

# РАНЖИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1200

**Н.А. Бочарова, А.В. Воронов, М.Т. Слепов**

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»  
396072, Воронежская обл., г. Нововоронеж, Промышленная зона Южная, 1*

**Р**

В условиях повышения требований надежности, безопасности и долговечности к энергоблокам все большее применение начинают находить системы технического диагностирования, которые за время своего развития прошли путь от простейших индикаторных систем к сложным программно-техническим комплексам (ПТК), требующим при эксплуатации нетривиальных навыков и разнородных знаний. Конечная информация, выдаваемая ПТК, носит специфический характер и доступна к восприятию только персоналом диагностических подразделений АЭС, что затрудняет как эксплуатацию диагностических комплексов, так и дискредитирует саму концепцию раннего и своевременного обнаружения дефектов. Представлены структура информационных потоков современных систем технической диагностики (СТД) применительно к инновационному энергоблоку ВВЭР-1200 на примере Нововоронежской АЭС и результаты диагностирования в виде штатных отчетных форм с обобщенной информацией о работоспособности составных частей СТД и системы в целом. Приводится подробный анализ получаемой информации от систем технической диагностики, а также рассматривается предложенная авторами концепция «свертывания» диагностической информации в удобную для восприятия оперативным персоналом форму, носящую универсальный характер, с возможностью размещения на электронных или бумажных носителях информации.

**Ключевые слова:** ВВЭР-1200, система технической диагностики, диагностическая информация, программно-технический комплекс, система контроля вибрации, система контроля свободных предметов, система контроля управления и диагностики.

## ВВЕДЕНИЕ

Самые первые СТД были введены в эксплуатацию на Нововоронежской АЭС в 1992 г. Ввиду отсутствия в то время готовых к поставке СТД было принято решение использовать импортные системы, но с привязкой их к оборудованию отечественных энергоблоков. Выбор был сделан в пользу решения фирмы «Siemens» ФРГ. Активная эксплуатация СТД выявила как достоинства систем, так и их существенные недостатки. Но несмотря на неоднозначный эффект от эксплуатации СТД первого поколения в дальней-

© Н.А. Бочарова, А.В. Воронов, М.Т. Слепов, 2022

шем все новые энергоблоки, вводимые в работу, оснащались штатными системами уже на уровне проекта, а введенные в эксплуатацию дооснащались согласно разработанным мероприятиям. По сравнению с предыдущим поколением СТД второй генерации создавались с учетом выявленных недостатков и ошибочных решений при вводе в эксплуатацию, что в конечном итоге позволило создать достаточно надежные ПТК. Благодаря согласованным действиям удалось выделить организации, отвечающие за создание и поставку специализированных СТД на АЭС (ЗАО «НТЦД», АО ЦКБМ «Энергонасос» и др.), что практически полностью решило проблему с необходимыми комплектующими и своевременным ремонтом, аналогично был повышен ресурс работы технических средств на основе новой элементной базы. Также была разработана и введена необходимая рабочая документация для работы с СТД, определяющая их статус, возможности, алгоритмы действия персонала и т.д. В целом, СТД второго поколения при должном техническом обслуживании и грамотном использовании (наличие квалифицированного персонала на АЭС является главным критерием) показали себя надежными системами, приносящими определенный профит. В качестве примера следует рассмотреть [1], где представлены случаи регистрации СТД аномальных события различного типа на энергоблоках ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Особенно показателен пример регистрации аномалии на энергоблоке № 1 АЭС «Тяньвань» с разрушением лопасти рабочего колеса ГЦН в 2006 г., когда три независимые друг от друга СТД зарегистрировали данное событие.

В дальнейшем развитие СТД шло по пути интеграции локальных систем в единое «информационное пространство» с включением в него данных от различных блочных информационных систем для оптимизации алгоритмов диагностирования, поэтому на последних введенных в эксплуатацию энергоблоках ВВЭР-1000 появляется новая система контроля, управления и диагностики (СКУД) взамен отдельных (локальных) СТД. В настоящее время максимального уровня развития и интеграции СКУД удалось достичь на энергоблоке поколения 3+ реактора ВВЭР-1200. В качестве примера рассмотрим СТД, входящие в состав СКУД на энергоблоке № 1 Нововоронежской АЭС-2 [2, 3].

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СТД, ВХОДЯЩИХ В СКУД**

В данной статье не рассматривается детальное описание технических и программных средств СТД, входящих в СКУД энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2, а дается лишь общее представление о выполняемых функциях и задачах, решаемых с их помощью. На рисунке 1 показана принципиальная схема организации информационного обмена между отдельными (локальными) СТД, входящими в СКУД [4 – 6].

В качестве локальных СТД представлены следующие.

1. СКВ – система контроля вибрации. Контроль вибрационного состояния оборудования главного циркуляционного контура (ГЦК), корпуса реакторной установки (РУ), внутрикорпусных устройств (ВКУ). В отличие от СТД поколений 1 и 2 – непрерывный режим работы.

2. САКТ – система акустического контроля течей. Контроль и локализация течей на оборудовании и ГЦК. Режим работы непрерывный.

3. СКТВ – система контроля течей по влажности. Контроль и локализация течей, основанный на другом физическом принципе, чем САКТ. Осуществляет поиск и локализацию течей на оборудовании, ГЦК и частично в помещениях с размещением оборудования второго контура. Режим работы непрерывный.

4. СОСП – система обнаружения свободных предметов. Главная задача – обнаружение и локализация свободных и слабозакрепленных предметов в пределах первого контура РУ. Режим работы непрерывный [7 – 10].

5. СКД – система комплексного диагностирования. Основная система в контуре ди-

агностики. Главная задача – обработка и представление поступающей информации от смежных систем, а также выдача законченных диагностических сообщений по мере отработки алгоритмов диагностирования. Режим работы непрерывный [11 – 13].

6. САКОР – система автоматизированного контроля остаточного ресурса. Осуществляет оценку остаточного ресурса основного оборудования РУ на основании непрерывного контроля теплотехнических параметров при различных режимах эксплуатации.

СКД как комплексная система не имеет собственных датчиков и выполняет обобщенный анализ данных, получаемых от СКВ, СОСП, СКТ (САКТ и СКТВ). В результате анализа STD формирует диагнозы о состоянии оборудования ГЦК и ВКУ с последующей передачей диагностических сообщений в систему верхнего блочного уровня (СВБУ) Нововоронежской АЭС-2 [14, 15].

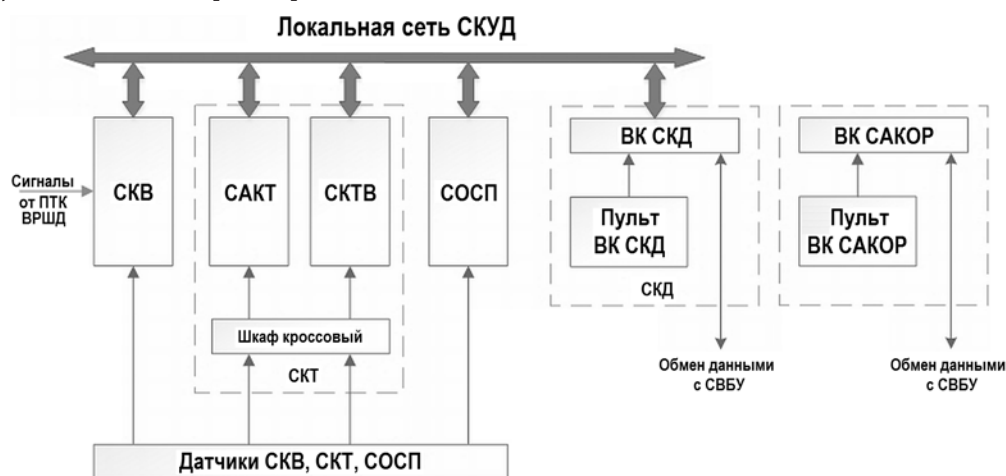


Рис. 1. Принципиальная схема организации информационного обмена между отдельными STD, входящими в СКУД

Системы из состава СКУД являются сложными техническими устройствами с многоблочной структурой и обширной сетью датчиков. По этой причине требуется проведение диагностирования технического состояния оборудования систем и их измерительных каналов. Для любой системы из состава СКУД анализ состояния составных частей и датчиков, установленных на ВВЭР-1200, выполняется непосредственно самой системой за счет функции самодиагностирования. Результаты самодиагностики отображаются на автоматизированных рабочих местах (АРМ) соответствующих систем с занесением отклонений в журнал событий. Как пример на системах САКТ и СКТВ ведутся журналы событий, в которых фиксируется техническое состояние системы и диагностические сообщения о вероятных и подтвержденных течах с местом их расположения и расходом теплоносителя.

Диагностика измерительных каналов требует участия персонала, так как определение корректности функционирования измерительного тракта и достоверности получаемых данных выполняется на основе анализа архивных данных. При регистрации аномального события проводится комплексная диагностика данных, полученных от зафиксировавшей аномалию системы и от смежных систем. Дальнейший анализ данных проводит персонал, ответственный за техническую диагностику систем. Комплексный подход позволяет сделать заключение о достоверности зафиксированных аномальных событий или неисправности датчиков систем. Дефектные каналы, выявленные посредством комплексного анализа диагностических сообщений, возможно отключать программно для вывода дефектного канала из всех диагностических расчетов до устранения неисправности, так как недостоверные данные одного канала могут повлиять на комплекс-

ное диагностирование системами оборудования ГЦК и ВКУ. В случае, когда отклонение в работе одного или нескольких каналов является незначительным, то целесообразно провести комплексный анализ с целью выявления причины дефекта, вероятная причина которого, возможно, связана с влиянием внешнего фактора, изменением в работе контролируемого оборудования или с некорректной работой канала.

### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ ПО СЦЕНАРИЮ**

Специфика работы различных СТД основана на выполнении одновременно двух функций: мониторинга, включающего в себя постоянное измерение значений контролируемых величин и сравнение их с выбранными порогами, и отсроченного анализа данных. Состав информации, методы ее обработки, необходимые дополнительные сведения для каждой конкретной СТД свои, поэтому не существует и не может быть неких универсальных алгоритмов, используемых на всех СТД разного класса, однако вычислительные блоки обработки архивов разных СТД могут совпадать. В СКВ накапливаются многоканальные реализации случайных процессов, каждая из которых состоит из нескольких десятков тысяч точек. Основным инструментом при работе с архивами СКВ является авто- и взаимный спектральный анализ случайных процессов. В СОСП также регистрируются реализации случайных, но уже нестационарных процессов, здесь также необходим спектральный анализ. Диагностика роторного оборудования также основана на спектральном анализе. Другими словами, при автоматизации процесса получения диагнозов разными СТД должны быть доступны различные элементарные операции (как специальные, так и общие). Последовательность таких элементарных операций получила наименование «сценарий», впервые введенное в практику специалистами ЗАО «Научно-технический центр «Диапром» (Павелко В.И.) [3]. В дальнейшем под термином «сценарий» будем понимать зафиксированную последовательность элементарных операций (своеобразный макрос). К элементарным операциям в СКВ относятся предварительная обработка зарегистрированной информации, фильтрация, оценки спектральных функций, выделение экстремумов функций, теоретико-множественные операции селекции резонансов по физическим источникам, сравнение с диагностическими порогами, различные типы отображения и т.д. В программной реализации сценарий – это файл, который в неизменном виде используется всякий раз, как только появляются новые многоканальные записи сигналов. Результатом работы сценария является информация в виде таблиц, содержащих краткие текстовые описания диагнозов, а также графическая информация, подтверждающая эти диагнозы. Таким образом, с помощью сценария по исходной многоканальной записи вычисляются диагностические признаки, а затем производится сравнение их с порогами. Диагностические признаки имеют, как правило, спектральное происхождение, т.е. требуется настройка как спектральных параметров оценивания, так и пороговых значений. Пороговые значения для систем раннего диагностирования проектом РУ не предусмотрены, они выбираются эмпирически после набора достаточной статистики.

На рисунке 2 в примере сценария «Вибрации ВКУ» [3] представлена блок-схема сценария. Сценарий построен на трех типах сигналов: ионизационные камеры (ИК) – 4 шт., датчик абсолютных перемещений (ДАП) – 4 шт., датчики прямого заряда (ДПЗ) – 7 шт. в составе одной сборки канала нейтронных измерений (КНИ).

Используются все автохарактеристики (15 АСПМ) и взаимные характеристики ДАП – ДАП, ИК – ИК, ДПЗ – ДПЗ, ДАП – ИК, ДАП – ДПЗ, ИК – ДПЗ. Обилие пар разнородных взаимных характеристик сильно усложняет логику селекции частот (маркеров). Данный сценарий указывает на физическое происхождение вибрационных и нейтронно-шумовых эффектов. Наличие значимых корреляций (т.е. если значение функции когерентности превышает, по крайней мере, 0.2) между сигналами разного типа свидетельству-

ет о наличии различных эффектов:

- ИК – ДПЗ – совместные колебания внутрикорпусной шахты и ТВС;
- ДАП – ДПЗ – совместные колебания корпуса реактора и ТВС;
- ДАП – ИК – совместные колебания корпуса реактора и внутрикорпусной шахты.

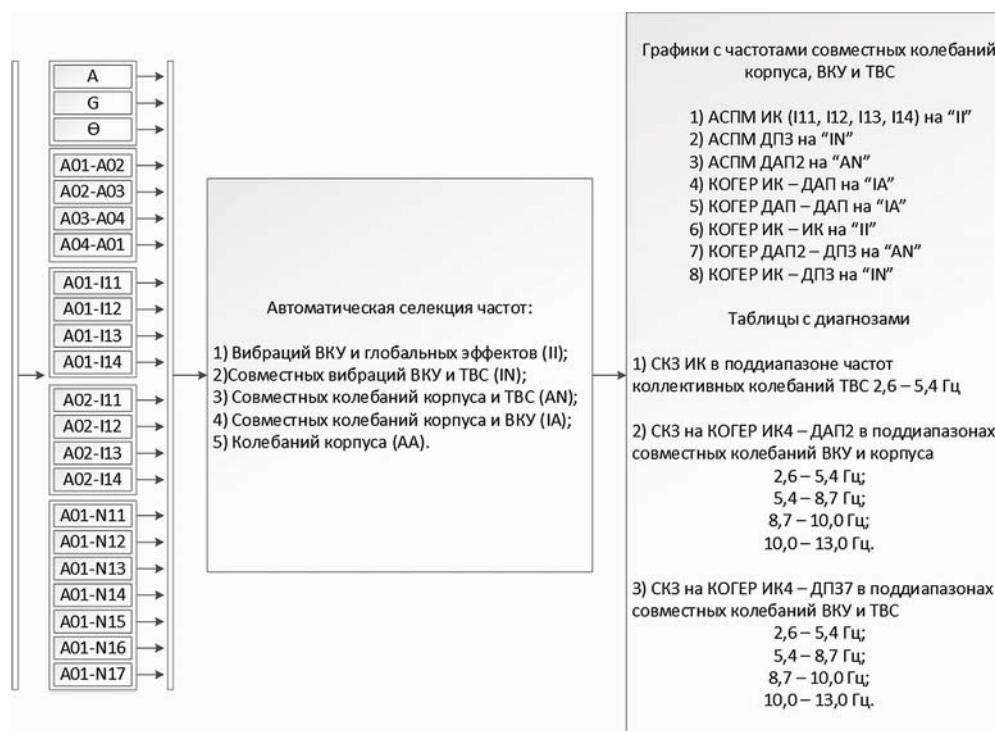


Рис. 2. Блок-схема выполнения сценария «Вибрация ВКУ»

Наличие общих частот для всех трех типов совместных колебаний свидетельствует о колебаниях системы корпус - шахта - ТВС. По значимым корреляциям между сигналами одного типа можно выявлять

– глобальные нейтронно-температурные и (или) барометрические эффекты активной зоны, коллективные колебания ТВС (частотный состав и относительную величину колебаний), колебания шахты и (или) корпуса РУ (частотный состав и относительную величину колебаний) по парам сигналов ИК – ИК;

– коллективные и локальные колебания ТВС, колебания шахты, корпуса, вынужденные колебания ТВС на частотах внутризонных акустических стоячих волн (АСВ), в том числе и высших пространственных гармоник АСВ, глобальные эффекты внутризонного нейтронного шума по парам сигналов ДПЗ – ДПЗ.

Обработка накопленных архивов по сценариям существенно упрощает работу персонала диагностических подразделений АЭС. В конечном итоге после реализации сценария пользователь получает оформленный в автоматическом режиме отчет, содержащий всю необходимую информацию (рис. 3), на основании которой возможно принимать решения как о текущих режимах эксплуатации, так и о корректировке ремонтных мероприятий в период проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР).

При поставке СКВ на энергоблоки № 1 и 2 Нововоронежской АЭС-2 программное обеспечение комплектуется стандартной библиотекой сценариев, включающей в себя

- АСВ – определение вибраций на частотах АСВ [3];
- вибрации корпуса и ВКУ – определение совместных вибраций корпуса РУ и ВКУ;
- вибрации петель – определение вибраций циркуляционных петель реакторной

установки;

- вибрации ТВС – определение вибрации ТВС на собственных частотах;
- вибрации корпуса – определение вибраций корпуса РУ.

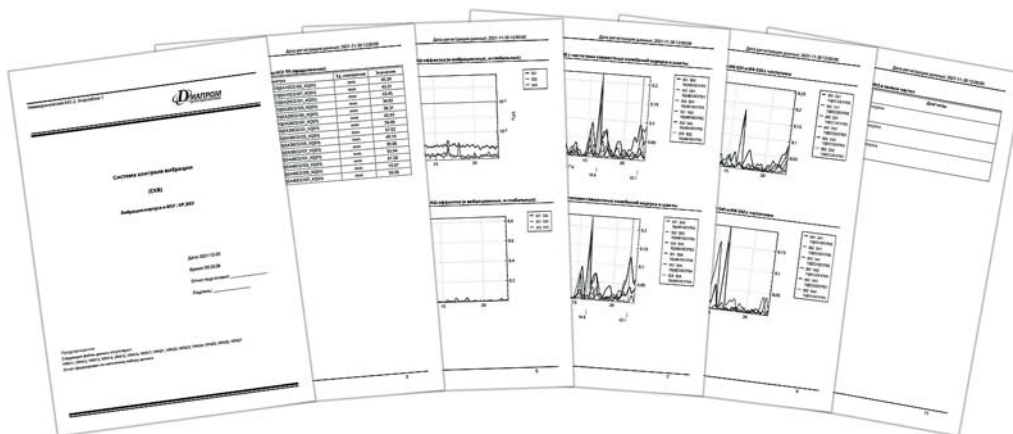


Рис. 3. Отчет, оформленный при выполнении сценария «Вибрация ВКУ»

Опережающий ввод СТД в эксплуатацию и интенсивное использование библиотеки сценариев позволили разработать два новых алгоритма обработки информации:

– тепловые перемещения – расчет тепловых перемещений, скорости тепловых перемещений, величины скачка при разогреве (расхолаживании) энергоблока или в процессе работы на мощности;

– расход общеконтурный и поканальный, энергонапряженность ТВС, кипение – определение как общеконтурного, так и поканального расхода теплоносителя с выявлением энергонапряженных ТВС с различными стадиями кипения.

Указанные дополнительные сценарии включены в библиотеку и уже внедрены на Белорусской АЭС. Однако несмотря на все достоинства обработки информации по сценариям имеются некоторые недостатки данного концептуального подхода [16, 17], в частности:

– наличие в отчетах информации, понятной только узким специалистам, а не ремонтному и эксплуатационному персоналу АЭС, что не позволяет использовать в полной мере указанные материалы персоналом соответствующих служб;

– большой и часто избыточный объем данных, который необходим для планомерной исследовательской работы и не подходит для принятия своевременных решений, имеющих существенный лимит по времени;

– формат отчетов сформирован исходя из требований к размещению информации только на бумажных носителях;

– перенасыщение графическими данными;

– отсутствие определенных критериев проверки информации на достоверность, т.е. получение данных о неисправных каналах и отсутствие информации о достоверности сигналов с данных каналов.

Указанный перечень является неполным, однако даже по этому списку ясно, что для эффективной работы систем требуется разработка некой универсальной формы, понятной всему персоналу АЭС, а не только специалистам диагностических подразделений.

### **РАНЖИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ПО СТЕПЕНИ ВАЖНОСТИ**

Для предоставления наиболее важной информации о состоянии СТД и контролируемого ими оборудования руководящему и оперативному персоналу разработан ежемесячный отчет по работе стационарных систем (рис. 4). Этот отчет имеет блочную архитектуру, позволяющую визуально разграничить информацию по системам.

Отчет по работе стационарных систем диагностики. Энергоблок №2 НВАЭС 2.																										1.10.2021—31.10.2021																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																
Работа на мощности																																														
Состояние измерительных каналов:																				Система контроля вибрации																										
Датчики относительных перемещений																				Акселерометры												АКВКУ														
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
+																				+												+														
<b>Обработка информации по сценариям:</b>																																														
Тепловые перемещения						Акустические стоячие волны						Вибрации корпуса и ВКУ						Вибрации ПГ, ГЦНА, петель						Вибрации корпуса				Вибрации ТВС				Энергонапряженность локальный расход														
30.10.2021						31.10.2021						31.10.2021						31.10.2021						-				-																		
норма <sup>1</sup>						норма						норма						норма <sup>2</sup>						-				-																		
отчёт						отчёт						отчёт						отчёт						-				-																		
Комментарии:																																														
1) По каналу 12(R20) нет данных. 2) В каналах 02(R12) и 04(R13) недостоверные показания. В канал акселерометр 35(S03) превышение диапазона, датчик исключен из работы.																																														
Состояние каналов:																				Система обнаружения свободных предметов																										
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																											
+																				+																										
Комментарии:																																														
Система работает в штатном режиме.																																														
Состояние измерительных каналов СТД ГЦНА																				Система технической диагностики ГЦНА																										
Тип		ГЦНА 1				ГЦНА 2				ГЦНА 3				ГЦНА 4				Комментарии: -С момента пуска ГЦН №4 отсутствуют показания датчика акселерометра 20ЛВ40СУ006. <b>Диагнозы:</b> - «Вибросостояние ГЦНА не удовлетворительно» ГЦН №1 зафиксировано по уровню виброскорости датчика акселерометра 20ЛВ10СУ001 > 4,5 мм/с.																												
Прокси - метры	20ЛВ10СГ001	+	20ЛВ20СГ001	+	20ЛВ30СГ001	+	20ЛВ40СГ001	+																																						
	20ЛВ10СГ002	+	20ЛВ20СГ002	+	20ЛВ30СГ002	+	20ЛВ40СГ002	+																																						
Акселерометры	20ЛВ10СГ003	+	20ЛВ20СГ003	+	20ЛВ30СГ003	+	20ЛВ40СГ003	+																																						
	20ЛВ10СГ004	+	20ЛВ20СГ004	+	20ЛВ30СГ004	+	20ЛВ40СГ004	+																																						
	20ЛВ10СУ001	+	20ЛВ20СУ001	+	20ЛВ30СУ001	+	20ЛВ40СУ001	+																																						
	20ЛВ10СУ002	+	20ЛВ20СУ002	+	20ЛВ30СУ002	+	20ЛВ40СУ002	+																																						
	20ЛВ10СУ003	+	20ЛВ20СУ003	+	20ЛВ30СУ003	+	20ЛВ40СУ003	+																																						
	20ЛВ10СУ004	+	20ЛВ20СУ004	+	20ЛВ30СУ004	+	20ЛВ40СУ004	+																																						
	20ЛВ10СУ005	+	20ЛВ20СУ005	+	20ЛВ30СУ005	+	20ЛВ40СУ005	+																																						
20ЛВ10СУ006	+	20ЛВ20СУ006	+	20ЛВ30СУ006	+	20ЛВ40СУ006	-																																							
20ЛВ10СУ007	+	20ЛВ20СУ007	+	20ЛВ30СУ007	+	20ЛВ40СУ007	+																																							
Состояние измерительных каналов САКТ																				Системы контроля течей 1-го контура																										
Главный циркуляционный трубопровод								САОЗ				КД				Верхний блок				Комментарии: - Канал А56 исключен из алгоритма. - Канал А59 исключен из работы.  События, зафиксированные в «журнале событий САКТ»: - Вероятная течь на входном участке ГЦТ 4 петли; - Обнаружена течь на участке ГЦТ между ПГ и ГЦН 4-ой петли.  Диагнозы не подтвердились.																										
Петля 1				Петля 2				Петля 3				Петля 4				А1 + А4 + А7 + А10 + А37 + А33 + А52 + А56 - А2 + А5 + А8 + А11 + А38 + А34 + А53 + А57 + А3 + А6 + А9 + А12 + А39 + А35 + А54 + А58 + А13 + А15 + А17 + А19 + А40 + А36 + А55 + А59 - А14 + А16 + А18 + А20 + А41 + А48 + А44 + А60 + А21 + А24 + А27 + А30 + А42 + А49 + А45 + А61 + А22 + А25 + А28 + А31 + А43 + А50 + А46 + - А23 + А26 + А29 + А32 + А62 + А51 + А47 + -																														
В1	В4	В7	В10	В37	В33	В52	В56																																							
В2	В5	В8	В11	В38	В34	В53	В57																																							
В3	В6	В9	В12	В39	В35	В54	В58																																							
В13	В16	В19	В22	В40	В36	В55	В59																																							
В14	В17	В20	В23	В41	В48	В44	В60																																							
В15	В18	В21	В24	В42	В49	В45	В61																																							
В25	В28	В31	В34	В43	В50	В46	-																																							
В26	В29	В32	В35	В44	В51	В47	-																																							
В27	В30	В33	В36	В45	В52	В48	-																																							
Состояние измерительных каналов СКТВ																					Системы контроля течей 1-го контура																									
Главный циркуляционный трубопровод								САОЗ				КД					Комментарии: - Канал В17 исключен из работы. - В канале В50 зафиксировано превышение ставки 1 по относительной влажности. Персонал ЦТИАИ уведомлен.  События, зафиксированные в «журнале событий СКТВ»: - События не зафиксированы.																													
Петля 1				Петля 2				Петля 3				Петля 4						В1 + В4 + В7 + В10 + В37 + В33 + В52 + В56 + В2 + В5 + В8 + В11 + В38 + В34 + В53 + В57 + В3 + В6 + В9 + В12 + В39 + В35 + В54 + В58 + В13 + В16 + В19 + В22 + В40 + В36 + В55 + В59 + В14 + В17 + В20 + В23 + В41 + В48 + В44 + В60 + В15 + В18 + В21 + В24 + В42 + В49 + В45 + В61 + В25 + В28 + В31 + В34 + В43 + В50 + В46 + - В26 + В29 + В32 + В35 + В44 + В51 + В47 + - В27 + В30 + В33 + В36 + В45 + В52 + В48 + -																												
В1	В4	В7	В10	В37	В33	В52	В56																																							
В2	В5	В8	В11	В38	В34	В53	В57																																							
В3	В6	В9	В12	В39	В35	В54	В58																																							
В13	В16	В19	В22	В40	В36	В55	В59																																							
В14	В17	В20	В23	В41	В48	В44	В60																																							
В15	В18	В21	В24	В42	В49	В45	В61																																							
В25	В28	В31	В34	В43	В50	В46	-																																							
В26	В29	В32	В35	В44	В51	В47	-																																							
В27	В30	В33	В36	В45	В52	В48	-																																							

Рис. 4. Страница отчета по работе стационарных систем

Верхний блок предоставляет информацию о номере энергоблока, дате отчетного периода и режиме работы энергоблока (находился ли блок в стационарном режиме

работы или в состоянии останова, а также были ли переходные процессы между ними).

Эта информация влияет на процессы диагностирования оборудования и анализа полученных данных. При нахождении энергоблока в стационарном режиме работа всех ГЦН, циркуляция теплоносителя и гидродинамические процессы, происходящие с ним, вносят основной вклад в формирование виброакустической картины РУ. При переходных процессах происходят тепловые перемещения основного оборудования РУ, вызванные изменением температуры теплоносителя, меняется режим работы ГЦН, а также работает электроприводная арматура. Все эти факторы приводят к изменениям виброакустической картины РУ. Каждое из этих состояний обуславливает разный подход к анализу данных и интерпретации полученных результатов.

Далее каждый из следующих блоков представляет информацию в табличном виде о состоянии измерительных каналов, а также имеет комментарии, поясняющие предоставляемую табличную информацию.

Так в блоке, посвященном СКВ, не только отображена информация о состоянии каналов, но и представлено состояние контролируемого оборудования, основанное на результатах анализа отчетов, формируемых при выполнении сценариев. При изучении отчета в электронном виде есть возможность использования ссылок, предоставляющих доступ к отчетам сценариев СКВ.

Блоки, посвященные СОСП, СТД ГЦНА, СКТ, имеют схожую структуру, каждый из них предоставляет информацию о состоянии измерительных каналов, а также имеет раздел комментариев, в котором возможно описать отклонение в работе системы и зафиксированные аномальные события. Например, в разделе комментариев блока СТД ГЦНА предоставляется информация о зафиксированных диагнозах. В блоке СКТ предоставляются выдержки из журналов событий о зафиксированных вероятных или подтвержденных течах.

Таким образом, разработанный отчет позволяет ранжировать диагностическую информацию по степени важности и предоставлять ее руководящему и оперативному персоналу в наглядном и лаконичном виде, исключая необходимость детального изучения избыточной информации. Сведения о режиме работы блока в отчетном периоде позволяют правильно интерпретировать полученную информацию.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Рассмотрены основные вопросы диагностирования как самих СТД, так и контролируемого ими ВВЭР-1200. Описаны способы обработки данных диагностирования, представленных в форматах отчетов для сигналов разного типа. Обоснована необходимость разработки и внедрения периодических отчетов, основанных на анализе данных диагностирования СТД, позволяющих ранжировать предоставляемую информацию по степени важности. Представлен оптимальный формат отчета по работе стационарных систем, отражающий общее состояние СКУД.

## **Литература**

1. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Финкель Б.М. Системы диагностирования ВВЭР. – М.: Наука 2010. – 319 с. ISBN 978-5-02-040184-6.
2. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Slepov M.T. Vibration Acoustics Applied to VVER-1200 Reactor Plant. – World Scientific, 2021. – 586 p. DOI: <https://doi.org/10.1142/12220>.
3. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Слепов М.Т. Виброакустика в приложениях к реакторной установке ВВЭР-1200. – М.: Наука, 2018. – 469 с.
4. Аркадов Г.В., Павелко В.И., Слепов М.Т. Шумовой мониторинг в приложениях к реакторной установке ВВЭР-1200 (часть 1). – М.: Наука, 2021. – 221 с. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2021.4.10>.



5. Regulatory Guide 1.133. Loose Part Detection Program for the Primary System of Light Water Cooled Reactors: Tech. Rep. – U.S. Nuclear Regulatory Commission. – 1981. – 6 p.
6. Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants. Part 12 Loose Part Monitoring. – American Society of Mechanical Engineers (ASME). – 2015. – 523 p.
7. IEC 60988. Nuclear Power Plants. Devices Important to Safety. Acoustic Monitoring Systems for Detection of Loose Parts: Characteristics, Design Criteria and Operational Procedures. – 2009. – 75 p.
8. ГОСТ Р ИСО 13379-1-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Общее руководство. Часть 1. – М.: Стандартинформ, 2015. – 33 с.
9. *Olma B.* Determining the location of the source and mass estimation in the monitoring of loose parts of the LWR. // *Progress in Nuclear Energy.* – 1985. – Vol. 15. – PP. 583-594. DOI: [https://doi.org/10.1016/0149-1970\(85\)90086-1](https://doi.org/10.1016/0149-1970(85)90086-1).
10. *Choi Y.C., Park J.H., Choi K.S.* An impact source localization technique for a nuclear power plant by using sensors of different types. // *ISA Transactions.* – 2011. – Vol. 50. – No. 1. – PP. 111-118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2010.08.004>.
11. *Park J.H., Kim Y.H.* Impact source localization on an elastic plate in a noisy environment. // *Measurement Science and Technology.* – 2006. – Vol. 17. – No. 10. – PP. 2757-2766. DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/17/10/030>.
12. *Ki H.I., Seong In M., Soon Woo H.* ANN based localization of metal ball impacts on reactor pressure boundary structure. // *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Gyeongju, Korea, October 26-27.* – 2017. – 3 p.
13. *Figedy S., Oksa G.* Modern methods of signal processing in the loose part monitoring system. // *Progress in Nuclear Energy.* – 2005. – Vol. 46 (3-4). – PP. 253-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2005.03.008>.
14. *Liska J., Kunkel S.* Localization of loose part impacts on the general 3D surface of the nuclear power plant coolant circuit components. // *Progress in Nuclear Energy.* – 2017. – Vol. 99. – PP. 140-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.05.004>.
15. *Zheng H., Cao Y., Yang J.* A method for estimating impact location of loose part using NHT. // *Fourth International Symposium on Precision Mechanical Measurements* / Ed. by Y. Fei, K. C. Fan, R. Lu. – SPIE, 12.2008. – 6 p. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.819732>.
16. *Truong C., Oudre L., Vayatis N.* A review of change point detection methods. – 2018. – 46 p. Электронный ресурс: <https://arxiv.org/abs/1801.00718> (дата доступа 20.01.2022).
17. *Lavielle M.* Using penalized contrasts for the change point problem. // *Signal Processing.* – 2005. – Vol. 85. – No 8. – PP. 1501-1510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2005.01.012>.

Поступила в редакцию 25.01.2022 г.

#### Авторы

Бочарова Наталья Александровна, инженер  
E-mail: bocharovana@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Воронов Алексей Викторович, инженер  
E-mail: voronovav@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Слепов Михаил Тимофеевич, начальник отдела, к.т.н.  
E-mail: slepovmt@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC 621.039.4

## **RANKING OF INFORMATION FLOWS IN THE TECHNICAL DIAGNOSTICS SYSTEMS OF THE VVER-1200 POWER UNIT**

Bocharova N.A., Voronov A.V., Slepov M.T.

Branch of Concern Rosenergoatom JSC Novovoronezh NPP

1 Industrial zone Yuzhnaya, 1396072 Novovoronezh, Voronezh Reg., Russia

### ABSTRACT

In conditions of increasing requirements for the reliability, safety and durability of power units, technical diagnostics systems are beginning to come growingly into use, having evolved, in the process of their development, from simple indicator systems to complex software and hardware systems (SHS) that require nontrivial skills and diverse knowledge to operate. The final information provided by an SHS is specific and comprehensible only by personnel of the NPP's diagnostic departments, this complicating both the operation of diagnostic systems and discredits the very concept of early and timely detection of defects. This paper presents the structure of information flows in modern technical diagnostics systems (TDS), as applied to the innovative VVER-1200 power unit, on the example of Novovoronezh NPP, and diagnostic results in the form of regular reporting forms with generalized information about the serviceability of the TDS components and the system as a whole. The information received from technical diagnostics systems is analyzed in detail, and the concept proposed by the authors is considered for compression of diagnostic information into a form which can be easily conceived by operating personnel and is of a universal nature, with the possibility of being placed on an electronic or paper carrier.

**Key words:** VVER-1200, technical diagnostics system, diagnostic information, software and hardware complex, vibration control system, free objects control system, control and diagnostic control system.

### REFERENCES

1. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Finkel B.M. *VVER Diagnostic Systems*. Moscow. Nauka Publ., 2010, 319 p. ISBN 978-5-02-040184-6 (in Russian).
2. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Slepov M.T. *Vibration Acoustics Applied to VVER-1200 Reactor Plant*. World Scientific, 2021, 586 p.; DOI: <https://doi.org/10.1142/12220>.
3. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Slepov M.T. *Vibroacoustics in applications to the VVER-1200 reactor plant*. Moscow. Nauka Publ., 2018, 469 p. (in Russian).
4. Arkadov G.V., Pavelko V.I., Slepov M.T. *Noise Monitoring in Applications to the VVER-1200 Reactor Plant (Part 1)*. Moscow. Nauka Publ., 2021, 221 p. Available at: [http://elib.biblioatom.ru/text/arkadov\\_shumovoy-monitoring\\_2021/go,0/](http://elib.biblioatom.ru/text/arkadov_shumovoy-monitoring_2021/go,0/) (accessed Jan. 20, 2022) (in Russian).
5. Regulatory Guide 1.133. *Loose Part Detection Program for the Primary System of Light Water Cooled Reactors*: Tech. Rep. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981, 6 p.
6. *Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants. Part 12 Loose Part Monitoring*. American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2015, 523 p.
7. IEC 60988. *Nuclear Power Plants. Devices Important to Safety. Acoustic Monitoring Systems for Detection of Loose Parts: Characteristics, Design Criteria and Operational Procedures*. 2009, 75 p.
8. GOST R ISO 13379-1-2015. *Condition Monitoring and Diagnostics of Machines. Methods of Data Interpretation and Diagnostics. General Guidance. Part 1*. Moscow. Standartinform Publ., 2015, 33 p. (in Russian).

9. Olma B. Determining the Location of the Source and Mass Estimation in the Monitoring of Loose Parts of the LWR. *Progress in Nuclear Energy*. 1985, v. 15, pp. 583-594; DOI: [https://doi.org/10.1016/0149-1970\(85\)90086-1](https://doi.org/10.1016/0149-1970(85)90086-1).
10. Choi Y.C., Park J.H., Choi K.S. An Impact Source Localization Technique for a Nuclear Power Plant by Using Sensors of Different Types. *ISA Transactions*. 2011, v. 50, no. 1, pp. 111-118; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2010.08.004>.
11. Park J.H., Kim Y.H. Impact Source Localization on an Elastic Plate in a Noisy Environment. *Measurement Science and Technology*. 2006, v. 17, no. 10, pp. 2757-2766; DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/17/10/030>.
12. Ki H.I., Seong In M., Soon Woo H. ANN Based Localization of Metal Ball Impacts on Reactor Pressure Boundary Structure. / *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Gyeongju, Korea, October 26-27. 2017*. 3 p.
13. Fignedy S., Oksa G. Modern Methods of Signal Processing in the Loose Part Monitoring System. *Progress in Nuclear Energy*. 2005, v. 46 (3-4), pp. 253-267; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2005.03.008>.
14. Liska J., Kunkel S. Localization of Loose Part Impacts on the General 3D Surface of the Nuclear Power Plant Coolant Circuit Components. *Progress in Nuclear Energy*. 2017, v. 99, pp. 140-146; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.05.004>.
15. Zheng H., Cao Y., Yang J. A Method for Estimating Impact Location of Loose Part Using HHT. *Proc. of the Fourth International Symposium on Precision Mechanical Measurements*. Eds. Y. Fei, K. C. Fan, R. Lu. SPIE, 12.2008, 6 p.; DOI: <https://doi.org/10.1117/12.819732>.
16. Truong C., Oudre L., Vayatis N. *A Review of Change Point Detection Methods*. 2018, 46 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1801.00718> (accessed Jan. 20, 2022).
17. Lavielle M. Using Penalized Contrasts for the Change Point Problem. *Signal Processing*. 2005, v. 85, no. 8, pp. 1501-1510; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2005.01.012>.

#### Authors

Bocharova Natalia Alexandrovna, Engineer

E-mail: [bocharovana@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:bocharovana@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

Voronov Alexey Viktorovich, Engineer

E-mail: [voronovav@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:voronovav@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

Slepov Mikhail Timofeevich, Head of Department, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: [slepovmt@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto:slepovmt@nvnpp1.rosenergoatom.ru)