

Рис. 4. Снижение среднего времени восстановления (MTTR) в зависимости от реализованных мер

Список литературы

1. Буховец А.Г., Бирючинская Т.Я., Горностаев А.К. Устойчивость аттрактора систем рандомизированных функций // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2024. № 2. С. 5-14.
2. Трушкин К.А. О переводе КИИ на доверенные программно-аппаратные комплексы // Безопасность информационных технологий. 2024. Т. 31. № 3. С. 45-52.
3. Бородин А.В. Киберустойчивость критических информационных инфраструктур // Информационная безопасность систем. 2024. № 5. С. 17-24.
4. Сафедата. Обеспечение безопасности облачных сервисов: проблемы и решения // Хабр. 2015. URL: <https://habr.com/ru/companies/safedata/articles/273947/> (дата обращения: 10.01.2025).
5. Акутин А.С., Бровко А.В. Реализация алгоритма доказательства с нулевым разглашением в технологии цифровой личности // Вестник ВГУ. 2024. № 2. С. 113-122.
6. Назаров И.И. Повышение уровня надёжности информационных систем // Киберленинка. 2024. № 3. С. 11-18.
7. Иванов С.В., Кравцов М.Л. Катастрофоустойчивость информационных систем на базе микросервисной архитектуры // Информационные технологии. 2024. № 5. С. 29-36.
8. Зайцев П.А. Методы обеспечения отказоустойчивости в распределенных системах // Вестник Московского государственного университета. 2024. С. 50-58.

КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АЭС НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Бадеев В.А., Бадеева Е.А.

Пензенский государственный университет, Пенза,
e-mail: vladbadeev4464@gmail.com

Научный руководитель: Бадеева Е.А.

Для измерения различных параметров защитной оболочки АЭС в процессе ее строитель-

ства и эксплуатации преимущество отдается искробезопасным волоконно-оптическим информационно-измерительным системам (ВОИИС) в состав которой обязательное включение датчиков температуры (ВОДТ). Так, в процессе строительства АЭС температура цемента в основании защитной оболочки изменяется в диапазоне 0 ... плюс 90 °С. Есть ситуации, когда температура изменяется в диапазоне минус 30 ... плюс 90 °С. Проектировщики АЭС предполагают различные эксплуатационные режимы: нормальный режим, режим нарушения нормальной эксплуатации (режимы «малая течь», «большая течь», нарушение теплового отвода) и аварийный режим. В условиях нормальной эксплуатации в межоболочном пространстве температура от 10 до 60 °С при мощности поглощенной дозы до $1,19 \cdot 10^{-6}$ Гр/ч. При нарушении нормальной эксплуатации температура бетона повышается до 85...90 °С при мощности поглощенной дозы до 1,0 Гр/ч [1-3].

Использование для установки известных датчиков в цемент защитных гильз от воздействия высокого давления ведет к большой до 5...10 % погрешности измерений. При установке таких датчиков в затвердевающий цемент их корпус и внутренние элементы будут испытывать большие деформации, например уровень деформации корпуса ВОДТ сравним с диапазоном измерения датчика, который определяется изменением расстояния между отражателем и торцом оптических волокон, соответственно все метрологические характеристики, полученные в процессе градуирования и калибровки датчика, существенно изменятся. Конструкция

ВОДТ должна обеспечивать его установку в тело оболочки (блоки бетонирования) или на поверхность бетона.

При разработке ВОДТ для АЭС необходимо учитывать требования: датчики должны быть стойки к воздействию синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 1 до 120 Гц с ускорением 1g, соответствовать категории сейсмостойкости I по НП-031, сохранять способность выполнять свои функции во время и после прохождения землетрясения, быть пожаростойкими, не быть источниками возгорания. ВОДТ состоит из волоконно-оптического преобразователя температуры (ВОПТ), волоконно-оптического кабеля (ВОК) и оптоэлектронного блока (ОЭБ) (рисунок. 1) [7].

ОЭБ включает в себя согласующее устройство (СУ), подстыкованное с помощью электрического разъема к модулю сбора и преобразования информации (МСПИ) ВОИИС. МСПИ с помощью электрического кабеля К1 подключается к источнику питания и средству измерения и, при необходимости, с помощью кабеля К2 – к промышленному компьютеру для визуализации информации, а с помощью кабеля К3 через конвектор интерфейсов RS485 или RS232 КОИ – к сети АЭС. Применение ВОК длиной до 1 км позволяет проводить измерения в зоне повышенных температур и радиации [4].

В исследовании [5] приведены результаты измерения температуры внутри и снаружи защитной оболочки энергоблока № 3 Ростовской АЭС в период приемо-сдаточных испытаний. Эти результаты использованы в уточняющих расчетах НДС защитной оболочки от воздействия нагрузок, действующих в период приемо-сдаточных испытаний. Температура в бетоне определялась по среднему значению температуры в защитной оболочке, а также по выходным сигналам струнных датчиков температуры, установленных на теле защитной оболочки. Температура в процессе испытаний менялась от 29 до 39 °С. Для оценки температуры внутри бетонных сооружений купола АЭС необходимы соответствующие средства измерений высокой точности и надежности.

На основании анализа механической надежности известных ВОД [6] сделан вывод, что необходимо разрабатывать ВОДТ, в которых оптические волокна не деформируются [7]. Разработана конструкция ВОДТ, которая включает защитный корпус с размещенным внутри него чувствительным элементом (ЧЭ) (рисунок 2) [8]. Корпус изготавливается из материала с хорошей теплопроводностью (например, медного сплава) для уменьшения инерционности при передаче температуры от окружающей среды к ЧЭ и, соответственно, снижения динамической погрешности.

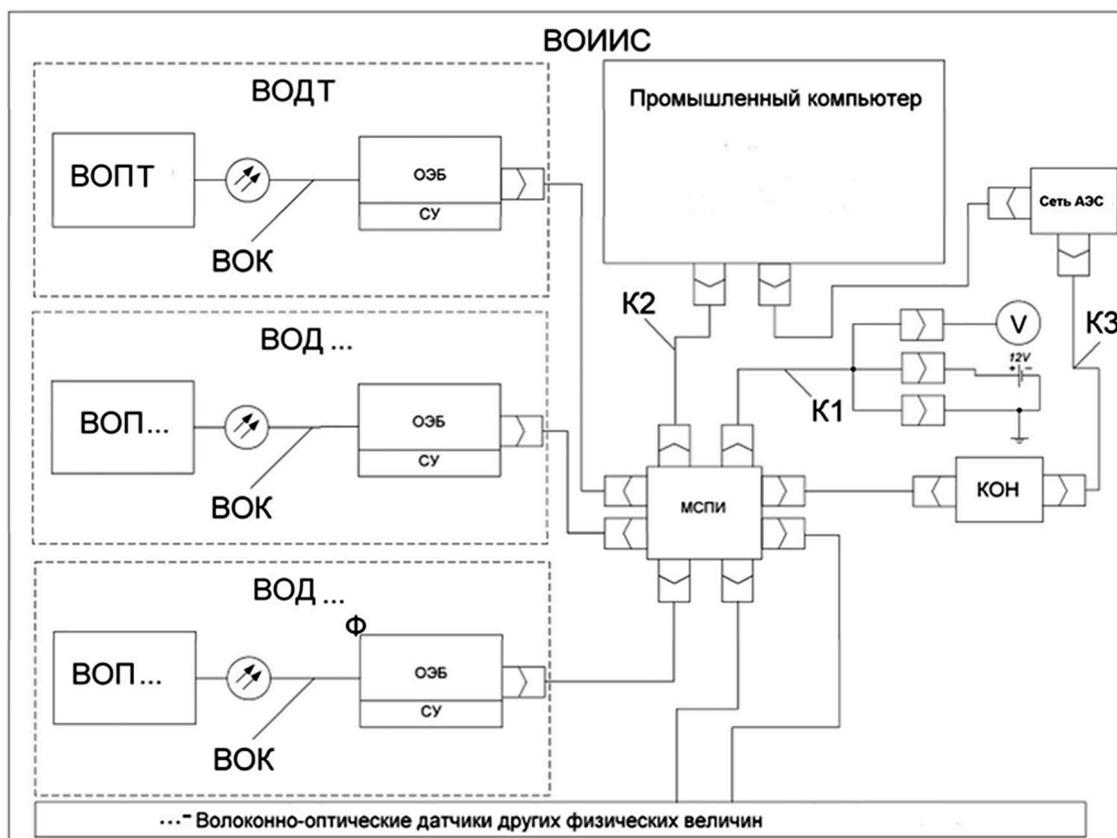


Рис. 1. Структурная схема ВОИИС для АЭС

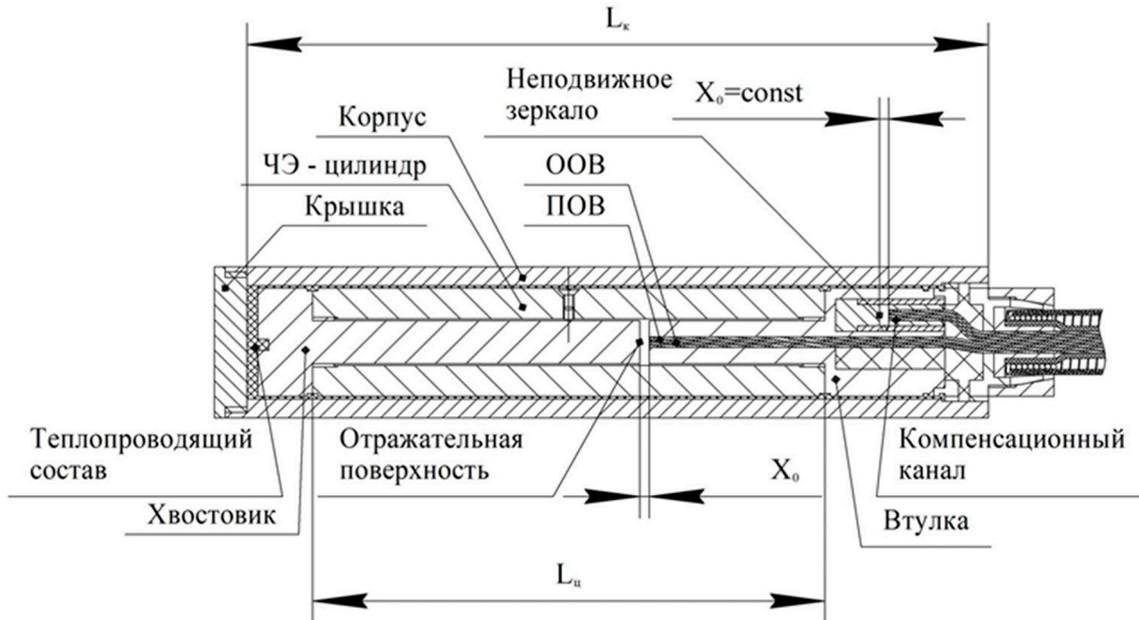


Рис. 2. ВОДТ на заключительном этапе сборки

Толщина корпуса выбирается из соображения обеспечения прочности конструкции, если датчик будет располагаться в жесткой деформируемой среде, например в бетоне основания защитной оболочки АЭС. ЧЭ представляет собой цилиндр из материала с высоким коэффициентом температурного расширения. С двух торцов ЧЭ герметично установлены хвостовик и втулка из материалов с небольшими коэффициентами температурного расширения.

На узком торце хвостовика сформирована отражающая поверхность (ОП) путем полировки металла, из которого изготовлен хвостовик. Втулка необходима для крепления рабочего подводщего (ПОВ) и рабочего отводящего (ООВ) оптических волокон относительно отражающей поверхности, сформированной на узком торце хвостовика. Широкая часть втулки с помощью резьбы жестко закрепляется на внутренней стенке ЧЭ.

Для снижения дополнительных погрешностей, вызванных изгибами оптических волокон, колебаниями мощности источника излучения в ВОДТ предусмотрен дополнительный компенсационный канал [9] (рисунок 2), конструктивные элементы которого расположены в боковом глухом отверстии во втулке, для чего в ней в торцевой части сделано утолщение. В глухом отверстии закреплено неподвижное зеркало (НЗ) на расстоянии X_0 относительно торца дополнительных (компенсационных) подводщих и отводящих оптических волокон ПОВк и ООВк. Такое конструктивное исполнение волоконно-оптического кабеля позволяет снизить дополнительные погрешности от их изгиба при логоме-

трическом или амплитуднофазовом преобразовании сигналов датчика [9].

Температура окружающей среды воспринимается чувствительным элементом (цилиндром) благодаря процессу теплопередачи от среды, температура которой измеряется, через корпус из материала с хорошей теплопроводностью и теплопроводящий состав. Начальная длина $l_{ц}$ выбирается таким образом, чтобы ее изменение в диапазоне измерения обеспечивало большую глубину модуляции оптического сигнала (до 30 %) и линейную функцию преобразования светового потока от изменения расстояния X .

Световой поток Φ_0 от источника излучения ИИ по рабочему ПОВр подается в зону измерения, падает на зеркальную поверхность хвостовика, отражается от него и поступает на приемный торец рабочего ООВр (рисунок 2). По рабочим ООВр световой поток направляется к рабочему приемнику излучения ПИр, где преобразуется в электрический сигнал $I_1(T)$, значение которого пропорционально интенсивности отраженного оптического сигнала $K(X) = \Phi(X) / \Phi_0$, который, в свою очередь, пропорционален расстоянию X между торцами оптических волокон и зеркальной поверхностью хвостовика.

Ввиду того, что температура может как уменьшаться, так и увеличиваться, то начальное расстояние X_0 должно находиться в середине диапазона $0,25d_c \dots 0,75d_c$ (например, для ОВ $d_c = 200$ мкм диапазон изменения расстояния X будет $50 \dots 150$ мкм), т.е. $0,5d_c$ (например, для ОВ с $d_c = 200$ мкм – $X_0 = 100$ мкм).

Разработаны конструктивно-технологические и структурные решения ВОДТ с компен-

сационным каналом отражательного типа для ВОИИС защитной оболочки АЭС, размещаемых в жестких деформируемых средах. ВОДТ может быть использован для измерения температуры в основании крупных сооружений в деформируемых под большим давлением жестких средах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00595, <https://rscf.ru/project/24-29-00595/>

Список литературы

1. Комягин В.В., Макаров В.В., Селезнев А.В., Климов Н.Н., Болванчиков С.Н., Алексеев Ю.В., Сафонова Е.А. Виброиспытания блочной теплоизоляции оборудования и трубопроводов реакторной установки ВВЭР-1000 // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: сб. трудов 3-й науч.-техн. конф. (26–30 мая 2003, ОКБ «Гидропресс» г. Подольск). Подольск, 2003. С. 114–123.
2. Медведев В.Н., Киселев А.С., Киселов А.С., Стрижов В.Ф., Ульянов А.Н., Скорикова М.И., Пимшин Ю.И. К вопросу о контроле защитных оболочек АЭС в период прямо-сдаточных испытаний // Глобальная ядерная безопасность. 2020. № 2 (35). С. 42–54.
3. Медведев В.Н., Скорикова М.И. Влияние реологических характеристик бетона на НДС защитной оболочки АЭС // Атомная энергия. 2019. Т. 216, № 6. С. 317–320.
4. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Базыкин С.Н., Дудоров Е.А., Бадеев В.А. Волоконно-оптическая система измерения температуры жестких деформируемых сред // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 2. С. 112–126.
5. Медведев В.Н., Киселев А.С., Киселев А.С., Ульянов А.Н., Стрижов В.Ф., Сальников А.А. Результаты измерения температуры защитной оболочки в период прямо-сдаточных испытаний // Глобальная ядерная безопасность. 2015. № 2 (15). С. 71–82.
6. Бадеева Е.А., Гориш А.В. Анализ механической надежности волоконнооптического кабеля для датчиков // Информационно-измерительная техника, экология и мониторинг: науч. тр. 2003. Вып. 6. М.: Росавиакосмос МГУУ, 2003. С. 243–254.
7. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» Пензенского государственного университета. Ч. I. СПб.: Политехника, 2018. 187 с.
8. Патент 2795841 Российская Федерация. Волоконно-оптический датчик температуры / Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Серебряков Д.И., Дудоров Е.А., Хасаншина Н.А., Бадеев В.А. Оpubл. 12.05.2023, Бюл. № 14.
9. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Полякова Е.А., Славкин И.Е., Кукушкин А.Н. Реализация принципа двуканальности в ВОИИС // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2. С. 87–98.

ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Бегларян С.Ю., Лямзин И.С.

*АНОО ВО «Воронежский институт
высоких технологий», Воронеж,
e-mail: bbosly@yandex.ru*

В настоящее время активно развиваются работы, связанные с оценкой качества элементов телекоммуникационных систем.

С точки зрения развития средств связи важно применять управление качеством [1]. Она наблюдалась в развитии в зарубежных странах.

В чем состоит ключевой недостаток в таких системах управления? Исследователи указывают низкую конкурентоспособность элементов телекоммуникационных систем. Разработчики в ряде случаев ориентируются на инновационные технологии. Идея состоит в том, чтобы вести процессы проектирования и производства по опытным образцам. Бывают и варианты штучного производства элементов. Еще наблюдается мелкосерийное производство элементов телекоммуникационных систем [2].

Стандарты требуют, чтобы был изучен рынок. Это необходимо для сбыта продукции. Потом ведутся процессы проектирования. Это необходимо рассматривать как задел. Обеспечивается материально-техническое снабжение. Без ресурсов не может развиваться производство. Происходит изготовление на соответствующем производстве опытных образцов. Изготавливаются элементы информационно-телекоммуникационных систем. Ведется глубокий контроль качества. Должна быть предусмотрена упаковка созданных изделий. Если требуется, то они утилизируются [3].

Проведены исследования теорий качества. Тогда мы можем сделать промежуточные выводы. Для достижения элементов информационно-телекоммуникационных систем с высоким качеством необходимо несколько шагов. Они касаются информатизации, проведения проверок, анализа. Строгий контроль элементов информационно-телекоммуникационных систем по каждому шагу ведет к итоговому высокому качеству.

Проведем краткий анализ для элементов информационно-телекоммуникационных систем технологического процесса (ТП) производств.

Большинство свойств, определяющих особенности элементов информационно-телекоммуникационных систем формируются в ходе ТП. Однако проблемы проектирования вызывает отклонения искомых параметров от намечаемых значений.

На производствах исследователи наблюдают по параметрам определенные процессы, связанные с нестабильностью.

Существует риск влияния на конечные параметры даже малых отклонений от параметров в ходе процессов изготовления.

В ходе ТП производства сложных элементов информационно-телекоммуникационных систем будут неконтролируемые параметры. Какие они могут быть? Встречаются как детерминированные, так и те, которые связаны с множеством случайных причин

Таким образом, сделаем вывод, что качество в элементах информационно-телекоммуникационных систем напрямую определяется качеством. Это демонстрируют многочисленные испытания. Поэтому технологические процессы зависят от такого критерия.