

Моделирование системы автоматического регулирования уровня в расширителе продувки парогенератора

Т.Г. Зацаринная, К.П. Аникевич

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Аннотация: Для моделирования динамики изменения уровня в расширителе продувки парогенератора (РП ПГ) и поддержания его в установленных пределах, в среде динамического моделирования технических систем SimInTech составлены теплогидравлическая схема и математическая модель системы автоматического регулирования уровня с регулятором на базе нечеткой логики. Техническая реализация регулятора уровня в РП ПГ представлена на платформе типовых программно-технических средств (ТПТС–ЕМ), используемых в качестве средств низовой автоматики для управляющих систем в автоматизированных системах управления технологическим процессом АЭС с водо-водяным энергетическим реактором с номинальной электрической мощностью 1000 МВт (ВВЭР–1000).

Введение. На АЭС для поддержания водно-химического режима теплоносителя 2 контура в парогенераторах (ПГ) предусмотрена их продувка (непрерывная и периодическая), которая осуществляется специальной системой организации продувки ПГ. Две технологические подгруппы (продувка и дренирование парогенераторов) входят в состав данной системы.

Непрерывную продувку парогенераторов проводят для поддержания в воде допустимых концентраций растворимых примесей, а также для вывода твердых веществ. Дополнительно к непрерывной продувке каждый ПГ становится на периодическую продувку. При периодической продувке осуществляется кратковременный сброс относительно больших количеств воды со значительным содержанием твердых частиц из карманов коллекторов, днища и дренажного патрубка ПГ. Из коллекторов периодической и непрерывной продувки через дроссельно-регулирующие устройства продувочная вода поступает в расширители продувки парогенераторов (РП ПГ) (рис. 1), где за счет расширения и центробежного эффекта происходит вскипание воды и разделение ее на пар и воду [1].

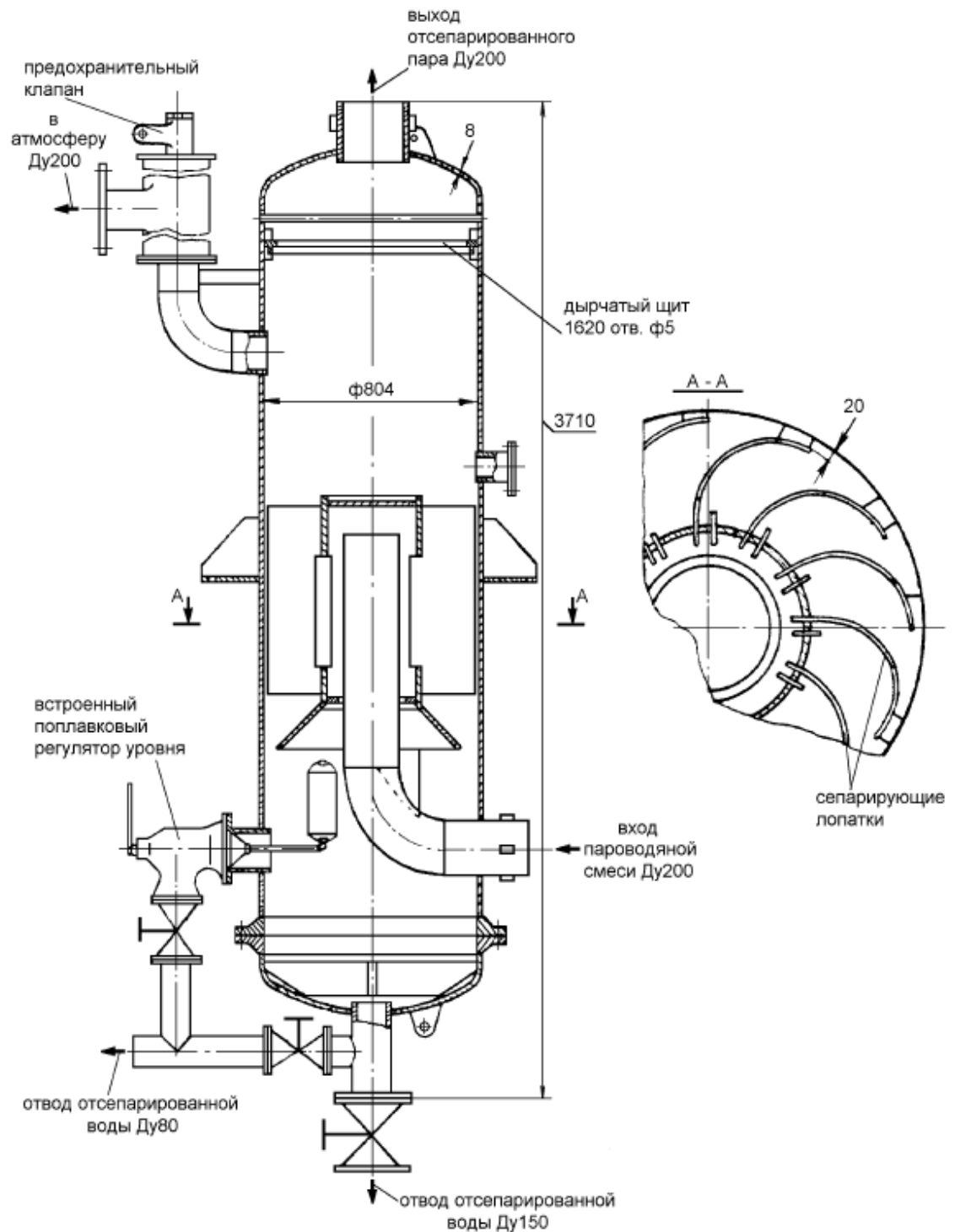


Рис. 1. – Конструкция расширителя продувки типа СП–1,5У [1]

Поддержание материального баланса между пароводяной смесью, отсепарированной водой и паром в РП ПГ осуществляется за счет

регулирования уровня и давления. Давление и уровень, согласно данным источника [1], поддерживаются в пределах $8\pm 0,1$ кгс/см² и 700 ± 100 мм.

Моделирование динамики расширителя продувки парогенератора

Для моделирования динамики изменения уровня в расширителе продувки в среде динамического моделирования технических систем SimInTech, составлена теплогидравлическая схема модели РП ПГ. Модель работает с принятыми допущениями. Предполагалось, что объемы, заполненные паром и водой в РП ПГ, рассматриваются как объемы с сосредоточенными параметрами; давление пара во всех точках РП ПГ одинаково; процесс расширения пароводяной смеси считается равновесным; продувочная вода из РП ПГ отводится самотёком по трубопроводу, на котором не имеется дополнительного гидравлического сопротивления (регулирующего клапана (РК)); изменение уровня в РП ПГ происходит за счет рассогласования поступающего и отводимого объемов продувочной воды.

С точки зрения моделирования, РП ПГ представлен как бак заданного объема ($V_{\text{РП ПГ}} = 1,5 \text{ м}^3$), в котором одна его часть – объем 1, заполнен водой, а вторая – объем 2 – паром. В объеме 1 расположены два узла: нижний – выход с диаметром 0,08 м; верхний – вход с диаметром 0,2 м. При рассогласовании потоков на входе и выходе регулируемая величина (уровень) самостоятельно устанавливается в новом равновесном состоянии. В качестве начальных параметров в баке приняты: давление $P_{\text{нач}} = 0,8$ МПа, температура воды, поступающей через верхний узел $T_{\text{нач}} = 170$ °С. Вид

расчетной схемы (начальная инициализация модели) и полученный результат представлены на рис.2.

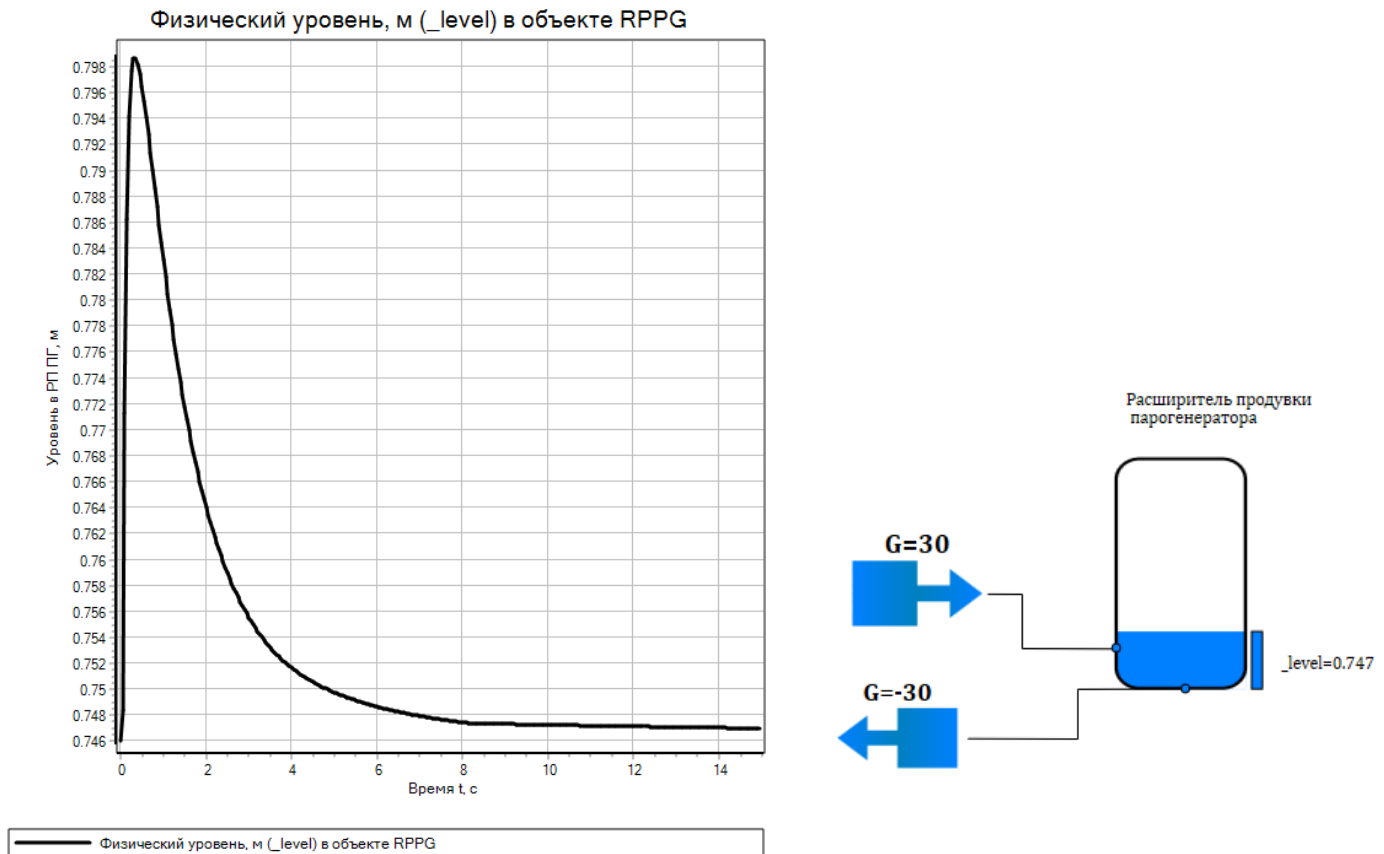


Рис. 2. – Результаты расчета уровня воды в объеме 1 расширителя продувки при внешнем воздействии в виде изменения расхода воды

График (рис. 2) показывает, что при увеличении притока воды через верхний узел, параметры среды в объеме 1 резко изменяются, уровень возрастает.

При повышении уровня возрастает гидростатический напор, что, в свою очередь, увеличивает расход воды через нижний узел. С увеличением расхода воды на выходе, величина возмущения, возникшая из-за рассогласования потоков на входе и выходе, и скорость изменения уровня уменьшаются. Постепенно расход воды достигает текущего значения

притока, повышение уровня прекращается [2] и уровень стабилизируется на отметке $h = 0,747$ м, при этом наступает новое равновесное состояние объекта.

САР уровня в расширителе продувки парогенератора на базе нечеткой логики

На современных АЭС в расширителях продувки уровень поддерживается в автоматическом или дистанционном режиме цифровыми регуляторами (ЦР), заменившими аналоговые в недалеком прошлом. Аналоговые регуляторы реализовывались на базе аппаратуры «Каскад-2», в настоящее время значительно устаревшей и выработавшей свой ресурс. Поэтому переход к цифровым системам автоматического регулирования (САР) позволил улучшить качество регулирования, снизил вероятность появления отказов и, тем самым, повысил безопасность и экономичность работы энергоблока в целом. Для создания цифровых систем автоматического регулирования могут быть использованы различные технические средства автоматизации. Так, авторами в работе [3] предлагается автоматизировать систему продувки парогенераторов, выполнив ее на программно-технических средствах (ПТС), имеющих в своем составе универсальные контроллеры, типовая организация которых представлена на рис. 3.

Алгоритм работы ЦР уровня в РП ПГ с предложенной конфигурацией предусматривает следующие этапы: включение регулятора, осуществляемое переводом переключателя блока ручного управления (БРУ–32) в положение автоматического управления; безударный переход на текущее значение уровня в РП ПГ; приведение уровня с установленным темпом в соответствие с заданным значением. Данный регулятор решает задачу регулирования

традиционным способом – реализует пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования с обратной связью по уровню в расширительном баке и по положению клапана.



Рис. 3. – Типовая конфигурация контроллера [3]: программируемый контроллер – programmable controller (PC); проводной дуплексный интерфейс – Recommended Standard 232 (RS 232)

Предлагаемый вариант автоматизации системы продувки парогенератора представляет собой современную техническую систему, которая может рассматриваться, как еще один возможный вариант исполнения. Сложность данных систем определяется с одной стороны количеством, как правило, разнотипных элементов, а с другой - количеством выполняемых функций и задач [4]. Однако многофункциональность и многозадачность этих систем позволяет достичь практически любой степени автоматизации технологическим процессом.

В настоящее время в связи с развитием вычислительных способностей технических устройств, возобновились исследования в области нечеткой логики, применительно к управлению техническими объектами [5].

При нечетком управлении используется большое число частных правил. Правила нечеткого управления, будучи условными высказываниями типа «если – то», являются логическими. Использование правил осуществляется через механизм логических выводов [6], на основании которых принимается решение по управлению тем или иным процессом посредством регулятора.

Доказано, что методология нечеткой логики эффективна для работы со сложными нелинейными системами [7], а также с нелинейными внешними возмущениями. Поэтому в качестве прототипа регулятора в математической модели САР уровня в РП ПГ (рис. 4), выбран регулятор с нечеткой логикой (РНЛ). Данная модель реализована графически в виде структурной схемы [8].

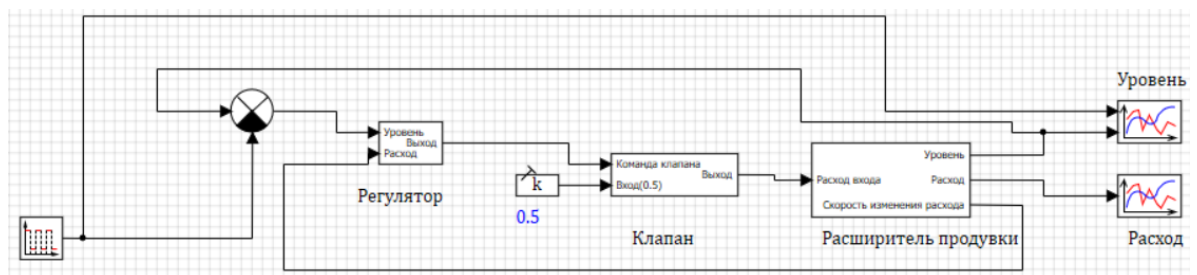


Рис. 4. – Структурная схема САР уровня в РППГ

В качестве задающего устройства в модели САР используется блок «меандр», который выдает заданное значение уровня в РП ПГ, изменяющееся с частотой 20 секунд в пределах 0,8...0,6 м. Заданное значение сравнивается в блоке сравнения с текущим значением уровня, результат разности двух уровней поступает на один из входов блока регулятора. На второй вход приходит сигнал по скорости изменения уровня в РП ПГ. В самом блоке регулятора рассчитывается управляющее воздействие по правилам нечеткой логики, результат расчета – команда, в соответствии с которой клапан перемещается в заданном направлении и заданной скоростью [9].

Результаты расчета общей модели САР уровня в расширителе продувки парогенератора показаны на рис. 5.

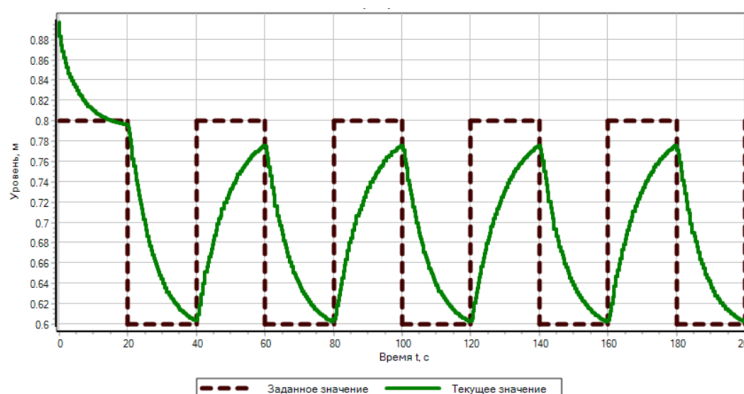


Рис. 5. – Изменение уровня в РППГ

График отображает работу регулятора по логическим правилам. Начальное значение уровня в расширителе продувки превышает заданное значение, но через 20 секунд уровень приводится к заданному значению.

Техническая реализация САР уровня в расширителе продувки парогенератора

Технически реализовать РНЛ для поддержания уровня в РП ПГ можно на ПТС с контроллерами, но при разработке контура регулирования, необходимо учитывать тот факт, что исполнительный механизм должен перемещаться с различными скоростями, по правилам логики регулятора.

На большинстве АЭС в России регулятор уровня в расширителях продувки реализуется на платформе ТПТС. Контур регулирования уровня в РП ПГ на базе ТПТС–ЕМ (рис. 6) представлен в виде структуры с иерархическим принципом организации, включающей системы верхнего (блочного) уровня (СВБУ) и нижнего уровня (низовая автоматика). Обмен информацией между уровнями осуществляется по локальной шине EN.

Обмен данными между функциональными модулями ТПТС выполняется по внутренней шине ввода/вывода (в/в).

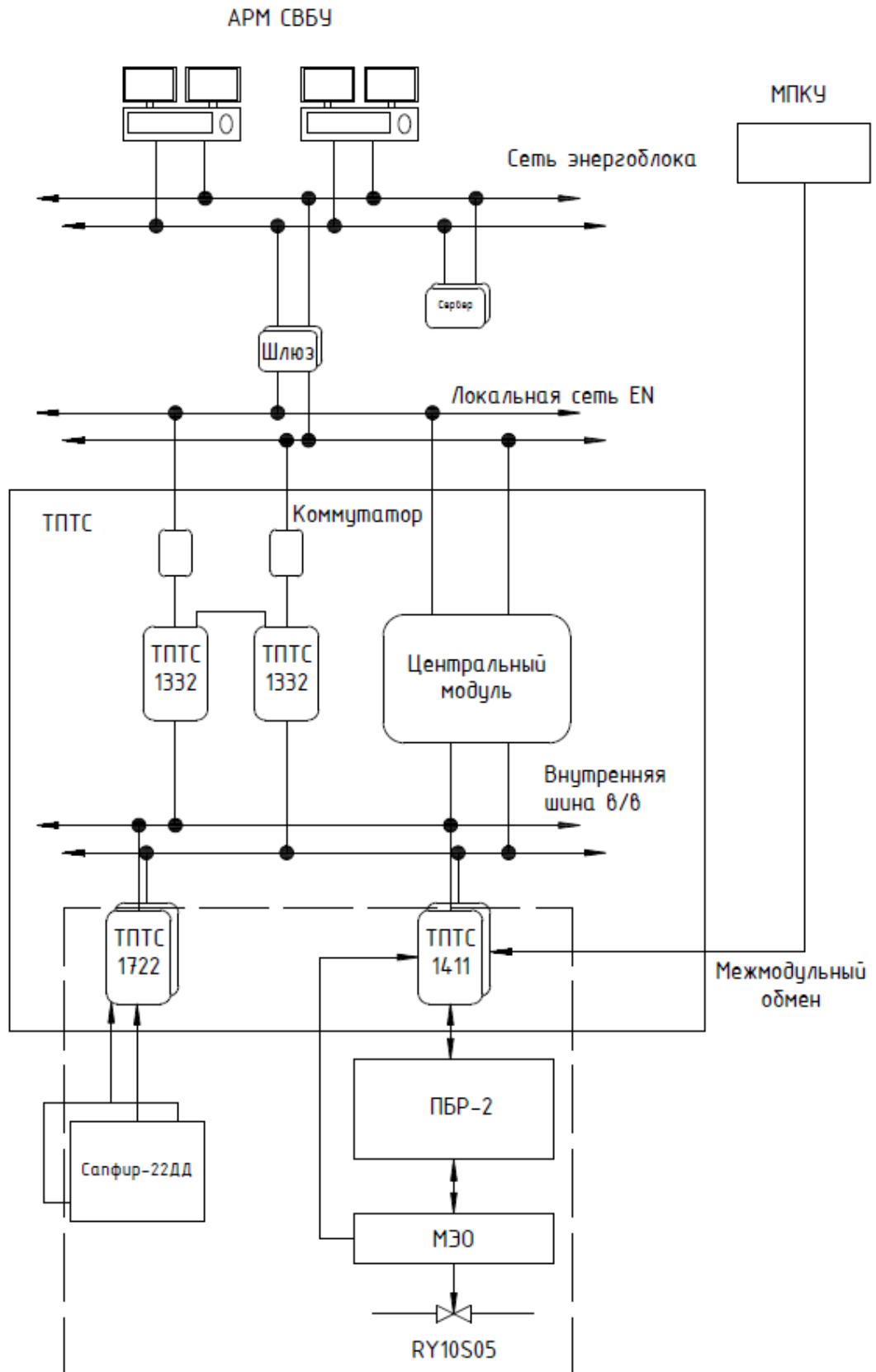


Рис. 6. – Структурная схема регулятора уровня в РППГ [10]

Изменение уровня в РП ПГ регистрирует первичный измерительный преобразователь Сапфир– 22 ДД. Унифицированный токовый сигнал датчика передается вторичному преобразователю – модулю ТПТС51–2.1722. Этот модуль принимает, обрабатывает унифицированный входной сигнал датчика и выдает преобразованный унифицированный сигнал в цифровом виде на внутреннюю шину ввода/вывода. Через внутреннюю шину ввода/вывода цифровой сигнал поступает через коммуникационное оборудование на автоматизированное рабочее место (АРМ) верхнего уровня, а также в модуль ТПТС51–2.1411 – двухканальный, структурируемый модуль S–регулятора, предназначенный для автономной работы в качестве импульсного регулятора. В этом модуле рассчитывается управляющее воздействие на исполнительный механизм. Непосредственно к модулю могут быть подключены мозаичные панели контроля и управления (МПКУ).

Выходная команда модуля регулятора подается на пускатель (ПБР–2). ПБР–2 применяется в качестве пускового устройства в схемах управления с редукторами механизма электрического однооборотного (МЭО), а их совместная работа заставляет перемещаться РК (RY10S05) в заданном направлении, на закрытие или открытие, тем самым изменяя расход продувочной воды из РП ПГ и поддерживая уровень в заданных пределах.

Развитие науки и технологий в сфере автоматизации технологического процесса дает возможность модернизировать и усовершенствовать различные системы, используемые на АЭС. Поэтому, как альтернатива традиционным пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) регуляторам, в данной статье, предлагается для применения модель РНЛ, функционирующего по заданным правилам.

Правила работают параллельно, даже если специалистом допущен конфликт правил, то другие правила смогут разрешить возникший конфликт. Однако нужно отметить, что применение нечетких регуляторов требует настройки большего количества параметров, в отличие от ПИД-регуляторов [5].

РНЛ регуляторы активно применяются в промышленности и эта тема актуальна в настоящее время, особенно, если использовать различные комбинации. Так, например, в работе [11] реализован ПИД – регулятор совместно с нечетким ПД-регулятором, оснащенный нечеткой динамической коррекцией, в результате получился надежный регулятор, обеспечивающий минимальное перерегулирование и время установления рабочих параметров.

Каждый новый подход к автоматизации технологических объектов и процессов предоставляет возможности для возникновения прорывных технологий активно внедряемых высокотехнологичными компаниями в производство. В настоящее время очень активно развивается тема искусственного интеллекта. Специалисты применяют методы искусственного интеллекта в самых разнообразных областях, где без них не удастся достичь успеха [12]. Особенно остро в настоящее время стоит вопрос борьбы с компьютерными атаками (КА). Так, авторы в работе [13] отмечают, что воздействия КА приводит к появлению в сети передачи данных (СПД) девиантной активности трафика, для постоянного обнаружения и мониторинга в СПД необходимо учитывать наличие большого количества сетевых маршрутов. Все это послужило поводом для разработки методики раннего обнаружения компьютерных атак в сетевом трафике СПД. В качестве метода машинного обучения предлагается использовать гибридную нейронную сеть.

Искусственный интеллект пришел на помощь и в борьбе с кибератаками на российских АЭС. Руководство станций утверждает, что с подобным явлением научились бороться и сделали безопасной IT-инфраструктуру,

как технологическую, так и управленческую не без помощи искусственного интеллекта. Реализуя комбинированные системы управления с нечеткой логикой и нейронной сетью для контроля и управления на АЭС, возможно добиться продления работоспособности оборудования экономически оптимальными мерами.

Литература

1. Технологические системы реакторного отделения ВВЭР-1000 с РУ В-320. Часть 2. Вспомогательные системы. Балаково: БАЭС, ЦПП, 2000. 288 с.
2. Демченко В.О. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Астропринт, 2001. 308 с.
3. Бондаренко Ю.Н. Автоматизация системы продувки ПГ и регулирования уровня и давления в расширителях продувки ПГ // 4-я Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». Подольск: Гидропресс, 2005. С. 187-195.
4. Лаута О.С., Баленко Е.Г., Федоров В.Х., Остроумов О.А., Лепешкин О.М. Метод построения профиля функционирования сложной технической системы // Инженерный вестник Дона, 2023, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8183.
5. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами. СПб: Университет ИТМО, 2017. 81 с.
6. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. и др. Прикладные нечёткие системы. М.: Мир, 1993. 368 с.
7. Huaguang Zhang, Derong Liu. Fuzzy Modeling and Fuzzy Control // Springer Science & Business Media, 2006, 416 p.
8. Карташов Б.А., Шабаетов Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по

моделированию систем автоматического регулирования. М.: ДМК Прогресс, 2017. 424 с.

9. Зацаринная Т.Г., Аникевич К.П., Давиденко Е.Н., Ильчук Д.С. Цифровое регулирование уровня конденсата в конденсатосборнике сепаратора-пароперегревателя // Энергетические установки и технологии, 2021, Т.7, № 1 . С.7-13.

10. Зверков В.В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС // Монография. М.: НИЯУ МИФИ, 2014. 560 с.

11. Vichuzhanin, Vladimir . Realization of a fuzzy controller with fuzzy dynamic correction // Central European Journal of Engineering, 2012, 2 (3). pp. 392–398.

12. Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 352 с.

13. Федоров Д.Ю., Васюков Д.Ю., Лаута О.С., Баленко Е.Г., Иванов Д.А. Подход к работе системы защиты сети передачи данных от компьютерных атак на основе гибридной нейронной сети // Инженерный вестник Дона, 2023, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1_y2023/8163.

References

1. Tekhnologicheskie sistemy reaktornogo otdeleniya VVER-1000 s RU V-320. Chast' 2. Vspomogatel'nye sistemy [Technological systems of the WWER-1000 reactor compartment with V-320 reactor unit. Part 2. Auxiliary systems]. Balakovo: BAES, TSPP, 2000. 288 с.

2. Demchenko V.O. Avtomatizatsiya i modelirovanie tekhnologicheskikh protsesov AES i TES. [Automation and modeling of technological processes of NPP and TPP]. Odessa: Astroprin, 2001, 308 p.

3. Bondarenko YU.N. Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Obespechenie bezopasnosti AES s VVER": trudy (The 4th International

Scientific and Technical Symp. “Safety assurance of NPP with WWER”). Podolsk, 2005, pp. 187-195.

4. Lauta O.S., Balenko E.G., Fedorov V.KH., Ostroumov O.A., Lepeshkin O.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8183.

5. Demidova G.L., Lukichev D.V. Regulyatory na osnove nechetkoy logiki v sistemakh upravleniya tekhnicheskimi ob'ektami [Controllers based on fuzzy logic in control systems of technical objects]. SPb: Universitet ITMO. 2017. 81 p.

6. Asai K., Vatada D., Ivai S. and others. Prikladnye nechetkie systemy [Applied fuzzy systems]. M.: Mir, 1993. 368 c.

7. Huaguang Zhang, Derong Liu. Fuzzy Modeling and Fuzzy Control. Springer Science & Business Media, 2006, 416 p.

8. Kartashov B.A., Shabaev E.A., Kozlov O.S., Shchekaturov A.M. Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech: Praktikum po modelirovaniyu sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [SimInTech dynamic modeling environment for technical systems: Workshop on automatic control system modeling]. M.: DMK Progress. 2017. 424 p.

9. Zatsarinnaya T.G., Anikevich K.P., Davidenko E.N., Il'chuk D.S. Energeticheskie ustanovki i tekhnologii, 2021, T.7, № 1, pp. 7-13.

10. V.V. Zverkov. Avtomatizirovannaya Sistema upravleniya tehnologicheskimi protsessami AES. Monografiya [Automated NPP Process Control System. Monograph]. M.: NIYAU MIFI. 2014. 560 p.

11. Vichuzhanin, Vladimir. Central European Journal of Engineering, 2012, 2 (3), pp. 392–398.

12. Devyatkov V.V. Sistemy iskusstvennogo intelekta [Artificial intelligence systems]. M.: MGTU, 2001. 352 c.



13. Fedorov D. YU., Vasjukov D. YU, Lauta O.S., Balenko E.G., Ivanov D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1_y2023/8163.