

**АПРОБАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ**

© Дунаева Я. О., 2022

Иркутский государственный университет

© Дунаев А. М., 2022

Иркутский государственный технический университет

В настоящей работе описана апробация новой автоматизированной подсистемы диагностирования электрооборудования низковольтных промышленных преобразователей частоты. Диагностирование по известным первичным признакам дефектов электроприводов с преобразователями частоты предлагается авторами в качестве способа проведения её апробации, гарантией корректного характера которой является независимый труд её исполнителей. Эффективность традиционного и нового диагностирования (выполненных, соответственно, только наладчиками и с применением созданной подсистемы) подвергнута детальному сравнительному анализу, основу которого составляют полученные результаты апробации.

*Ключевые слова:* техническое диагностирование, промышленный преобразователь частоты, специалист-наладчик, экспертный комплекс, эвристические знания

**Н**а сегодняшний день одну из актуальных задач в сфере транспорта представляет собой обеспечение надёжности функционирования сложного электрооборудования (ЭО), в том числе силовых полупроводниковых преобразователей частоты (ПЧ).

Данная техника входит в состав частотно-регулируемых электроприводов транспортного и общепромышленного электрооборудования. В частности, ею оснащены электрические локомотивы, городской электротранспорт и весомая доля нестандартного технологического оборудования, ориентированного на ремонт локомотивов, вагонов и мотор-вагонного подвижного состава [1, 2].

Перспективным способом решения указанной задачи является создание диагностических систем, базирующихся на технологиях искусственного интеллекта, логических методах технической

диагностики и эвристических знаниях экспертов [3, 4, 5].

Представителем вышеизложенного класса аппаратно-программного обеспечения стала новая автоматизированная подсистема диагностирования (АПД) «FCDS», предназначенная для технического диагностирования ЭО ПЧ [6].

Цель представленного исследования — показать преимущество подхода к диагностированию низковольтных промышленных преобразователей частоты с применением вышеупомянутой подсистемы перед традиционными методиками работы специалистов по наладке.

1. Описание автоматизированной подсистемы. Автоматизированная система управления производством (АСУП), которая соответствует структуре [7], проиллюстрированной рисунком 1, интегрирует в своём составе предлагаемую авторами АПД.

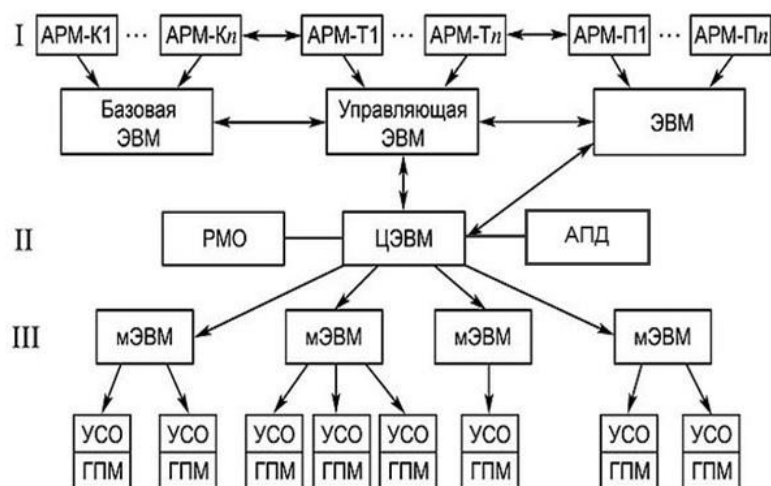


Рис. 1. Общая структура АСУП

На рисунке 1 имеют место следующие условные обозначения: АРМ — автоматизированное рабочее место; ЭВМ — электронная вычислительная машина; РМО — рабочее место оператора; ЦЭВМ — центральная электронная вычислительная машина; мЭВМ — малая электронная вычислительная машина (нижнего уровня); УСО — устройство связи с объектом; ГПМ — гибкий производственный модуль.

Верхний (I) уровень включает систему управления программами и данными, обеспечивающую заданную технологию и производственный план предприятия.

Средний (II) уровень, включающий ЦЭВМ, РМО и АПД, координирует работу мЭВМ на нижнем (III) уровне, которые осуществляют непосредственное управление ГПМ с помощью УСО.

Автоматизированная подсистема диагностики использует ресурсы ЦЭВМ (в АСУП усечённого строения — мЭВМ). Структура АПД «FCDS» [8] представлена на рисунке 2 (ДЭК — диагностический экспертный комплекс, основа АПД; УП1... УП<sub>n</sub> — управляющие программы; ОД1 ... ОД<sub>n</sub> — объекты диагностирования; ППО — приложение для построения дерева оптимального логического алгоритма диагностирования).

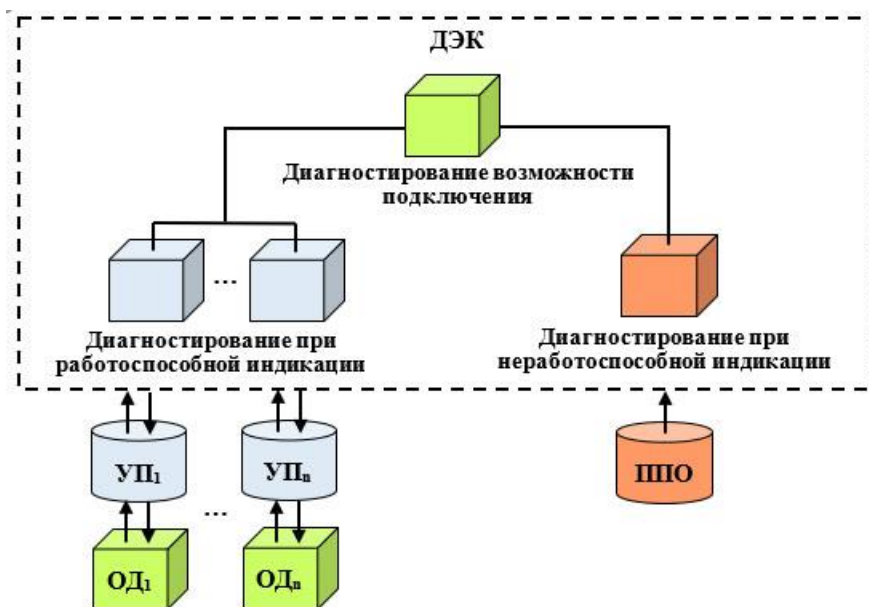


Рис. 2. Структура АПД

Общий объём базы знаний экспертного комплекса составляет 305 правил.

Примеры функционирования подсистемы «FCDS» изображены на рисунке 3.

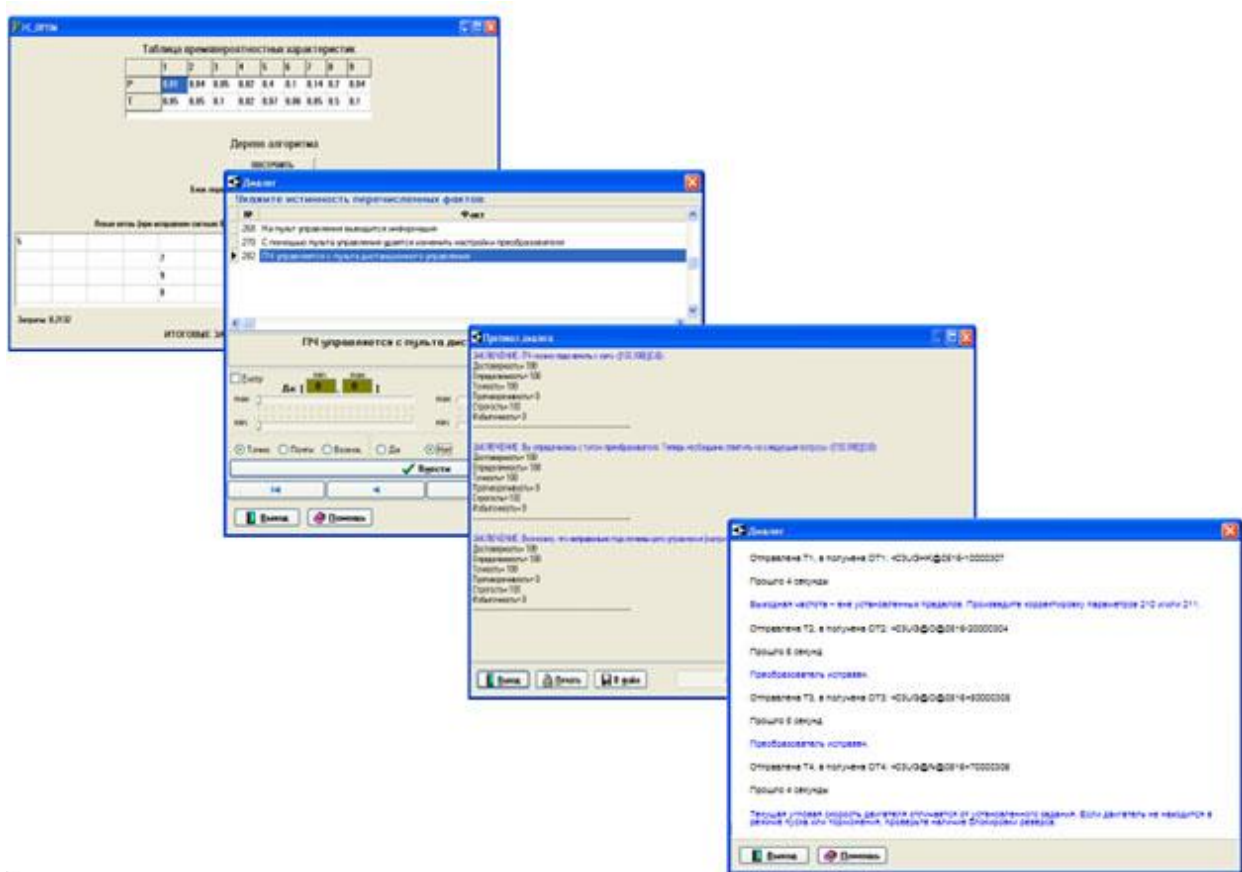


Рис. 3. Примеры функционирования АПД «FCDS»

Апробации подсистемы. В основе выполнения апробации АПД «FCDS» лежат прецеденты локализации и ликвидации дефектов низковольтных промышленных преобразователей частоты различных моделей [2, 9, 10, 11, 12].

Сравнительный анализ эффективности традиционного и нового подходов к диагностированию упомянутого выше оборудования (выполненного, соответственно, только специалистами-наладчиками и специалистами с применением предлагаемой автоматизированной подсистемы) базируется на итогах произведённой апробации. В основу означенного сравнения положены имеющиеся в распоряжении авторов описания примеров

диагностирования и устранения неисправностей узлов, отказ которых произошёл в процессе эксплуатации реального электрооборудования современных преобразователей частоты в промышленности и на транспорте. Указанные примеры содержат описание действий специалиста-наладчика, последовательность и продолжительность отдельных операций, а также общее время диагностирования и устранения неисправности.

На рисунке 4 представлен внешний вид электропривода с преобразователем частоты Schneider ATV-31, входящего в состав комплекта оборудования для обточки колёсной пары локомотивов без выкатки ООО «Транс-Атом».



Рис. 4. Внешний вид диагностируемого ЭП с ПЧ (ООО «Транс-Атом»)

На рисунке 5 представлен (слева направо) внешний вид электроприводов (ЭП) с преобразователями частоты Siemens G-110, ABB

ACS-355 и Danfoss FC-51, используемых в учебном процессе в ФГБОУ ВО ИРНИТУ.



Рис. 5. Внешний вид диагностируемых ЭП с ПЧ (ФГБОУ ВО ИРНИТУ)

Диагностирование электрооборудования преобразователей частоты при помощи разработанной автоматизированной подсистемы проведено в два этапа.

Первый этап предполагает собственное диагностирование электроприводов с ПЧ по известным первичным признакам неисправностей посредством АПД с использованием имеющихся примеров диагностирования электрооборудования, а также фиксацию количества и последовательностей запросов экспертного комплекса и время их отработки оператором, необходимое на соответствующие наблюдения и измерения.

Следует отметить, что данные о количестве времени, затраченном на подготовку к работе (т.е., на поиск технической документации и её изучение,

а также на подготовку рабочего места специалиста) и собственно ликвидацию дефектов, предоставлены экспертами, составившими описания примеров диагностирования ЭО ПЧ. Авторы учли предоставленные данные при определении общей продолжительности процессов диагностирования и устранения неисправностей, производимых посредством автоматизированной подсистемы.

Второй этап аккумулирует систематизацию результатов с целью выявления достоинств и недостатков предлагаемого способа диагностирования (по завершении последнего для каждого объекта). Подведение общих итогов апробации подсистемы позволяет получить количественные показатели её реальной работы. Тот факт, что участники апробации трудились

независимо друг от друга, является гарантией её корректности.

Таблица 1, резюмирующая итоги вышеизложенного процесса, содержит следующие условные обозначения: АПД — диагностирование преобразователей частоты с применением

реализованной автоматизированной подсистемы «FCDS»; ТМН — диагностирование электрооборудования преобразователей частоты с применением традиционных методов, используемых в настоящее время специалистами-наладчиками.

Таблица 1. Результаты апробации АПД «FCDS»

N п/п	Наименование объекта	Неисправность	Время диагностирования, час		Общее время, час	
			ТМН	АПД	ТМН	АПД
1	ЭП с ПЧ DANFOSS VLT-3002	Нет сигнала дистанционного управления	3	0,5	3,25	0,75
2	ЭП с ПЧ DANFOSS VLT-3004	Нет вращения двигателя	23	0,5	24	1,5
3	ЭП с ПЧ Siemens G110	Не регулируется скорость двигателя	4	0,25	4,25	0,5
4	ЭП с ПЧ Danfoss FC-302	Нет вращения двигателя	5	0,25	5,5	0,75
5	ЭП с ПЧ Danfoss FC-51	Не фиксируется команда ПУСК дистанционного управления	3,5	0,25	3,75	0,5
6	ЭП с ПЧ Danfoss FC-202	Скорость двигателя неконтролируемо увеличивается	6	0,25	6,5	0,75
7	ЭП с ПЧ DANFOSS VLT2800	Нет сигнала обратной связи по скорости	5	0,25	5,5	0,75
8	ЭП с ПЧ Danfoss FC-102	Нет вращения двигателя	13	0,25	34	21,25
9	ЭП с ПЧ Schneider ATV28	Обрыв фазы двигателя	3,5	0,25	4,5	1,25
10	ЭП с ПЧ Schneider ATV31	Обрыв фазы питания	1	0,25	1,5	0,75
11	ЭП с ПЧ ATV31 ООО «Транс-Атом»	Неверно сконфигурированы настройки цифровых входов	0,8	1,5	0,5	1,2
12	ЭП с ПЧ ATV31 ООО «Транс-Атом»	Двигатель не вращается, на дисплее сигнал «OHF»	1,25	1,75	1	1,5
13	ЭП с ПЧ ATV31 ООО «Транс-Атом»	Двигатель не вращается, на дисплее сигнал «rdY»	0,9	1	0,67	0,77
14	ЭП с ПЧ ABB ACS355	ПЧ не управляется дистанционно	11	0,5	11,5	1
	Итого		80,95	4,25	106,42	33,22

Таким образом, применение созданной АПД для диагностирования низковольтных промышленных преобразователей частоты даёт в среднем

трёхкратное сокращение времени локализации и устранения неисправностей упомянутого оборудования. Описанное преимущество

достигается благодаря реализованным в подсистеме «FCDS» эффективным логическим алгоритмам диагностирования ЭО, а также встроенным эвристическим знаниям, аккумулируемым основной составляющей АПД — диагностическим экспертным комплексом.

Заключение. В рамках данной статьи показано преимущество подхода к диагностированию низковольтных промышленных преобразователей частоты посредством предложенной авторами новой автоматизированной подсистемы над традиционными методиками работы специалистов-наладчиков.

Указанное преимущество заключается в трёхкратном сокращении времени локализации и ликвидации дефектов промышленных преобразователей частоты. ■

---

1. Онищенко Г. Б. Силовая электроника, силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения / Г. Б. Онищенко, О. М. Соснин. – М.: Инфра-М, 2018. – 122 с.

2. Каталог продукции ООО «Транс-Атом», 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://trans-atom.com>.

3. Васюченко П. В. Повышение надёжности работы электрооборудования путём применения методов диагностики / П. В. Васюченко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 5(123). С. 27-34.

4. Babak V.P. Diagnostic Systems For Energy Equipments / V.P. Babak, S.V. Babak, M.V. Myslovych, A.O. Zaporozhets, V.M. Zvaritch. Warsaw : Springer, 2020. 133 p.

5. Recent Advances in Automation, Robotics And Measuring Techniques / Edited by R. Szewczyk [et al.]. Warsaw : Springer, 2014. 744 p.

6. Дунаев А. М. Диагностирование электрооборудования на транспорте с использованием интеллектуальных систем / А. М. Дунаев, М. П. Дунаев // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. – № 1(17). – С. 79-88.

7. Лескин А. А. Алгебраические модели гибких производственных систем / А. А. Лескин. – Л. : Наука, 1986. – 150 с.

8. Дунаев А. М. Структура системы диагностирования преобразователей частоты / А. М. Дунаев // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2018. – № 3(11). – С. 165-172.

9. Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства Schneider Electric, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://schneider.com/drives>.

10. Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства Danfoss, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://danfoss.com/drives>.

11. Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства Siemens, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://siemens.com/drives>.

12. Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства АБВ, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://abb.com/drives>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Babak V.P. Diagnostic Systems For Energy Equipments / V.P. Babak, S.V. Babak, M.V.

Myslovych, A.O. Zaporozhets, V.M. Zvaritch. Warsaw : Springer, 2020. 133 p.

Recent Advances in Automation, Robotics And Measuring Techniques / Edited by R. Szewczyk [et al.]. Warsaw : Springer, 2014. 744 p.

Васюченко П. В. Повышение надёжности работы электрооборудования путём применения методов диагностики / П. В. Васюченко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 5(123). С. 27-34.

Дунаев А. М. Структура системы диагностирования преобразователей частоты / А. М. Дунаев // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2018. – № 3(11). – С. 165-172.

Дунаев А. М. Диагностирование электрооборудования на транспорте с использованием интеллектуальных систем / А. М. Дунаев, М. П. Дунаев // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. – № 1(17). – С. 79-88.

Каталог продукции ООО «Транс-Атом», 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://trans-atom.com>.

Лескин А. А. Алгебраические модели гибких производственных систем / А. А. Лескин. – Л. : Наука, 1986. – 150 с.

Онищенко Г. Б. Силовая электроника, силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения / Г. Б. Онищенко, О. М. Соснин. – М. : Инфра-М, 2018. – 122 с.

Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства Schneider Electric, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://schneider.com/drives>.

Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства Danfoss, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://danfoss.com/drives>.

Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства Siemens, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://siemens.com/drives>.

Руководства по эксплуатации преобразователей частоты производства АБВ, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://abb.com/drives>.

---

### Approbation of automated diagnostic subsystem for frequency converters

© Dunaev A., Dunaeva Ya., 2022

The paper is devoted to the approbation of a new automated subsystem for diagnosis of low voltage industrial frequency converters' electric equipment. Diagnosis by known primary features is offered as a way to conduct this approbation. Effectiveness of traditional and new diagnosis (made only by start-up men and with a help of the automated subsystem for diagnosis respectively) is subjected to a detailed comparative analysis based on the approbation results.

*Keywords:* technical diagnosis, industrial frequency  
convertor, start-up specialist, expert complex, heuristic  
knowledge

---