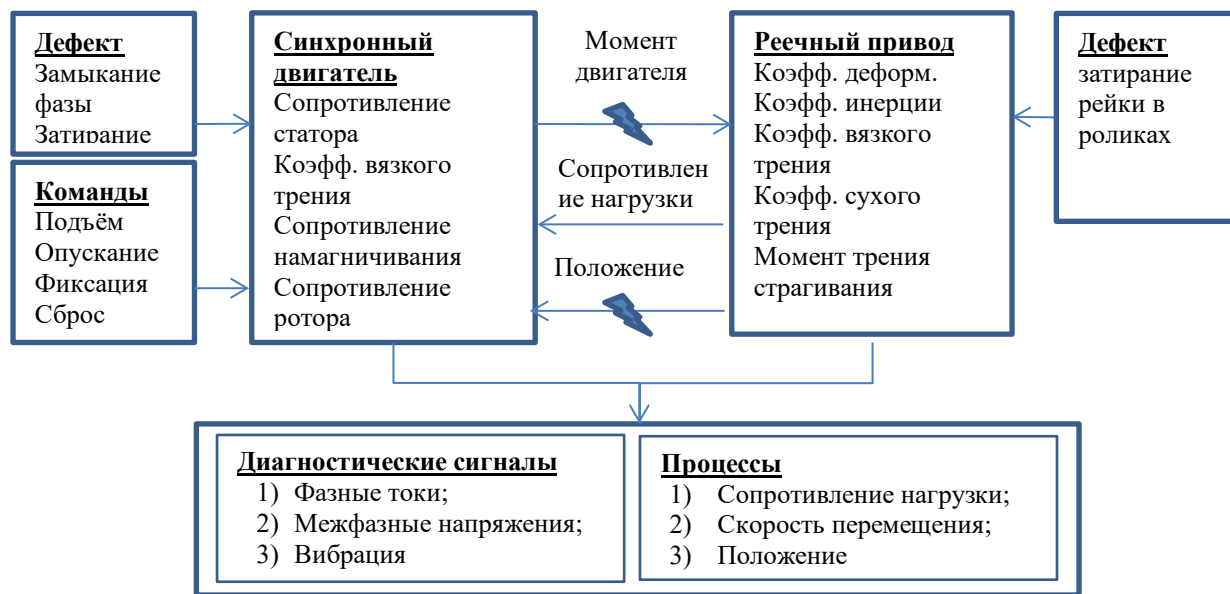


Рисунок 2 – Структура модели для валидации методики контроля технического состояния [Structure of the model for validation of the condition monitoring methodology]

Возможны настройка и подключение субмоделей дефектов в зависимости от вида и степени развития дефектов. Модель позволяет получить диагностические сигналы соответствующие проявлениям дефектов. Также модель учитывает возможные команды оператора и срабатывание технологических защит (ход вверх-вниз, останов, остановка в крайних положениях).

Результаты исследования

Одним из распространенных дефектов является затираание рейки в направляющих роликах. В соответствии с методикой основными признаками данного дефекта является повышение фазных токов и нестабильность скорости. На выходе модели получены

диагностические сигналы, по которым методика либо выявляет соответствующее состояние по возрастанию тока (рис. 3 а), либо исключает его (рис. 3 б)

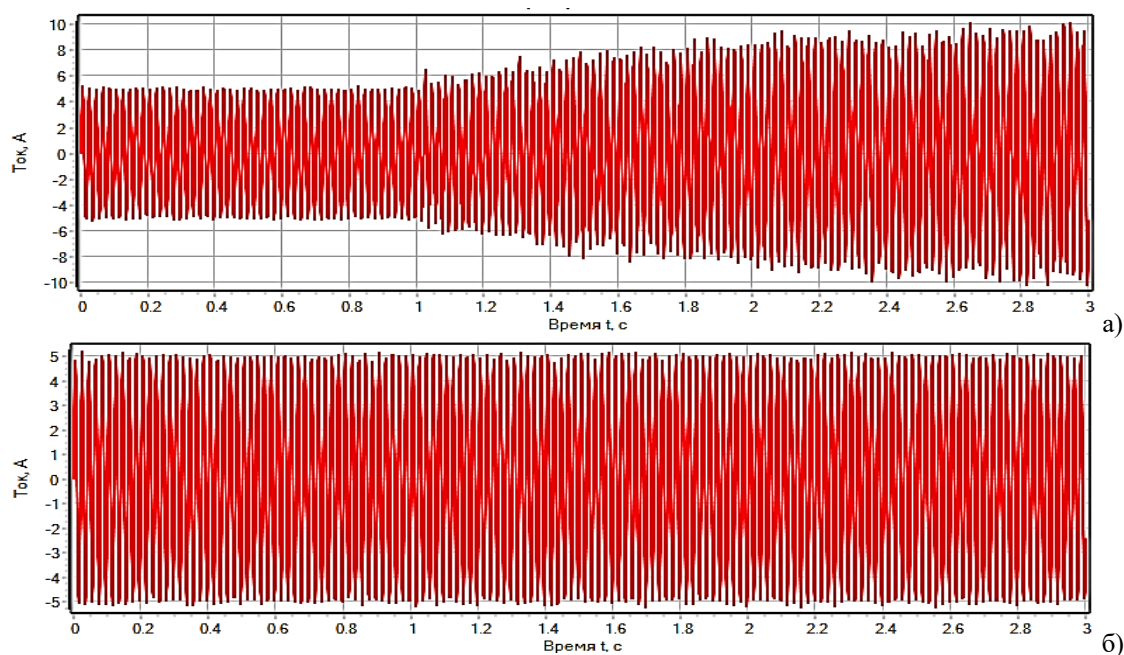


Рисунок 3 – Сигнал тока в одной из фаз двигателя привода АРК: а) с затиранием; б) без дефекта
[Current signal in one of the motor phases of the ARC drive: a) with mashing; b) without defect]

Разработанная модель обеспечивает возможность изучения процессов, характеризующих техническое состояние приводов. Так, на рисунке 4 визуализирована скорость перемещения привода, которая в режиме автоматического регулирования составляет 20 мм/с с допустимым отклонением ± 1 мм/с. Рисунок 4 а иллюстрирует скорость при полном перемещении из зоны нижних конечных выключателей (НКВ) в зону верхних (ВКВ) без существенных отклонений. Рисунок 4 б соответствует состоянию, которое классифицируется методикой как затирание, начинающееся с зоны №4.

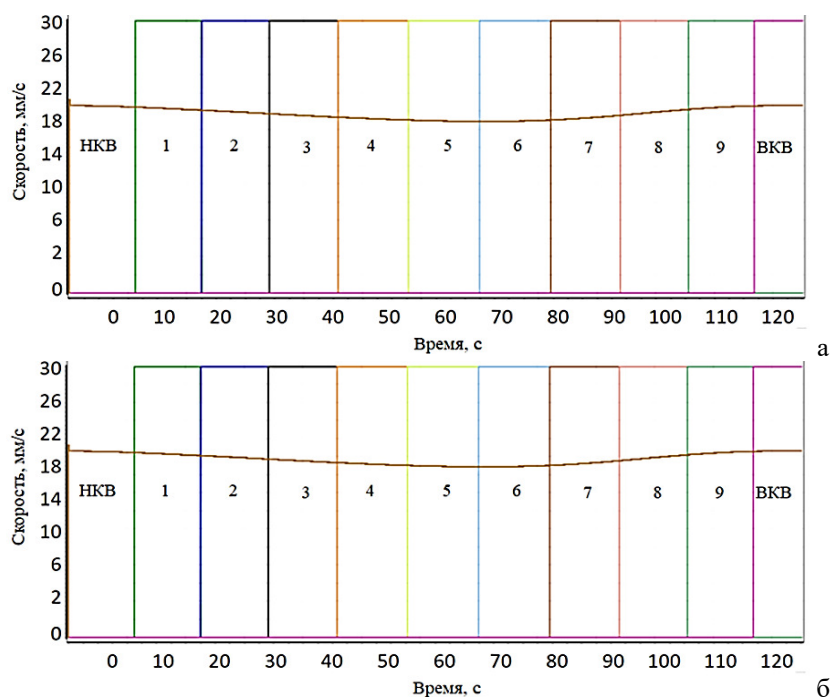


Рисунок 4 – Сигнал тока в одной из фаз двигателя привода АРК: а) без дефекта; б) с затиранием рейки привода
[Current signal in one of the motor phases of the ARC actuator: a) without defect; b) with mashing of the drive rail]

Аналогично были получены сигналы при дефектах, идентификация которых предусмотрена методикой.

Результаты моделирования обеспечивают валидацию методики, подтверждая, что диагностические сигналы регистрируемые и обрабатываемые Системой обеспечивают выявление дефектов приводов СУЗ типа АРК и ЛШП.

Заключение

Созданная Система предназначена для автоматизации функций сбора, хранения, обработки, анализа и представления комплексной информации о техническом состоянии и ресурсных характеристиках приводов СУЗ. Разработанная Методика устанавливает требования к содержанию и организации процедуры диагностирования приводов СУЗ с использованием комплексной информационной Системы. Внедрение валидированной системы и методики позволит упростить задачу сбора, анализа, сравнения данных о приводах во время эксплуатации на АЭС. Результаты моделирования также могут быть использованы в производственной практике АЭС для обучения персонала диагностике и настройке приводов СУЗ. Система сочетает в себе различные способы контроля технического состояния электроприводов СУЗ, а модульная структура аппаратной части и программного обеспечения позволяет модифицировать ее под конкретные задачи, что дает возможность получить более достоверный диагностический прогноз. Система обладает многофункциональностью, мобильностью, компактностью и удобством в использовании, а ее технико-экономические показатели выше запатентованных объектов промышленной собственности, что свидетельствует о перспективности ее использования для контроля технического состояния электроприводов СУЗ с целью повышения безопасности АЭС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Erd A., Stokłosa J.: Main Design Guidelines for Battery Management Systems for Traction Purposes. Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference Automotive Safety 2018. Slovakia, 2018, DOI: 10.1109/AUTOSAFE.2018.8373345
2. Babaa F. Experimental investigation and comparative study of interturn short-circuits and unbalanced voltage supply in induction machines / F. Babaa, A. Khezzar, M. el kamel Oumaamar // Frontiers in Energy. – 2013. – Vol. 7. – Is. 3. – P. 271-278. DOI: 10.1007/s11708-013-0258-6
3. Mazzeletti M.A., Bossio G.R., Angelo C.H. de, Espinoza-Trejo D.R. A model-based strategy for interturn short-circuit fault diagnosis in PMSM // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2017. – Vol. 64. – Is. 9. – P. 7218-7228. DOI: 10.1109/TIE.2017.2688973
4. Пат. 2529596 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Способ диагностики межвитковых замыканий асинхронного электродвигателя / И.Ф. Суворов, Р.В. Горбунов, Г.А. Палкин, Д.В. Коряков; заяв. и патентообл. ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет». — № 2013110594; заявл. 11.03.2013; опубл. 27.09.2014; Бюл. № 27. – 8 с.
5. Пат. 2537518 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Способ диагностики межвитковых замыканий асинхронного электродвигателя / И.Ф. Суворов, Р.В. Горбунов, Г.А. Палкин, Д.В. Коряков; заяв. и патентообл. ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет». — № 2013110600; заявл. 11.03.2013; опубл. 10.01.2015; Бюл. № 1. – 6 с.
6. Абидова, Е.А. Методика диагностирования состояния электромеханических приводов систем управления и защиты реакторной установки / Е.А. Абидова, М.А. Белоус, Л.С. Херай, А.В. Чернов // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4493.
7. Ayyappan, G.S.; Nikhil, N.K.; Raja, R.M.; Pandi, R.V.; Angel, T.S.; Babu, R.B. Electrical Motor Maintenance Techniques and Life Cycle Assessment — A Review with Case Studies. In Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC), Chennai, India, 21–23 August 2019; Volume 2019, P. 167-172.
8. Карташов, Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech / Б.А. Карташов, Е.А. Шабеев, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. – Москва : ДМК Пресс. – 2017. – 424 с.

9. Иванов, В.Э. Малошумящий программируемый усилитель постоянного тока с дистанционным управлением / В.Э. Иванов, Эн Ун Чье // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2019. – № 22(4). – С. 99-108.
10. Иванов, В.Э. Аналитическая модель усилителя постоянного тока с цифровым управлением / В.Э. Иванов // Информационные технологии XXI века: сборник научных трудов. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. унта. – 2021. – С. 70-76.
11. Ivanov V.E. Iterative Balancing Algorithm for Multistage DC Amplifiers / V.E. Ivanov, En Un Chye // 2021 Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) / Proceedings. Kazan Federal University, Kazan, Russia, May 13–15. – 2021.
12. Калачев, Ю.Н. Преобразователи автономных источников электроэнергии / Ю.Н. Калачев, А.Г. Александров. – Москва : ДМК Пресс. – 2021. – 80 с.

REFERENCES

- [1] Erd A., Stoklosa J.: Main Design Guidelines for Battery Management Systems for Traction Purposes. Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference Automotive Safety 2018. Slovakia, 2018, DOI: 10.1109/AUTOSAFE.2018.8373345 (in English).
- [2] Babaa, Fatima, Abdelmalek Khezzar, and Mohamed el kamel Oumaamar. «Experimental investigation and comparative study of interturn short-circuits and unbalanced voltage supply in induction machines». *Frontiers in Energy*. 7.3 (2013): 271-278. DOI: 10.1007/s11708-013-0258-6 (in English).
- [3] Mazzoletti, Manuel A., Guillermo R. Bossio, Cristian H. De Angelo, and Diego R. Espinoza-Trejo. «A model-based strategy for interturn short-circuit fault diagnosis in PMSM». *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 64.9 (2017): 7218-7228. DOI: 10.1109/TIE.2017.2688973 (in English).
- [4] Suvorov, I.F., R.V. Gorbunov, G.A. Palkin, and D.V. Koryakov. RU 2 529 596, IPC G 01 R 31/06. Sposob diagnostiki mezhvitkovykh замыканий асинхронного электродвигателя [Patent 2529596 Russian Federation, IPC G 01 R 31/06. Method For Diagnosing Inter-Turn Faults in Asynchronous Electric Motor]. FGBOU VO «Zabajkal'skij gosudarstvennyj universitet» [FSBEIU VPO «Zabaykalsky State University»]. Publ. 27 Sept. 2014 (in Russian).
- [5] Suvorov, I.F., R.V. Gorbunov, G.A. Palkin, D.V. Koryakov. RU 2 537 518, IPC G 01 R 31/06. Sposob diagnostiki mezhvitkovykh замыканий асинхронного электродвигателя [Patent 2537518 Russian Federation, IPC G 01 R 31/06. Method for diagnosing inter-turn faults in asynchronous electric motor]. FGBOU VO «Zabajkal'skij gosudarstvennyj universitet» [FSBEIU VPO "Zabaykalsky State University"]. Publ. 10 Jan. 2015 (in Russian).
- [6] Abidova E.A., Belous M.A., Hegai L.S., Chernov A.V. Metodika diagnostirovaniya sostoyaniya ehlektromekhanicheskikh privodov system upravleniya I zashchity reaktornoj ustanovki [Methodology of Diagnosing the Condition of Electromechanical Drives of Reactor Plant Control and Protection Systems]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [The Don Engineering Herald]. 2017. No. 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4493 (in Russian).
- [7] Ayyappan, G.S.; Nikhil, N.K.; Raja, R.M.; Pandi, R.V.; Angel, T.S.; Babu, R.B. Electrical Motor Maintenance Techniques and Life Cycle Assessment – A Review with Case Studies. In *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)*, Chennai, India, 21–23 August 2019. Volume 2019. P. 167-172 (in English).
- [8] Kartashov B.A., Shabaev E.A., Kozlov O.S., Shchekaturov A.M. Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh system SimInTech [Dynamic Simulation Environment of Technical Systems SimInTech]. Moscow: DMK Press. 2017. 424 p. (in Russian).
- [9] Ivanov V.E., En Un Chye. – Maloshumjashhij programmiruemyj usilitel' postojannogo toka s distancionnym upravleniem [Low Noise Programmable DC Amplifier with Remote Control]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij Rossii. Radioelektronika* [News of Higher Educational Institutions of Russia. Radio Electronics]. 2019. № 22(4). P. 99-108 (in Russian).
- [10] Ivanov V.E. Analiticheskaja model' usilitelja postojannogo toka s cifrovym upravleniem [Analytical Model of Digitally Controlled DC Amplifier] // *Informacionnye tehnologii XXI veka: sbornik nauchnyh trudov* [Information Technologies of the XXI Century: a collection of scientific papers]. Khabarovsk: Pacific Publishing. state university. 2021. P. 70-76 (in Russian).
- [11] Ivanov V.E. Iterative Balancing Algorithm for Multistage DC Amplifiers / V.E. Ivanov, En Un Chye // 2021 Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) / Proceedings. Kazan Federal University, Kazan, Russia, May 13-15. 2021 (in English).
- [12] Kalachev Ju.N., Alexandrov A.G. Preobrazovateli avtonomnyh istochnikov jelektroenergii [Converters of Autonomous Power Sources]. Moscow: DMK Press. 2021. 80 p. (in Russian).

Validation of Methodology of Monitoring Drives Technical Condition of Control and Protection System of Reactor Installation Power Units Using Modeling

Elena A. Abidova¹, Olga Yu. Pugacheva²

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹e-abidova@mail.ru, ORCID iD: 0000-0003-0258-5543, WoS Researcher ID: O-1870-2018

²OYPugacheva@mephi.ru

Abstract. The paper describes a model that confirms the reliability of the diagnostic methodology for the drives of the control and protection system (CPS) of the power units. The model simulates the operation of the diagnostic object which generates signals that are recorded, stored and processed by the Diagnostic System of the CPS drives. This system was developed by MEPhI as a pilot sample designed to diagnose the drive of the ARC of the fourth block of the Novovoronezh NPP and the drive of the LSD of the fifth block of the Novovoronezh NPP. The main requirement for the system is the ability to identify the most common defects in the drives of the ARC and LSD. The system has versatility, mobility, compactness and ease of use, and its technical and economic indicators are higher than the patented objects of industrial property, which indicates the prospects of its use for monitoring the technical condition of the electric drives of CPS in order to improve the safety of NPP. A methodology is developed which establishes the requirements for the content and organization of the procedure for diagnosing CPS drives using a comprehensive information system for monitoring the technical condition and resource characteristics of CPS drives of power units of the reactor WWER-440. This technique applies to the drives of CPS of the ARK and LSD type, which are in operation at nuclear power plants and is intended for specialists who use diagnostic system of CPS for their intended purpose. Validation of the methodology underlying the operation of the system is carried out by processing signals simulating the operation of drives in conditions of the most common defects. The article provides examples of simulated signals containing signs of defects provided by the methodology. The introduction of a validated system and methodology will simplify the task of collecting, analyzing, and comparing data on drives during operation at nuclear power plants, and will also improve the qualifications of personnel, which should have a positive impact on increasing the reliability and resource of equipment.

Keywords: CPS drive, diagnostic system, diagnostic signal, system modeling, diagnostic signs, validation.

For citation: Abidova E.A., Pugacheva O.Yu. Validation of Methodology of Monitoring Drives Technical Condition of Control and Protection System of Reactor Installation Power Units Using Modeling // Global nuclear safety. 2022. № 3(44). P. 56-64. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-03-05>