

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИПОВЫХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ УРОВНЕМ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ КАЛИНИНСКОЙ АЭС

О.Л. АХРЕМЧИК, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: axremchic@mail.ru

© Ахремчик О.Л., 2021

Выделяются функции системы управления уровнем воды в парогенераторе. Предлагается рассматривать две фазы управления в режимах нормальной эксплуатации и управления защитами. В системе автоматизации устанавливаются приоритеты работы систем стабилизации уровня и управления защитой парогенератора от превышения уровня, которые рассматриваются как базовые свойства сигналов. Модель сигнала является объединением множеств базового описания свойств, расширенного описания свойств и множества, отражающего специфику применения типовых средств. Первое множество включает имя параметра, текущее значение, метку времени, приоритет, признаки обновления и достоверности, уставку, границы диапазона изменения. Расширенное множество включает номер GET-плана, адресацию коммуникационного модуля для передачи сигнала, гистерезис для уставки, перечень событий при отклонениях в решении задачи управления. Свойствами, связанными с использованием типовых программно-технических средств, являются признак наличия помехи общего вида, свободно проектируемый признак, ошибка в памяти, отказ энергопитания, отказ АЦП.

Ключевые слова: автоматизация, модель, комплекс, уровень, управление, достоверность, функция, модуль, сигнал.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-79-90

ВВЕДЕНИЕ

Производство пара с заданными характеристиками является одним из основных этапов технологических циклов процесса выработки электроэнергии на атомных электрических станциях (АЭС). Решение задач анализа, выбора и совмещения с действующими системами управления нового программно-технического базиса для автоматизации управления режимными параметрами АЭС актуально. В сфере атомной энергетики в настоящее время используются технологии проектирования автоматизированных систем управления (АСУ) третьего поколения и ведутся НИОКР по разработке систем управления оборудованием АЭС четвертого поколения [1].

Калининская АЭС является ведущим производителем электроэнергии в Центральном федеральном округе и крупнейшим предприятием Тверской области. Станция постоянно обновляет средства и системы автоматизации. Автор, являясь руководителем подготовки технического персонала для АЭС в ТвГТУ, рассматривает задачу управления уровнем в парогенераторе (ПГ) типа ПГВ-1000, используемого в комплекте с реакторами ВВЭР 1000. В АСУ аппаратами, установленными на третьем и четвертом энергоблоках Калининской АЭС, применяются программно-технические комплексы (ПТК) типовых программно-технических средств (ТПТС) [2].

Система управления уровнем в ПГ является важной для безопасности АЭС. Жизненный цикл системы характеризуется функциональной полнотой и определяется каталогами типовых решений, таблиц и схем подключений измерительных преобразователей, интерфейсных и коммуникационных модулей, исполнительных устройств. В основе ПТК лежат типовые элементы, разработкой которых занимаются специализированные (не эксплуатационные) организации [3].

Особенностью модернизации АСУ на базе ТПТС является применение специализированного программного обеспечения (GET-R), что позволяет объединять соседние этапы классической модели жизненного цикла программного обеспечения [4]. К надежности средств автоматизации предъявляются повышенные требования исходя из специфики объекта. С учетом данных требований функции управления в режиме нормальной эксплуатации и функции защиты и блокировок могут реализовываться с использованием разных ПТК. Для обеспечения параллельной работы средств ПТК в АСУ происходит непрерывная идентификация контуров и различение сигналов, используемых для управления в каждый момент времени на основе анализа текущих значений контролируемых параметров.

Используемые в настоящее время АСУ ПГ представляют собой распределенные вычислительные системы. Их совершенствование базируется на систематизации и унификации решений по автоматизации управления режимными параметрами. Неохваченным с точки зрения систематизации технических решений является пространство сигналов, используемых для представления значений возмущающих и управляющих параметров. Применение распределенных вычислительных систем на АЭС определяет включение в состав АСУ интерфейсных и коммуникационных модулей, использующих расширение параметров аналоговых и дискретных сигналов. Свойства сигналов входов-выходов модулей ПТК являются одними из базовых в реляционной модели модуля АСУ [5]. Характеристики входов-выходов обязательны для включения в модели программно-технических средств для хранения описаний и поиска устройств в базах данных систем автоматизированного проектирования.

Учет свойств сигналов, обрабатываемых АСУ, уровнем в ПГ, наряду с расширением пространства свойств, является одной из целей статьи. Вторая цель состоит в декомпозиции задачи управления уровнем и оценке возможностей модулей ТПТС для реализации алгоритмов управления.

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ

Парогенератор типа ПГВ-1000 предназначен для выработки насыщенного пара давлением 64 кгс/см^2 с влажностью 0,2 % при температуре питательной воды 220°C и входит в состав циркуляционного контура станции. Питательная вода подается на «горячую» сторону трубного пучка в верхней части агрегата под погружной дырчатый лист через 16 раздающих коллекторов, каждый из которых соединен с 32 раздающими трубками, имеющими по своей длине отверстия для выхода питательной воды. Вода может подаваться через аварийный патрубок на днище ПГ, к которому присоединен раздающий коллектор, смонтированный над трубопроводом питательной воды.

Классическая трехимпульсная система управления уровнем воды в ПГ выполняет функции контроля, стабилизации заданного значения уровня и защиты ПГ при изменениях уровня. Система обеспечивает измерение уровня воды (L) в барабане, расхода перегретого пара, подаваемого в турбину (D), питательной воды в контуре подачи воды (G) (рис. 1). Сигнал рассогласования на входе в регулятор формируется взвешенным суммированием сигналов заданного ($L_{\text{зад}}$) и текущего (L) значений уровня, а также расходов пара и питательной воды [8]. Система питания водой ПГ содержит

быстродействующий контур по расходу питательной воды, работающий по сигналу от датчика расхода воды (F_G , $ИП_G$), и инерционный контур, работающий по сигналу от датчика уровня воды (L , $ИП_L$). По команде регулятора P через трубопроводы обеспечивается изменение степени открытия клапана, рассчитываемого на основе выбранного закона регулирования. Цель стабилизации уровня воды заключается в поддержании материального баланса между отводом пара, оцениваемого на основе данных измерения (F_D , $ИП_D$), и подачей питательной воды (G) во всех режимах работы энергоблока. Регулируемым параметром является уровень воды в ПГ, управляющим воздействием – расход питательной воды.

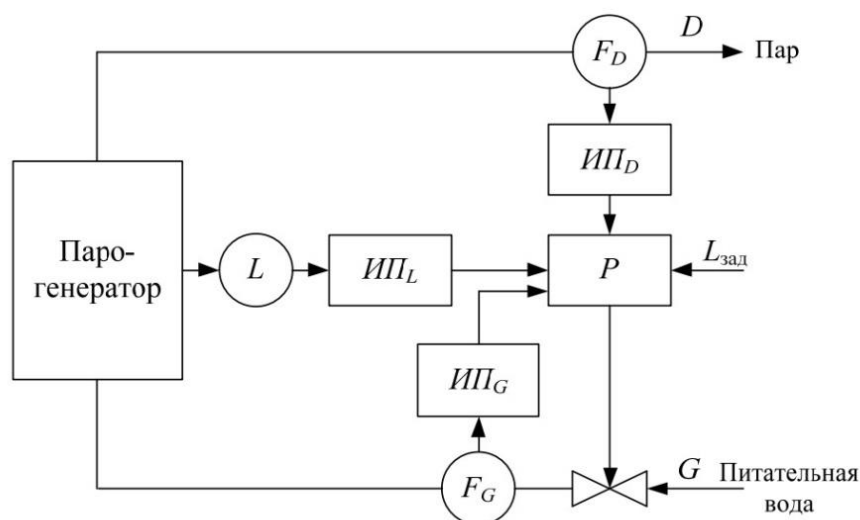


Рис. 1. Структура системы управления уровнем воды в ПГ Калининской АЭС

На основе оценки результатов измерений от нескольких датчиков ($ИП_L$, $ИП_G$, $ИП_D$) в ходе управления уровнем система автоматизации должна идентифицировать реализуемую функцию (нормальной эксплуатации или управления защитой ПГ). Для этого в функционально-логических описаниях комплекса технических средств и GET-планах системы необходимо ввести дополнительный комплекс переменных, характеризующих применение измерительной и командно-управляющей информации при управлении уровнем.

Проведение функционального анализа задач автоматизации ПГ предполагает, что программно-технический базис для управления, сигнализации и блокировок параметрами объекта имеет модули, способные обеспечить автоматизацию управления уровнем [6, 7]. Функции системы управления уровнем в ПГ определяются множеством:

$$F = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7\}, \quad (1)$$

где F_1 – контроль состояния ПГ; F_2 – поддержание эксплуатационных режимов работы; F_3 – автоматическое регулирование уровня; F_4 – диагностика процесса парогенерации; F_5 – диагностика оборудования и системы автоматизации; F_6 – информационное обеспечение персонала об эксплуатационных состояниях и режимах работы для решения инженерных, технико-экономических, производственных и административных задач; F_7 – передача данных для решения задачи автоматизации.

Программно-технический комплекс, выбираемый для реализации функций, определяемых по выражению (1), представляется совокупностью функциональных контуров, удовлетворяющих заданным требованиям по надежности функционирования, времени обработки информации, возможностям прерывания обработки информации, объему обрабатываемой информации, степени участия оператора при выполнении функции [7]. С учетом (1) и выделенных требований проведем декомпозицию задачи управления уровнем с применением подхода на основе методов событийного моделирования [8].

В качестве событий будем рассматривать повышение и понижение уровня, а также изменения состояния управляющих выходов.

Первой фазой решения является управление уровнем воды при понижении (на 160 мм меньше установленного предела):

$$L \leq L_n; \quad G = U_{op},$$

где L_n – предельное понижение уровня; U_{op} – команда на подачу воды G через основную питательную магистраль.

На данной фазе уровень воды при возмущении расходом питательной воды характеризуется отсутствием самовыравнивания, а при возмущении расходом перегретого пара возникает эффект «набухания уровня» [9].

На основе методов математического моделирования и теории управления в рассмотренной схеме регулирования уровня (см. рис. 1) рекомендуется использовать классические законы регулирования с учетом формирования управления открытия клапанов подачи воды с приводом от исполнительных механизмов постоянной скорости. Многие исследователи рекомендуют применение ПИ-регулятора с жесткой обратной связью [10]. При этом система управления состоит из двух контуров: внутреннего, включающего регулятор и устройство жесткой обратной связи, и внешнего, включающего объект регулирования и эквивалентный регулятор, состоящий из устройства жесткой обратной связи и регулятора. Численное значение коэффициента передачи ПИ-регулятора трехимпульсной системы автоматического регулирования обычно рассчитывают на основе передаточной функции в виде реального интегрирующего звена. Некоторые исследователи не включают в закон управления интегральную составляющую и рекомендуют ограничиваться пропорциональной частью в силу рассмотрения объекта в виде интегрирующего звена с запаздыванием [11]. По мнению автора, с учетом минимизации статической ошибки более рациональным является выбор ПИ-регулятора. С точки зрения вычислительных особенностей, требований к настройке принципиально нового в управлении уровнем воды в ПГ не выдвигается и поле для выбора программно-технического базиса достаточно широко.

Второй фазой решения задачи управления является функционирование системы автоматизации как системы сигнализации и защиты от превышения первого установленного значения уровня, который определяет открытие запорных задвижек на линии аварийного слива воды из барабана ПГ:

$$L \geq L_{B1}; \quad u = U_{сл}, \\ L \geq L_{B2}; \quad u = U_{сл}; \quad G = G_{max} - G_{min}; \quad G \leq G_{min},$$

где L_{B1} – первое предельное повышение уровня (до 180 мм); $U_{сл}$ – команда на аварийный слив; L_{B2} – второе предельное повышение уровня (до 200 мм); G – команда на сброс нагрузки с максимального G_{max} до минимального G_{min} расходов воды.

При достижении уровнем воды второй предельной отметки действие защиты ПГ приводит к формированию стратегии по сбросу нагрузки через другой трубопровод. С уточнением уставок срабатывания технологической защиты по уровню воды осуществляется сброс нагрузки парогенератора (D) от максимальной до минимальной с сохранением минимального расхода питательной воды ($G_{\min}$).

Одновременно с управлением уровнем производится контроль технологических ограничений системы управления, которые связаны со значительными градиентами температур и давлений при производстве пара. При обесточивании агрегатов АЭС или падении уровня в ПГ по отдельной аварийной магистрали подается питательная вода из баков с температурой от 5 до 45 °С, что создает условия для расхолаживания до давления в первом контуре до 15 кгс/см². Подача питательной воды по аварийной магистрали с температурой около 25 °С в ПГ с температурой около 280 °С вызывает воздействие «теплого удара». В условиях нормальной эксплуатации АСУ не вырабатывает воздействий на подпитку ПГ по аварийному трубопроводу питательной воды. В этом случае алгоритм управления дополняется:

$$\begin{aligned} L &\geq L_{B1}; \quad u = U_{\text{сл}}; \quad u \neq G_{\text{авпв}}; \\ L &\geq L_{B1}; \quad T_{\text{в}} \geq T_{\text{ту}}, \end{aligned}$$

где $u \neq G_{\text{авпв}}$ недопустимость подпитки барабана ПГ по аварийной магистрали; $T_{\text{в}}$ – ограничение на температуру подпиточной воды; $T_{\text{ту}}$ – температура «теплого удара».

Представленное алгоритмическое описание отлаживается в ходе статического тестирования функций, описываемых выражением (1). После отладки и записи значений параметров в модули системы автоматизации управление уровнем проходит в известном временном цикле, длительность которого не зависит от значений измеренных параметров.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ТИПОВЫХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ

Анализ алгоритмического обеспечения задачи управления уровнем показывает, что необходимо реализовать подсистемы: измерений возмущений, ПИ-регулирования, сигнализации и защиты, передачи данных. Включение в работу подсистем осуществляется на основе результатов контроля уровня. Ограничениями выбора ПТК выступают требования к преемственности решений и сопряжению с действующими системами, а также необходимость соответствия требованиям нормативных документов «Росатома». В ходе выбора ПТК учитывается иерархичность системы автоматизации и необходимость применения цифровых коммуникационных каналов передачи данных как на одном, так и между разными уровнями иерархии. В исследуемых модификациях АСУ на Калининской АЭС используются семейства решений на базе ПТК ТПТС51 (ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова), явившихся развитием платформы Teleperm ME и САПР GET-TM фирмы Siemens в РФ [12]. Комплекс ТПТС ориентирован на среду проектирования Graphic Engineering Tool-Russia (GET-R, GET-R1). За время, прошедшее с начала разработки первых проектных решений (2000 г.), до текущих модернизаций АСУ комплекс неоднократно модифицировался, и сейчас актуальна версия ТПТС-NT (среда проектирования GET-NT).

Комплекс ТПТС различных модификаций содержит процессор 80188 и модули памяти RAM, EPROM и EEPROM [13]. В EPROM хранятся программные блоки, выполняющие арифметические и логические функции, присущие всем модулям системы (сложение, умножение, дифференцирование, сравнение чисел и т.д.); программные блоки, реализующие функции, специфические для конкретного типа модулей (например, управляющие блоки для модулей управления или алгоритмы регулирования для модулей регуляторов); программные блоки, реализующие функции контроля, логику сигнализации, логику обработки прерывания и т.п. Программные блоки в EPROM не могут быть изменены пользователем. Данные в EEPROM записываются на этапе проектирования контуров управления и могут изменяться.

Комплекс ТПТС реализован в виде приборной стойки, отвечающей требованиям к управляющим приборам АЭС [13]. В состав стойки (на примере ТПТС51) входят функциональные и коммуникационные модули, клеммные панели и коммутаторы, шины передачи данных, блок питания (рис. 2). Исходя из преимущества технических решений, для системы управления уровнем выбирают измерительные преобразователи с аналоговым токовым выходным сигналом, подключение которых осуществляется к разным модулям ТПТС с целью решения задачи покрытия функций (1) средствами ПТК. При подключении используются установленные в приборной стойке соединители (SAE) клеммной панели, предназначенные для коммутации токовых цепей ($I_{(50)}$) (рис. 3).



Рис. 2. Приборная стойка ТПТС51

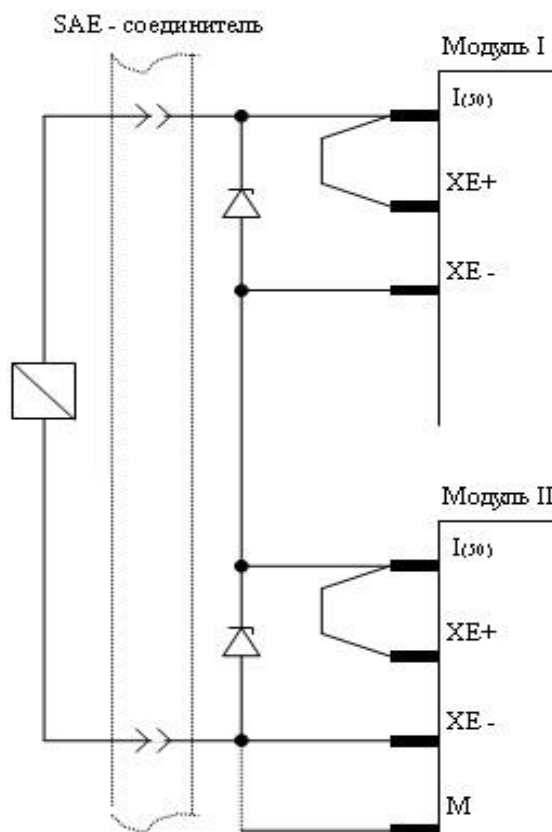


Рис. 3. Подключение датчика уровня

Основной отличительной особенностью модулей ТПТС является возможность записи в постоянной памяти набора готовых подпрограмм, выполняющих функции общего назначения (арифметические и логические), и специально разработанных для решения задач, встречающихся на электростанциях (функции: измерения, управления двигателем, управления задвижкой, регулирования, коррекции и т.п.).

Автором применительно к системе автоматизации уровня воды в качестве пространства выбора рассматриваются регуляторы (1411, 1412); модули управления (1717, 1719, 1723-01, 1725); устройства сбора и обработки аналоговых сигналов (1722, 1731, 1703); устройства сбора и обработки двоичных сигналов (1723, 1724). Имея схожее функциональное назначение, модули характеризуются сервисными возможностями, которые могут изменить решение задачи управления и будут отличаться описаниями реализуемых функций.

В схеме стандартной логики переключений в канале регулирования уровня реализуется комплекс логических функций, задающих:

- 1) прием и обработку команд «Закрыть/Открыть»;
- 2) прием и обработку команд защит, имеющих высший приоритет по отношению к другим командам и действующих в обход ограничивающих сигналов;
- 3) формирование команд ограничения/разрешения прохождения дискретных сигналов «Меньше/Больше».

В ходе решений по управлению уровнем воды в ПГ конфигурация приборной стойки определяется программой GET R(NT), функционирующей под ОС Linux. На сервере хранится проектная информация и размещены системные файлы. Клиентские рабочие места операторов устанавливаются как бездисковые клиенты, а связь с приборными стойками осуществляется с помощью интерфейсных и коммуникационных модулей АСУ.

СВОЙСТВА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТИПОВЫХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Использование распределенной вычислительной системы для управления режимными параметрами ПГ определяет необходимость рассмотрения используемых для управления сигналов с точки зрения расширения их свойств в силу необходимости учета требований к надежности ПТК, межмодульного обмена данными, реализации режима переключения для разных фаз решения задачи управления в зависимости от значений параметров. При этом активизируется модуль приоритетов комплекса технических средств (типа 1716), который предназначен для управления исполнительными механизмами системы безопасности (СБ). Модуль приоритетов обеспечивает возможность управления исполнительными механизмами по командам, поступающим как от СБ, так и от системы нормальной эксплуатации (СНЭ), с приоритетом управления от СБ. Выделенный приоритет является свойством сигналов контуров измерения и управления, определяющим алгоритм работы.

Опыт использования модулей ТПТС51 (модификаций Е, ЕМ, NT) позволяет классифицировать передаваемые при межмодульном обмене сигналы на сигналы о состоянии, диагностические, команды управления. Соответственно, в свойствах сигнала необходимо выделить метку, отражающую принадлежность сигнала к одной из групп.

На основе теоретико-множественного подхода представление сигнала о состоянии уровня описывается множеством атрибутов:

$$L_b = \{\text{Name, time, } L, \text{realT, NV, Pr, } L_n, \text{KBOG, KBUG}\}, \quad (2)$$

где Name – имя параметра в системе; time – метка времени; L – текущее значение в канале; realT – признак обновления сигнала; NV – признак достоверности сигнала; Pr – приоритет; L_n – уставка; KBOG – выход за верхнюю границу диапазона изменения; KBUG – выход за нижнюю границу диапазона изменения.

Добавление признаков обновления и метки времени (как признаков своевременности) позволяет обеспечить своевременность передачи сигнала [14]. С точки зрения унификации данные признаки целесообразно рассматривать для всех сигналов, а не только сигналов состояния. Описание (2) позволяет рассматривать частные показатели достоверности, полноты, своевременности функционирования ПТК, не учитывавшиеся ранее при создании моделей технических средств [5, 6].

Проверка достоверности аналоговых сигналов в режиме реального времени является проверкой не только наличия сигнала, но и нахождения измеряемого значения в допустимом диапазоне. Выход за пределы диапазона приводит к изменению дискретного сигнала достоверности «NV» канала.

С учетом реализации функции информационного обеспечения персонала F_6 по выражению (1) и выделенного приоритета работы СНЭ и СБ описание сигнала (2) имеет вид

$$L_a = \{\text{Get, Com(NV), } \Delta_L, \text{Per, Add}\}, \quad (3)$$

где Get – план для отображения прохождения сигнала в системе автоматизации; Com(NV) – адрес коммуникационного модуля для передачи сигнала; Δ_L – гистерезис для уставки; Per – перечень событий при отклонениях в решении задачи управления; Add – добавление дополнительных свойств в описании параметра.

При решении задачи управления защитами при наличии достоверного сигнала (уровень «NV» высокий) в описании параметра значения L_n , Δ_L , Pr, Get, Com, Per

изменяются и система автоматизации отслеживает прохождение сигнала по другому GET-плану с другим уровнем приоритета. Задание приоритета становится одной из ключевых задач статического тестирования функций системы автоматизации. Связи между частями проекта автоматизации в различных режимах не отслеживаются инструментальной средой, что требует тщательного контроля и отладки системы при реализации функций F_6 и F_7 [15].

При понижении уровня используется базис модулей ТПТС нормальной эксплуатации с отсутствием команд управления от СБ. В случае сигналов запрета алгоритм управления исполнительным механизмом подачи воды по основной магистрали должен быть таким же, как алгоритм индивидуального управления в СНЭ.

Для набора функций базового множества при изучении описаний ТПТС выделяются дополнительные атрибуты, присущие комплексу ТПТС и активизируемые при управлении при единичном значении:

$$L_{\text{ТПТС}} = \{\text{UCM, FEKF, PROM, BSV15, ADC}\}, \quad (4)$$

где UCM – признак наличия помехи общего вида; FEKF – свободно проектируемый признак (по каналам измерения, управления, коммуникации, сигнализации); PROM – ошибка в памяти; BSV15 – отказ энергопитания модуля; ADC – отказ аналогово-цифрового преобразователя (АЦП).

Пространство свойств сигнала для системы управления уровнем воды в ПГ на базе ПТК ТПТС является объединением выражений (2)–(4).

Свойства (4) предлагается рассматривать для сигналов состояния и для команд управления (кроме отказа АЦП).

При приеме аналогового сигнала на верхнем уровне или другим модулем одновременно происходит оценка его достоверности «NV», которая передается по шине вместе с сигналом измерительного канала. С учетом наличия сигнала достоверности установим два уровня приоритета, изменяющих алгоритм управления на основе проведенной ранее декомпозиции. Первый (низкий – NV1) – для расхода воды по основному контуру. Второй (высокий – NV2) – для расхода пара при сбросе нагрузки с уточнением уставки при превышении уровня.

Для режима нормальной эксплуатации при понижении уровня

$$\text{Pr} = 1: L \leq L_n \text{ AND NV} = \langle \text{NV1} \rangle \rightarrow G = U_{\text{op}}; \text{GET} = \text{GETНЭ}.$$

При выходе за верхнюю границу уровня и работе СБ

$$\text{Pr} = 2: L \geq L_{\text{в2}} \text{ AND NV} = \langle \text{NV2} \rangle \rightarrow u = U_{\text{сл}}; \text{GET} = \text{GETСБ}.$$

Использование контроля по верхней границе измерительного диапазона для канала управления осуществляется с помощью установки маркера превышения в коммуникационном модуле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате декомпозиции задачи управления уровнем предложено разделение траектории управления на фазы, в ходе которых используются разные описания параметров при управлении и реализуются разные задачи (стабилизации уровня по основной магистрали или управления блокировкой и защитой с использованием аварийного слива). Применение комплекса ТПТС позволяет реализовать выделенные траектории и обеспечить стабилизацию уровня воды в ПГ со стабильно высокими

показателями надежности и длительным ресурсом эксплуатации на основе преимущественности в решениях по управлению в части использования классической многоимпульсной схемы регулирования и базового ПИ-алгоритма.

Расширить традиционные вопросы автоматизации многоимпульсного управления уровнем в ПГ с приемлемой стоимостью эксплуатации предлагаемых решений позволяет применение входящих в комплексные описания управляемых параметров свойств приоритета и достоверности параметров. В зависимости от приоритета задача управления рассматривается на фазах понижения или превышения уровня. Превышение уровня приводит к выработке имеющих высокий приоритет сигналов защиты ПГ по уровню воды с изменением комплекта описаний и сопровождением защиты сигналом достоверности, предотвращающим ложный переход от одной фазы управления к другой. Добавление к обрабатываемым при управлении сигналам признаков обновления и метки времени позволяет обеспечить своевременность реагирования на отклонения от уставки.

Представленные результаты по расширению пространства описания сигналов АСУ на базе ТПТС могут использоваться не только при управлении уровнем, но и как методологические основы формирования сигналов контроля и управления на базе комплекса ТПТС при применении многопроцессорных распределенных систем для автоматизации управления режимными параметрами технологических агрегатов АЭС. Предложенные теоретико-множественные описания сигналов предлагается рассматривать как основу при разработке реляционной модели базы данных систем автоматизированного проектирования контуров управления и активизировать при настройке модулей вне технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Менгазетдинов Н.И., Полетыкин А.Г. Интеграция АСУ ТП и системы верхнего уровня АЭС – технологии и опыт ИПУ РАН // *Доклады БГУИР*. 2015. № 2 (88). С. 97–100.
2. Дунаев В., Медведовский Е. Системы автоматического управления и контроля для атомных станций // *Control Engineering Россия*. 2013. № 3 (45). С. 22–31.
3. Маликова Е.Ю., Купцов С.И. Особенности верификации и валидации прикладного программного обеспечения программно-технических комплексов на аппаратуре ТПТС для систем безопасности АЭС // *Доклады БГУИР*. 2015. № 2 (88). С. 52–55.
4. Ахремчик О.Л. Автоматизация управления уровнем в парогенераторе ПГВ-1000 // *Математические методы в технологиях и технике*. 2021. № 1. С. 29–35.
5. Ахремчик О.Л. Информационная база для автоматизированного проектирования схем систем управления технологическими объектами // *Информационные технологии*. 2009. № 8. С. 17–21.
6. Шдеев Д.А., Маликова Е.Ю. Модернизация САПР для проектирования аппаратуры ТПТС – новые решения. URL: <https://textarchive.ru/c-2360993.html> (дата обращения: 08.11.2020).
7. Акимов Н.Н., Бибииков В.В., Кольцов В.А., Лотов В.Н. Автоматизированная система управления технологическими процессами Белорусской АЭС // *Доклады БГУИР*. 2015. № 2 (88). С. 9–12.
8. Денисова Л.А., Раскин Е.М., Событийное моделирование системы автоматического регулирования питания парогенератора энергоблока АЭС // *Омский научный вестник*. 2010. № 3 (93). С. 204–209.
9. Ключев А.С., Лебедев А.Т., Новиков С.И. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 280 с.

10. Кулаков Г.Т., Кухоренко А.Н. Оптимизация переходных процессов изменения уровня воды в барабане паровых котлов // *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2014. № 4. С. 63–74.

11. Панферов С.В., Телегин А.И. Оценка качества регулирования уровня жидкости в системах теплоснабжения // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика*. 2009. № 15 (148). С. 39–44.

12. Нариц А.Д., Моисеев М.И., Карпов П.С., Новиков А.Н., Борзенко А.А., Рыжков А.В. Комплекс средств автоматизации ТПТС-НТ // *Доклады БГУИР*. 2015. № 2 (88). С. 33–37.

13. Атрошенко Ю.К., Иванова Е.В. Автоматизированные системы управления АЭС. Томск: ТПУ, 2014. 81 с.

14. Пантелеев А.Е., Гатчин Ю.А. Методы и алгоритмы создания системы верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2006. № 6 (29). С. 3–6.

15. Кулаков Г.Т., Сацук С.М., Кухоренко А.Н. Система автоматического управления уровнем парогенераторов АЭС на базе контура регулирования со сглаживанием задающего сигнала // *Доклады БГУИР*. 2018. № 1 (111). С. 72–77.

Для цитирования: Ахремчик О.Л. Использование типовых программно-технических средств автоматизации при управлении уровнем в парогенераторе Калининской АЭС // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 3 (11). С. 79–90.

THE USING OF AUTOMATION TYPICAL SOFT AND HARDWARE TOOLS FOR LEVEL CONTROL IN STEAM GENERATOR OF KALININ NUCLEAR POWER PLANT

O.L. AKHREMCHIK, Dr. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: axremchic@mail.ru

The functions of the water level control system in the steam generator are distinguished. It is proposed to consider two control phases in normal operation and protection control modes. The automation system sets priorities for the operation of the steam generator level stabilization and over-protection control systems, which are considered as basic properties of signals. The signal model is considered as a combination of sets of a basic property description, an extended property description, and a set reflecting the specifics of the unified means application. The first set includes parameter name, current value, time stamp, priority, update and validity signs, set point, change range boundaries. Extended set includes number of GET-plan, addressing of communication module for signal transmission, hysteresis for set point, list of events in case of deviations in control problem solution. Properties related to TPTS using are sign of presence of general type interference, freely designed feature, error in memory, power supply failure, ADC failure.

Keywords: automation, model, complex, level, control, reliability, function, module, signal.

REFERENCES

1. Mengazetdinov N.I., Poletykin A.G. Integration of APCS and upper-level systems of nuclear power plants – technologies and experience of IPU RAS. *Doklady BGUIR*. 2015. No 2 (88), pp. 97–100. (In Russian)
2. Dunaev V., Medvedovskiy E. Systems of automatic control and monitoring for nuclear power plants. *Control Engineering Rossiya*. 2013. No 3 (45), pp. 22–31. (In Russian).
3. Malikova E.Yu., Kuptsov S.I. Features of verification and validation of applied software of software and hardware complexes on TPTS equipment for NPP safety systems. *Doklady BGUIR*. 2015. No (88), pp. 52–55. (In Russian).
4. Akhremchik O.L. Automation of level control in the PGV-1000 steam generator. *Matematicheskie metody v tekhnologiyah i tekhnike*. 2021. No 1, pp. 29–35. (In Russian)
5. Akhremchik O.L. Information base for computer-aided design of control systems for technological objects. *Informatsionnye tekhnologii*. 2009. No 8, pp. 17–21. (In Russian)
6. Shdeev D.A., Malikova E.Yu. CAD modernization for TPTS hardware design – new solutions. URL: <https://textarchive.ru/c-2360993.html> (date accessed: 08.11.2020). (In Russian).
7. Akimov N.N., Bibikov V.V., Koltsov V.A., Lotov V.N. Automated control system of technological processes of the Belarusian NPP. *Doklady BGUIR*. 2015. No 2 (88), pp. 9–12. (In Russian).
8. Denisova L.A., Raskin E.M. Event modeling of the automatic control system for the power supply of the steam generator of the NPP power unit. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2010. No 3 (93), pp. 204–209. (In Russian).
9. Klyuev A.S., Lebedev A.T., Novikov S.I. Naladka sistem avtomaticheskogo regulirovaniya barabannykh parovykh kotlov [Adjustment of automatic control systems for drum steam boilers]. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 280 p.
10. Kulakov G.T., Kukhorenko A.N. Optimization of transient processes of water level change in the drum of steam boilers. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'edineniy SNG*. 2014. No 4, pp. 63–74. (In Russian).
11. Panferov S.V., Telegin A.I. Assessment of the quality of liquid level regulation in heat supply systems. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Energetika*. 2009. No 15 (148), pp. 39–44. (In Russian).
12. Narits A.D., Moiseev M.I., Karpov P.S., Novikov A.N., Borzenko A.A., Ryzhkov A.V. Complex of automation means TPTS-NT. *Doklady BGUIR*. No 2 (88), pp. 33–37. (In Russian).
13. Atroshenko Yu.K., Ivanova E.V. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya AES [Automated control systems for nuclear power plants]. Tomsk: Izdatelstvo TPU, 2014. 81 p.
14. Panteleev A.E., Gatchin Yu.A. Methods and algorithms for creating a system of the upper (block) level of the automated process control system of NPP. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki*. 2006. No 6 (29), pp. 3–6. (In Russian).
15. Kulakov G.T., Satsuk S.M., Kukhorenko A.N. Automatic control system for the level of steam generators of nuclear power plants based on a control loop with smoothing the reference signal. *Doklady BGUIR*. 2018. No 1 (111), pp. 72–77. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 28.04.2021; после рецензирования/revised: 05.05.2021;
принята/accepted: 20.05.2021