

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ РАБОТЫ  
ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ –  
ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ  
НА ВЫРАБОТКУ ЭНЕРГИИ**

**Канд. техн. наук ЯНИЦКИЙ В. А.**

*Республиканское унитарное предприятие «БЕЛТЭИ»*

В настоящее время около 94–96 % всей энергии, вырабатываемой Белорусской энергосистемой, получается за счет сжигания природного газа. Известна тенденция роста мировых цен на природный газ и нефть. Учет этих факторов требует разработки эффективных и разнообразных мер обеспечения устойчивого развития отрасли. Освоение альтернативных источников энергии связано со значительными инвестициями и достаточно длительными сроками перевооружения отрасли. Однако в отрасли имеются резервы, освоение которых обеспечивает значительную экономию энергетических ресурсов при значительно меньших затратах, связанных с их реализацией. Одним из перспективных способов повышения эффективности отрасли является применение новых способов управления работой оборудования.

При изменениях режимов выработки энергии оборудования электростанций, других внешних возмущениях поддержание значений важнейших технологических параметров в заданных диапазонах обеспечивается работой средств автоматики.

При глубоких нарушениях работы оборудования срабатывают технологические защиты, не позволяющие событиям развиваться по опасным сценариям, связанным с повреждением оборудования и другими нежелательными последствиями. Однако срабатывание защит связано с ускоренным износом оборудования и дополнительными затратами топлива на восстановление прежнего режима или работой по менее экономичным временным схемам.

Одной из важнейших функций человека-оператора на электростанции является своевременное обнаружение нарушений, определение причин нарушений и принятие мер по недопущению неблагоприятного развития событий, в том числе срабатывания защит. При этом используются такие качества человека, как универсальность – способность найти алгоритм решения в различных ситуациях, способность к обучению, в том числе умение восстанавливать статистические связи между различными факторами и событиями, выработать алгоритм поведения при трудноформализуемых ситуациях, когда поступающей информации недостаточно для принятия обоснованного решения или от объекта поступает противоречивая информация.

Однако человеку присущи и существенные недостатки, которые во многих случаях не позволяют ему выполнять требуемые функции. К ним относятся достаточно высокая вероятность ошибок при считывании и обработке информации, низкая скорость обработки получаемой информации,

ограниченные возможности запоминания информации, нестабильность при выполнении одинаковых функций, что связано с воздействием на человека различных внешних и внутренних факторов. При определенных обстоятельствах человек может потерять способность к целенаправленному анализу поступающей информации и начать действовать наугад.

Согласно статистическим данным вероятность безошибочной работы человека-оператора при достаточно стабильных режимах работы оборудования под нагрузкой составляет 97 %. При быстро изменяющихся режимах работы оборудования, сопровождающихся изменениями контролируемых параметров, вероятность ошибок человека-оператора резко возрастает.

Согласно [1] вероятность ошибок, приводящих к отказам первой и второй степеней, не превышает 0,5 указанных видов нарушений для одного энергоблока в течение года. Однако согласно сведениям этого автора в течение года допускается на несколько порядков больше ошибок, последствия которых не так очевидны, и в большинстве случаев просто остаются незамеченными. Однако эти нарушения также приводят к пережогам топлива и к ускоренному износу оборудования, что в конечном итоге также приводит к пережогам топлива.

Анализ статистических данных, выполненных автором, показал, что есть виды нарушений работы оборудования, при появлении которых вероятность допущения ошибок оперативным персоналом значительно выше, чем при других видах нарушений. К таким видам нарушений следует отнести падение вакуума в конденсаторе паровой турбины, отклонение от нормы параметров свежего пара, самопроизвольные изменения нагрузки турбины, некоторые виды нарушений работы газовоздушного тракта котла, нарушение питания котла и др.

Исследования, выполненные в 80-е гг. прошлого столетия [2–4], показали, что включение человека-оператора в контур управления работой оборудования вносит повышенный риск, снижающий надежность работы всей системы, так как надежность выполнения своих функций человеком существенно уступает надежности выполнения функций техническими средствами управления. Очевидно, что эффективность действий человека-оператора может быть повышена, если значительную часть функций, обычно выполняемых человеком, возложить на технические средства.

Первые попытки создания систем представления текущей информации человеку-оператору, изменяющих форму и состав отображаемой информации в зависимости от конкретной технологической ситуации, предприняты в 80-е гг. прошлого столетия.

В связи с кризисными явлениями в экономике СССР, а позднее – стран СНГ работы по этой теме были фактически прекращены. В других странах публикации по этой теме тоже отсутствовали. Однако начиная с 2004 г. появились публикации в нескольких странах, которые свидетельствуют об интенсивно ведущихся работах в этом направлении.

К настоящему времени сформировалось несколько отличающихся подходов к решению поставленной задачи.

В Российской Федерации при разработке способов представления текущей информации в системах диспетчерского управления электрическими сетями предусмотрено изменение состава отображаемых показателей

и порядка их расположения в зависимости от конкретной технологической ситуации [5, 6]. Отмечается, что изменение способов представления информации позволило повысить мобилизационную готовность оперативного персонала, увеличить скорость принятия решений и их качество.

В Финляндии, Германии, Шотландии, Абу-Даби, ОАЕ, Индонезии, Малайзии внедрены системы дистанционного диагностирования (remote diagnostic) работы установок электростанций [7]. В этих системах при возникновении признаков нарушений работы оборудования электростанции текущая информация, характеризующая его работу, автоматически пересылается в диагностический центр. После обработки поступившей информации и выявления причин нарушений полученная информация передается на контролируемый объект для использования при управлении работой оборудования.

Создание диагностического центра, обслуживающего несколько энергетических объектов (электростанции, котельные, предприятия электрических и тепловых сетей), позволяет сократить затраты, связанные с созданием системы автоматического анализа нарушений работы оборудования. Обязательным условием успешного функционирования таких центров является наличие надежных высокоскоростных линий связи.

В странах СНГ автоматическая обработка информации, поступающей от оборудования электростанций, традиционно осуществляется в АСУ ТП, создаваемой непосредственно на электростанции. Объемы автоматически обрабатываемой информации, производительность технических средств АСУ ТП, как правило, позволяют создать систему автоматического анализа нарушений работы оборудования при приемлемых затратах на ее создание.

В РУП «БЕЛТЭИ» разработана система автоматического выявления и анализа нарушений (СВАН) работы оборудования электростанций, которая может использоваться в качестве подсистемы АСУ ТП энергоустановки или же в качестве самостоятельной системы анализа нарушений работы оборудования [8]. В последнем случае СВАН должна работать совместно с системой автоматического сбора и первичной обработки исходной информации.

Назначение СВАН – контроль работы, анализ нарушений работы оборудования, формирование сообщений о результатах анализа и рекомендаций по управлению при режимах работы оборудования под нагрузкой.

Основу СВАН составляет комплекс программ расчетов для ЭВМ, каждая из которых выполняется в зависимости от того, какая технологическая ситуация сложилась в текущий момент.

Структурная схема комплекса программ представлена на рис. 1.

**Следящая программа** запускается после каждого цикла обновления исходной информации и осуществляет контроль допустимости изменений важнейших контролируемых параметров: изменение параметра в заданном допустимом диапазоне, допустимость скоростей изменения контролируемых параметров, допустимость изменений сигналов, характеризующих режим работы элементов технологической схемы.

**Диспетчер** уточняет общую технологическую ситуацию, в том числе проверяет, фиксировалось ли аналогичное нарушение в течение заданного периода времени в прошлом.

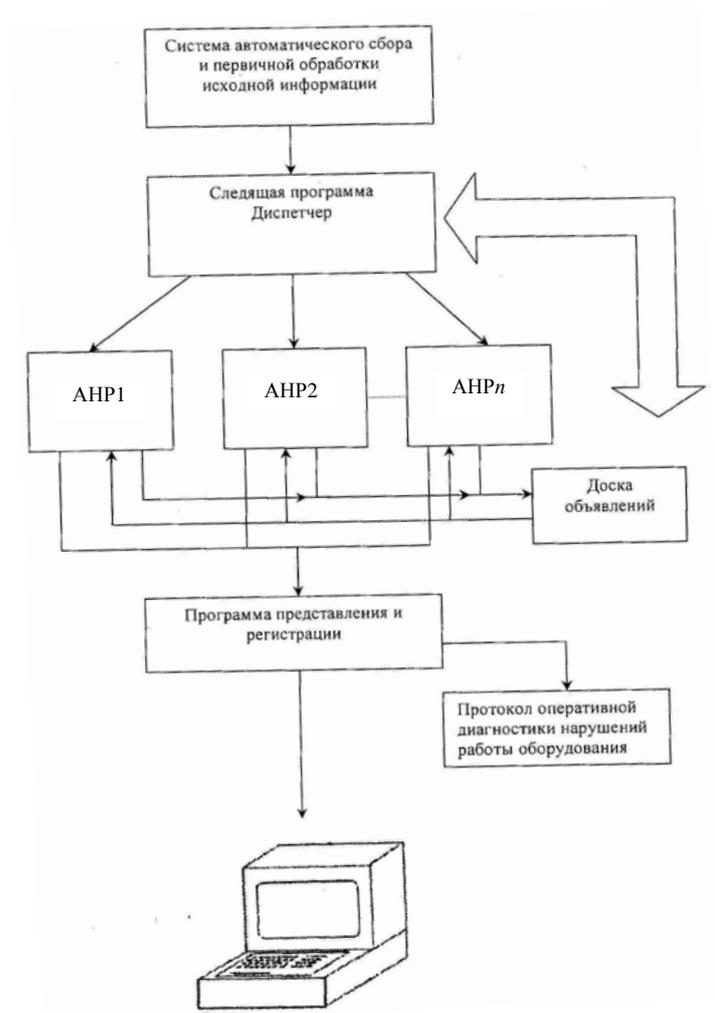


Рис. 1. Структурная схема СВАН

Каждая **программа анализа нарушений (АН)** работы предназначена для анализа конкретного вида нарушения работы оборудования, например падение вакуума в конденсаторе, отклонение температуры свежего пара за котлом и т. д.

Результаты расчетов АН, содержащие указания причин выявленного нарушения работы и рекомендуемые действия передаются программе отображения и регистрации и в кратком виде отображаются на **Доске объявлений**. Если анализ автоматически поступающей информации не позволяет однозначно определить причины нарушений, то в диагностическом сообщении указываются действия, которые целесообразно выполнить для уточнения ситуации и подтверждения или отклонения предполагаемых причин нарушения.

Программа отображения и регистрации автоматически формирует диагностическое сообщение о нарушении на мониторе щита управления. Сообщение включает графическую и цифро-буквенную части. Графическая часть отображает изменение во времени показателя, характеризующего нарушение. Цифро-буквенная часть сообщения содержит указание вида

нарушения и повлиявших на нарушение факторов. Указываются фактические, нормативные (допустимые) значения параметров, характеризующих состояние элементов технологической установки, оказавших влияние на выявленное нарушение.

Кроме сообщений, отображенных на щите управления, формируется «Протокол оперативной диагностики нарушений работы оборудования». Выписка из протокола оперативной диагностики нарушений приведена на рис. 2.

ПРОТОКОЛ  
ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИИ РАБОТЫ ЭНЕРГБЛОКА N 8

АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОРМЫ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРОВОДАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЗА ВРЧ КОТЛА

26, 10, 84Г, ВРЕМЯ ВЫЗОВА АОР 14ЧАС, 1МИН, 8Км 1  
ТЕКУЩЕЕ ВРЕМЯ 15ЧАС, 17МИН,

| ПАРАМЕТР, РАЗМЕРНОСТЬ                                    | ФАКТ   | НОРМА  |
|--|--------|--------|
| ПОНИЖЕНА Т СРЕДЫ ЗА ВРЧ КОТЛА, Н-А, ГРАД                 | 412,00 | 425,00 |
| ПОНИЖЕНА Т СРЕДЫ ЗА ВРЧ КОТЛА, Н-Б, ГРАД                 | 419,00 | 425,00 |
| РАЗВЕРКА Т СРЕДЫ ЗА ВРЧ ПО НИТКАМ А И Б<br>НА 7,00 ГРАД  |        |        |
| ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС, Т ЗА ВРЧ УСТАНОВИТСЯ В НОРМЕ         |        |        |
| ОТКЛОН, СОДЕРЖ.КИСЛОРОДА ЗА ТОПОКИ КОТЛА, ПРОЦ           | 0,95   | 300    |
| ПЕРЕКОС СОДЕРЖ.КИСЛОРОДА ПО ПОЛУТОПКАМ                   |        |        |
| Н-А 0,64 ПРОЦ, Н-Б 1,26ПРОЦ                              |        |        |
| ПОНИЖЕНО ДАВЛЕНИЕ МАЗУТА НА КОТЕЛ, КГС/СМ <sup>2</sup>   | 33,40  | 35,00  |
| ОТКЛОН, ОТ НОРМЫ ДАВЛЕН, ВОЗДУХА НА ЦИКЛОН, ММ, ВСТ.     | 400,00 | 380,00 |
| ВКЛЮЧЕН ОДИН ДЫМОСОС РЕЦИРКУЛЯЦИИ                        |        |        |
| ***** КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУР ПАРОВОДАЮЩЕЙ СРЕДЫ *****       |        |        |
| ***** ЗА ВРЧ, НРЧ, ЦИКЛОНЫ *****                         |        |        |
| ПАРАМЕТР, РАЗМЕРНОСТЬ                                    | ФАКТ   | СРЕДН  |
| ОТКЛОН, ОТ СРЕДН, Т СРЕДЫ ЗА ЦИКЛОНОМ N 3, ГРАД          | 320,00 | 312,00 |
| ОТКЛОН, ОТ СРЕДН, Т СРЕДЫ ЗА ЦИКЛОНОМ N 4, ГРАД          | 306,00 | 312,00 |
| / *** РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА И ВОЗД. ПО ЦИКЛОНАМ ***      |        |        |
| ОТКЛ, ОТ СРЕДН, РАСХ, ОБЩ, В*ХА НА ЦИКЛ, N1, ТИС, МКУБ/Ч | 00     | 280,25 |
| ОТКЛ, ОТ СРЕДН, РАСХ, ОБЩ, В*ХА НА ЦИКЛ, N2, ТИС, МКУБ/Ч | 567,00 | 280,25 |

Рис. 2. Выписка из протокола оперативной диагностики нарушений работы при отклонении температуры среды за верхней радиационной частью котла

В 1985 г. внедрена в промышленную эксплуатацию на ТЭЦ-21 Мос-энерго подсистема СВАН, осуществляющая анализ нарушений работы

теплофикационных энергоблоков электрической мощностью 250 МВт. Кроме управляющих и вспомогательных программ, разработанное программное обеспечение включало программы анализа нарушений пароводяного и газовоздушного трактов котлов и программы анализа нарушений работы конденсационной установки паровой турбины.

Подсистема СВАН выполнена как надстройка к существующей АСУ ТП. Технические средства АСУ ТП включали специализированный вычислительный комплекс СЦКУ-3 Московского завода ОЗАП и двухмашинный вычислительный комплекс с ЭВМ СМ-2 Северо-Донецкого завода вычислительной техники. В СЦКУ-3 осуществляются автоматический сбор и первичная обработка исходной информации. После СЦКУ-3 информация передается на верхний уровень – в двухмашинный вычислительный комплекс, в котором выполняются расчеты и формируются результаты решения задач АСУ. Программы расчетов СВАН реализованы на верхнем уровне вычислительного комплекса как подсистема АСУ ТП.

Управление работой комплекса программ СВАН осуществляется управляющими программами АСУ ТП.

В 1991 г. внедрен в промышленную эксплуатацию комплекс программ, осуществляющий автоматический анализ нарушений работы конденсационной установки паротурбинного энергоблока электрической мощностью 300 МВт на Рязанской ГРЭС.

Так же, как в предыдущем случае, комплекс программ СВАН реализован как подсистема АСУ ТП энергоблока, и обработка поступающей информации осуществляется в двухуровневом вычислительном комплексе.

Разработан, испытан заказчиком с использованием специально разработанных моделей и принят для внедрения комплекс программ анализа нарушений работы контура многократной принудительной циркуляции и паротурбинной установки атомного энергоблока с реактором РБМК-1000. В связи с последующей заменой генерального разработчика системы управления энергоблоком и технических средств управления работой энергоблока разработанный комплекс программ СВАН не был внедрен в эксплуатацию.

Разработан, испытан на моделях комплекс программ анализа нарушений работы котла паропроизводительностью 420 т/ч. Результаты разработки целесообразно использовать на электростанциях Республики Беларусь.

Имеются решение технического совета Минской ТЭЦ-4 РУП «Минск-энерго» и согласие Министерства энергетики Республики Беларусь о разработке СВАН теплофикационного энергоблока электрической мощностью 250 МВт с частичным финансированием работ из фонда министерства. Однако до настоящего времени финансовые средства не выделены.

Для различных типов энергетического оборудования разработаны и испытаны с применением специально разработанных имитационных моделей более 50 программ анализа нарушений работы. При низкой производительности технических средств, как, например, описанных выше для ТЭЦ-21 Мосэнерго, задержки формирования сообщений в некоторых случаях составляли несколько секунд. При использовании в составе технических средств АСУ ТП современных промышленных контроллеров на ниж-

нем уровне и на верхнем – объединенных в сеть персональных компьютеров задержки сообщений не превышают нескольких долей секунды.

Опыт промышленной эксплуатации СВАН, полученный на ТЭЦ-21 Мосэнерго и Рязанской ГРЭС, показал значительные преимущества нового способа представления информации. Коротко следует отметить наиболее важные из них:

- достаточно полный, определенный заранее объем анализируемой информации, связанной с конкретным нарушением работы;
- значительное сокращение времени анализа технологических ситуаций за счет высокого быстродействия средств вычислительной техники и, следовательно, большего запаса времени на устранение нарушения (ранее выполненные исследования показали, что при традиционных способах анализа ситуаций фактическое время, необходимое для анализа ситуаций, во многих случаях превышает располагаемое);
- представление результатов регистрации нарушения в удобной для последующего анализа форме повышает заинтересованность оперативного персонала в своевременном и качественном устранении нарушений (последнее преимущество наглядно проявилось при работе персонала в ночные смены, когда контроль за их деятельностью ослаблен).

Следует отметить, что по сообщениям в печати, принято решение о создании центра дистанционного мониторинга работы энергетического оборудования под Санкт-Петербургом. По кратким печатным сообщениям трудно восстановить все особенности планируемой разработки. Однако, учитывая то, что в современных АСУ ТП широко используемым способом обработки информации является разделение обработки на два этапа и пересылка информации с нижнего уровня технических средств на верхний, естественно предположить, что при создании диагностического центра нижний уровень обработки информации будет реализован на энергетических объектах, а верхний – в диагностическом центре.

В этом случае для адаптации разработанной СВАН к условиям работы в составе диагностического центра потребуются ее незначительная корректировка.

## **ВЫВОДЫ**

1. Использование автоматического анализа технологических ситуаций при эксплуатации энергетического оборудования – существенный фактор повышения надежности и эффективности действий оперативного персонала энергетических комплексов.

2. В настоящее время системы автоматической диагностики оборудования реализуются в двух различных формах: в виде центров дистанционного мониторинга эксплуатации оборудования и в виде подсистем АСУ ТП.

3. В РУП «БЕЛТЭИ» разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию в составе АСУ ТП энергоблоков система автоматического выявления и анализа нарушений работы оборудования. При незначительных изменениях она может использоваться в составе программно-технического обеспечения центра дистанционного мониторинга эксплуатации оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов, Д. К. Характеристика надежности и эффективности деятельности оператора при управлении энергоблоком в основном режиме его работы / Д. К. Федотов // Теплоэнергетика. – 1976. – № 11. – С. 42–44.
2. Ляшенко, Л. И. Система оперативного поиска и принятия решений для оператора при аварийных ситуациях на энергоблоках ТЭС / Л. И. Ляшенко, В. Я. Гиршфельд, Б. И. Крючков // Теплоэнергетика. – 1981. – № 10. – С. 62–64.
3. Дьяков, А. Ф. Моделирование диагностики оперативной ситуации / А. Ф. Дьяков, С. Д. Гарбар // Электрические станции. – 1986. – № 5. – С. 10–13.
4. Прангишвили, И. В. Концептуальные основы построения современных АСУ ТП и АСУП / И. В. Прангишвили // Приборы и системы управления. – 1989. – № 4. – С. 57.
5. Технология ситуационного отображения данных текущего режима и ее реализация на диспетчерском щите ОДУ Средней Волги / Л. С. Штейнбок [и др.] // Электрические станции. – 2004. – № 8. – С. 33–41.
6. Интеллектуальная информационно-диагностическая система и ее реализация в ОАО «Тюменьэнерго» / В. М. Надточный [и др.] // Электрические станции. – 2004. – № 8. – С. 58–62.
7. Ковалев, А. Н. Дистанционная поддержка и оптимизация эксплуатации электрических станций / А. Н. Ковалев // Газотурбинные технологии. – 2007. – № 7. – С. 12–16.
8. Яницкий, В. А. Автоматизация принятия решений при оперативном управлении работой оборудования тепловых и атомных электрических станций / В. А. Яницкий. – Минск: РУП «БЕЛТЭИ», 2006. – 193 с.

Поступила 10.01.2008

УДК 663.52-007.5

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БРАГОРЕКТИФИКАЦИИ

**Асп. УЛЬЯНОВ Н. И., канд. техн. наук КУЗЬМИЦКИЙ И. Ф.**

*Белорусский государственный технологический университет*

Важнейшее направление развития пищевой промышленности Республики Беларусь – повышение эффективности производства и экономия всех видов ресурсов. Поэтому повышение технологической эффективности работы брагоректификационной установки при производстве ректифицированного спирта, обеспечивающей рациональное использование сырьевых ресурсов при одновременном снижении затрат на производство, является важной задачей.

Ректификационные и брагоректификационные установки (РУ и БРУ) широко распространены в спиртовой, гидролизной и других отраслях промышленности. С их помощью получают ряд важных для народного хозяйства чистых продуктов, в первую очередь – этиловый ректифицированный спирт (этанол).

Современный рынок с неизбежностью требует от производителя продукцию только высшего качества. Применительно к спиртовому производ-