

УДК 621.311.12

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ТУРБОГЕНЕРАТОРА**Т.И. Розум<sup>1</sup>, В.И. Полищук<sup>2</sup><sup>1</sup>Филиал ОАО «СО ЕЭС» Томское РДУ<sup>2</sup>Томский политехнический университет

E-mail: polischukvi@tpu.ru

**Розум Татьяна Игоревна**, ведущий специалист службы энергетических режимов, балансов и развития филиала ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы Томской области» (Томское РДУ).

E-mail: V\_TАНКЕ@sibmail.com

Область научных интересов: разработка систем функциональной диагностики и релейной защиты синхронного генератора.

**Полищук Владимир Иосифович**, канд. техн. наук, доцент кафедры электрических сетей и электротехники Энергетического института ТПУ.

E-mail: polischukvi@tpu.ru

Область научных интересов: разработка систем функциональной диагностики и релейной защиты синхронного генератора.

Актуальность работы обусловлена необходимостью идентифицировать и отслеживать изменения параметров, которые должны быть проанализированы для оценки технического состояния турбогенератора и ее остаточного ресурса. При этом одной из важнейших задач становится оценка остаточного ресурса и обеспечение надежности работы машины. Решение данной задачи только при помощи проведения типовых профилактических испытаний невозможно в связи с большим количеством измеряемых и вычисляемых параметров. Целью работы является разработка архитектуры экспертной системы функциональной диагностики на основе апробированных интеллектуальных методик определения труднодиагностируемых дефектов турбогенератора, способной выявлять на ранней стадии развития дефекты, контролировать процессы их развития и вырабатывать рекомендации по эксплуатации турбогенератора. В основе всех методов системы функциональной диагностики лежит поиск взаимосвязей между техническим состоянием объекта диагностики и характеристиками сигналов с целью выявления диагностических признаков. Более широкое распространение получают системы, выполненные на базе интеллектуальных методов и экспертных систем обработки информационных сигналов, представляющие новую информационную технологию, предназначенную для диагностики и

прогноза технического состояния турбогенератора. В результате проведенной работы предложена архитектура функциональной диагностики турбогенератора, позволяющая выявлять труднодиагностируемые дефекты, прогнозировать их развитие и вырабатывать рекомендации по алгоритму отказоустойчивого управления генератора.

**Ключевые слова:**

Турбогенератор, архитектура интеллектуальной системы функциональной диагностики, дефект.

В настоящее время большинство турбогенераторов (ТГ), установленных в России, интенсивно эксплуатируется 25 и более лет, и замена их в ближайшее время невозможна по экономическим соображениям. В 70–80-х годах происходило увеличение электромагнитных, тепловых и механических нагрузок на активные части ТГ за счет укрупнения единичной мощности вновь вводимых агрегатов [1]. При этом одной из важнейших задач, формально не предусмотренной нормативными документами, становится оценка остаточного ресурса и обеспечение надежности работы машины. Решение данной задачи только при помощи проведения типовых профилактических испытаний невозможно в связи с большим количеством измеряемых и вычисляемых параметров, а также из-за скрытости причинно-следственных связей возникающих дефектов, присущих такому сложному объекту, как турбогенератор [2, 3]. Поэтому назрела необходимость организации интеллектуальной системы функциональной диагностики (СФД) [4].

Более широкое распространение получают СФД, выполненные на базе интеллектуальных методов и экспертных систем обработки информационных сигналов [5, 6], представляю-

щие новую информационную технологию, предназначенную для диагностики и прогноза технического состояния ТГ.

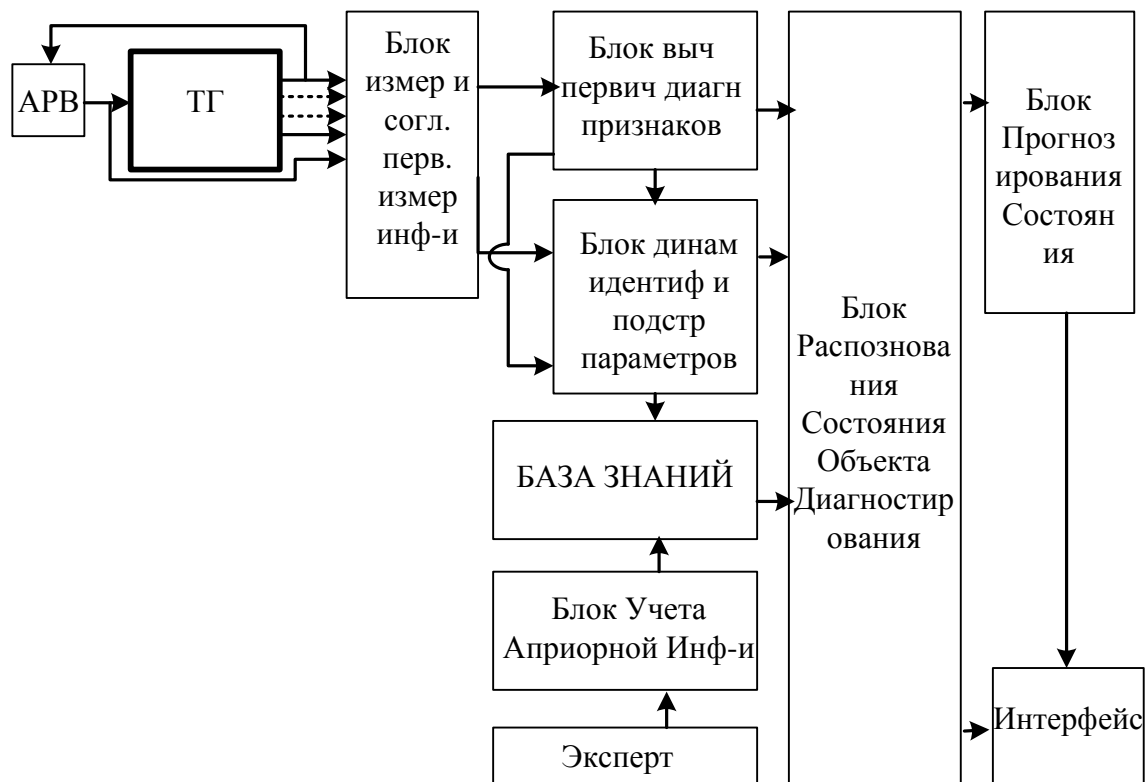
В России имеются лишь исследовательские образцы интеллектуальных систем функциональной диагностики [7], способные диагностировать дефекты на ранней стадии развития и выработать соответствующие рекомендации по управлению режимом работы ТГ оперативному персоналу [8].

Современный уровень технологий изготовления датчиков с цифровым выходом сигналов, средств передачи информации с интегрированной средой обработки в режиме реального времени позволяют на базе адаптивных методов искусственного интеллекта построить СФД турбогенератора.

Интеллектуальная СФД турбогенератора призвана решать следующие задачи:

- определять вид дефекта;
- выявлять причину возникновения дефекта;
- прогнозировать последствия развития дефекта;
- выработать общую оценку состояния ТГ и его работоспособности;
- выработать рекомендации по управлению работой ТГ;
- выработать рекомендации по совершенствованию технического обслуживания;
- накапливать базу знаний для повышения достоверности вырабатываемых рекомендаций.

Для решения вышеуказанных задач предлагается архитектура интеллектуальной СФД ТГ, которая представлена на рис. 1. Объектом диагностирования выступает турбогенератор (ТГ) с системой автоматического регулирования возбуждения (АРВ). С ТГ и АРВ снимается вся совокупность информационных сигналов, доступных для прямого измерения, которые подаются в блок измерения и согласования первичной измерительной информации (БСПИИ). В БСПИИ производится калибровка измерительных каналов и при необходимости аналогово-цифровое преобразование с заданной частотой дискретизации. На основе доступной измерительной информации в блоке вычисления первичных диагностических признаков (БВПДП) производится первичное обобщение поступающих сигналов, как правило, на основе интегральных преобразований. Мгновенные значения сигналов с БСПИИ и БВПДП позволяют производить динамическую идентификацию и подстройку параметров диагностической модели в блоке БДИПП. Важным преимуществом интеллектуальной диагностической системы является учет априорной информации на основе эмпирического опыта «Эксперта» в данной области, которая формализуется в блоке БУАИ. С его помощью настраивается БАЗА ЗНАНИЙ (формирование и хранение эталонов, разработанных на основе теории экспертных систем). Информация с блоков БВПДП, БИПДМ (блок идентификации параметров диагностической модели) и БАЗА ЗНАНИЙ подаются в блок распознавания состояния объекта диагностирования (БРСОД), где на основе теории распознавания образов, методов кластерного анализа, методов классификации с обучением производится распознавание вида и уровня дефекта. Сигналы с блока БРСОД не только отображаются в интерфейсе системы, но и служат входными данными для блока прогнозирования состояния БПС, в котором прогнозируется развитие дефекта, рассчитывается остаточный ресурс объекта диагностирования и формируются рекомендации по алгоритму его отказоустойчивого управления.



**Рис. 1.** Архитектура интеллектуальной системы диагностики ТГ

При таком построении диагностической системы ее эффективность работы прежде всего определяется мощностью базы знаний с возможностью ее пополнения и мощностью рекомендаций по алгоритму отказоустойчивого управления, которые позволяют формировать экспертной СФД качественные и эффективные управленческие решения.

На сегодняшний день имеется множество способов определения вида дефекта, но для повышения надежности эксплуатации ТГ требуется, чтобы СФД не просто выявляла дефекты, но и вырабатывала рекомендации по режиму. Находящихся у эксплуатационного персонала методических рекомендаций недостаточно, поскольку они, как правило, предусматривают лишь ограничение по мощности или останов генератора [9]. В ряде случаев наиболее эффективным методом является оптимизация температур охлаждающих сред [10], что позволяет отказаться от нежелательных с точки зрения экономической эффективности ограничений на выдаваемую мощность. Режимная оптимизация является эффективным средством ресурсосбережения и может обеспечить работу ТГ с дефектом без износа вплоть до очередного планового ремонта, где дефект может быть устранен без существенных потерь ресурса. Но при этом требуется внедрение высокоэффективной СФД с наблюдением за техническим состоянием дефектных узлов в режиме мониторинга.

Специалисты, участвующие в разработке экспертной системы:

- эксперт (специалист по электрической части оборудования), определяющий знания (данные и правила), обеспечивающий полноту и правильность введения их в экспертную систему, формирующий рекомендации, накопленные опытом;
- инженер по знаниям (специалист по разработке системы) выявляет и структурирует знания, необходимые для работы экспертной системы, осуществляет выбор наиболее подходящих инструментальных средств;
- программист (специалист по разработке инструментальных средств) [6, 11] определяет способ представления знаний [12], выделяет и программирует алгоритмы [8, 13].

Предложена архитектура функциональной диагностики турбогенератора, позволяющая выявлять труднодиагностируемые дефекты, прогнозировать их развитие и вырабатывать рекомендации по алгоритму отказоустойчивого управления генератора.

*Статья рекомендована к публикации по итогам работы V Международной молодежной конференции "Электроэнергетика глазами молодежи 2014".*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков В.И. Турбогенераторы, отработавшие нормативный срок службы // Новости Электротехники. – 2009. – № 6.
2. Аузинь П.К., Руткинс И.Л. Распознавание состояния объекта по наличию подклассов / Кибернетические методы в диагностике. – Рига: Зинатие, 1973. – С. 18–25.
3. Анисимов В.Ю., Борисов Э.В. Методы достоверности реализации нечетких отношений в прикладных системах искусственного интеллекта // Изв. РАН. Техническая кибернетика. – 1991. – № 5.
4. Специальные вопросы прогнозирования надежности и диагностики энергетического оборудования: темат. сб. / Под ред. И.П. Копылова. – М.: МЭИ, 1980. – 148 с.
5. Алексеев Б.А., Мамиконянц Л.Г., Шакарян Ю.Г. Проблемы продления эксплуатации основного электрооборудования энергосистем, отработавшего определенный стандартами срок работы // Изв. РАН. Энергетика. – 2001. – № 3. – С. 51–59.
6. Джексон П. Введение в экспертные системы: учеб. пособие / Пер. с англ. – М.: ИД «Вильямс», 2001. – 624 с.
7. Котельников Б.В. Методы и алгоритмы обработки информации для автоматизированных систем диагностики электрооборудования электрических станций. – Сургут, 2004. – 172 с.
8. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных турбогенераторов. – М.: Научно-учебный центр ЭНАС, 1997. – 144 с.
9. Циркуляр Ц-06-96 «О повышении надежности турбогенераторов мощностью 100–800 МВт, работающих в режимах недовозбуждения». – М.: РАО «ЕЭС России», 1996.
10. Назолин А.Л., Поляков В.И. Генераторы. Виброакустическая диагностика и ресурсосберегающая эксплуатация // Новости Электротехники. – 2008. – № 3(51).
11. Петров В.Н. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2002. – 688 с.
12. Степанов М.Ф. Основы проектирования экспертных систем технической диагностики: учеб. пособие. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000. – 128 с.
13. Глебов И.А., Данилевич Я.Б. Диагностика турбогенераторов. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. – 118 с.

Поступила 16.02.2015 г.