

13. *Правилов Д.И., Мурашкин В.А.* Подходы к количественной оценке информационной безопасности на предприятии ТЭК / Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXXII междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 212-217. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79446201&pff=1> (дата обращения 12.10.2025).

14. *Souppaya M., Scarfone K.* Guide to Enterprise Patch Management Planning: Preventive Maintenance for Technology // NIST Special Publication 800-40, Rev. 4. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2022. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-40r4. – URL: <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/40/r4/final> (дата обращения 24.09.2025).

15. ISO/IEC 27035-1:2023. Information security incident management – Part 1: Principles and process. Geneva: ISO/IEC, 2023. – URL: <https://www.iso.org/standard/78973.html> (дата обращения 24.10.2025).

*Работа посвящается 80-летию
атомной промышленности России*

Лещенко В.В.

Кибернетика безопасности энергетических систем с ядерным реактором

Аннотация: В статье представлены результаты научно-исследовательской работы по решению проблемы повышения технической безопасности, надежности и живучести энергетических систем с ядерным реактором в условиях природных и техногенных воздействий. Описан кибернетический аспект предложенного автором повышения технической безопасности энергетических систем с ядерным реактором на примере дальнейшего усовершенствования системы атомной электрической станции.

Ключевые слова: кибернетика, безопасность, атомная электрическая станция, ядерный реактор, энергетическая система, живучесть, гомеостаз, катастрофы

1. Введение в проблему

В работе [1], были описаны крупные аварии энергетических систем с ядерным реактором (ЭСЯР) – атомных электрических станций (АЭС), на рубеже второго и третьего тысячелетий, когда произошли аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1».

Для предотвращения таких катастроф энергетических систем с ядерным реактором в условиях природных и техногенных воздействий был необходим анализ их причин и разработка предложений для их предотвращения в будущем.

2. Анализ причин катастроф на АЭС

Первая авария известна как катастрофа 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС. Причиной разрушения и теплового взрыва ядерного реактора стало недостаточное электропитание электродвигателей, являющихся приводом циркулярных насосов и, соответственно, недостаточное охлаждение реактора, вызвавшее его перегрев и взрыв.

Вторая – крупная радиационная авария 11 марта 2011 г. максимального, 7-го уровня согласно Международной шкале ядерных событий (INES). Землетрясение и последовавший за ним удар цунами привели к полному обесточиванию станции, в том числе к отказу резервных источников электроснабжения АЭС.

3. Результаты анализа причин катастроф на АЭС

Результаты анализа технических причин обеих аварий показал, что обесточивание электродвигателей приводов циркуляционных насосов АЭС привело к отказу системы теплоотвода от ядерных реакторов с последующим перегревом и расплавлением активной зоны ядерных реакторов.

Возникшие катастрофические ситуации на АЭС стали следствием фундаментальных проблем в сложных автоматизированных системах управления ядерных реакторов.

Решение этих проблем, соответственно, должно быть фундаментальным, с применением нестандартных технических и организационных технологий.

4. Понятие кибернетики

Вначале обратимся к определению «кибернетики», которое будет использовано в данной статье. Оно было сформулировано в 1947 году Норбертом Винером с соратниками [2].

В переводе на русский язык текст представлен фотографией фрагмента из источника [3] на рисунке 1.

По примеру других ученых, нам пришлось придумать хотя бы одно искусственное неогреческое выражение для устранения пробела. Было решено назвать всю теорию управления и связи в машинах и живых организмах *кибернетикой*, от греческого *κυβερνήτης* — «кормчий»¹. Выбирая этот термин, мы тем самым признавали, что первой значительной работой по механизмам с обратной связью была статья о регуляторах, опубликованная Кларком Максвеллом в 1868 г.², и что слово «governor», которым Максвелл обозначал регулятор, происходит от латинского искажения слова «*κυβερνήτης*». Мы хотели также отметить, что судовые рулевые машины были действительно одними из самых первых хорошо разработанных устройств с обратной связью³.

Рисунок 1 – Фотография фрагмента страницы с классическим определением авторов кибернетики из книги Н. Винера [3]

Исследования истории происхождения этого классического определения показали, что Кларк Максвелл в 1868 году опубликовал статью о механизмах с обратной связью. В ней была описана обратная связь в механической системе управления, о которой упоминает Н. Винер.

Из истории науки и техники известно, что механизм с обратной связью был изобретен Джеймсом Уаттом (James Watt) в 1774 году. Патент на изобретение центробежного регулятора №1784 был получен им в 1774 году. Научное сообщество назвало именем Джеймса Уатта (James Watt, 1736-1819) единицу мощности – Ватт, используемую в науке и технике до настоящего времени.

В современной учебной литературе механизм, изобретенный Джеймсом Уаттом, представлен иллюстрацией из источника [4] на рисунке 2.

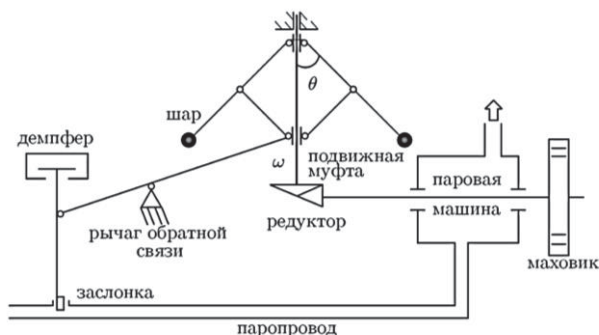


Рисунок 2 – Иллюстрация центробежного регулятора заданной угловой скорости вращения вала паровой машины [4]

Этот регулятор предназначен для автоматического поддержания заданной угловой скорости вращения вала паровой машины.

Впоследствии возникли различные описания кибернетических систем и частных теорий, которые относят к частным кибернетическим системам, моделям, описаниям и представлениям о фундаментальных свойствах процессов в различных средах и предметных областях. Одним из источников описания такого разнообразия является монография [5].

В настоящей работе автор ориентируется на классическое определение, предложенное Норбертом Винером, Артуром Розенблумом и их соратниками [3]:

Кибернетика – теория управления и связи в машинах и живых организмах.

Ниже рассмотрены варианты кибернетических систем регулирования ЭСЯР для повышения безопасности их работы посредством предотвращения на них аварий и катастроф.

5. Система управления работой ЭСЯР с турбонасосами и насосами с электроприводами

Система регулирования ЭСЯР в отсутствии электроэнергии для электроприводов в структуре АЭС представлена на рисунке 3 [6].

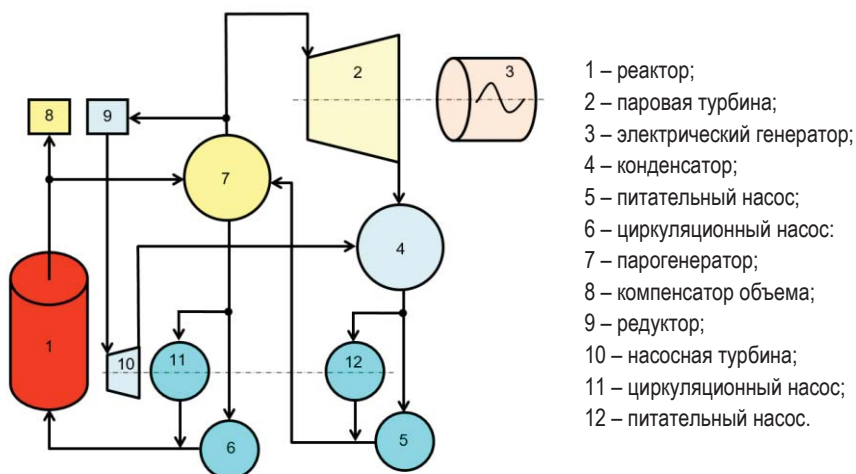


Рисунок 3 – Система регулирования ЭСЯР с турбонасосами и насосами с электроприводами [6]

Представленное техническое решение состоит в том, что включенные в схему атомной электрической станции циркуляционный насос 11 и питательный насос 12, приводимые в действие насосной турбиной 10, подключенной через редуктор 9 к парогенератору 7, позволяют атомной электрической станции работать при отключении энергоснабжения электроприводов циркуляционного насоса 6 и питательного насоса 5.

При возрастании мощности в реакторе 1 усиливается работа циркуляционного насоса 11 и питательного насоса 12. Соответственно, увеличивается подача теплоносителя в реактор 1, предохраняя его от взрыва с последующим разрушением и загрязнением окружающей среды радиоактивными элементами. Таким образом, обеспечивается повышение надежности и безопасности работы атомной электрической станции.

6. Система управления работой ЭСЯР с турбонасосами и насосами с электроприводами с изменяемой конфигурацией структуры регулирования ЭСЯР

Система регулирования ЭСЯР с турбонасосами и насосами с электроприводами с возможностью изменять конфигурацию

структуры ЭСЯР [7] в предаварийных ситуациях представлена на рисунке 4.

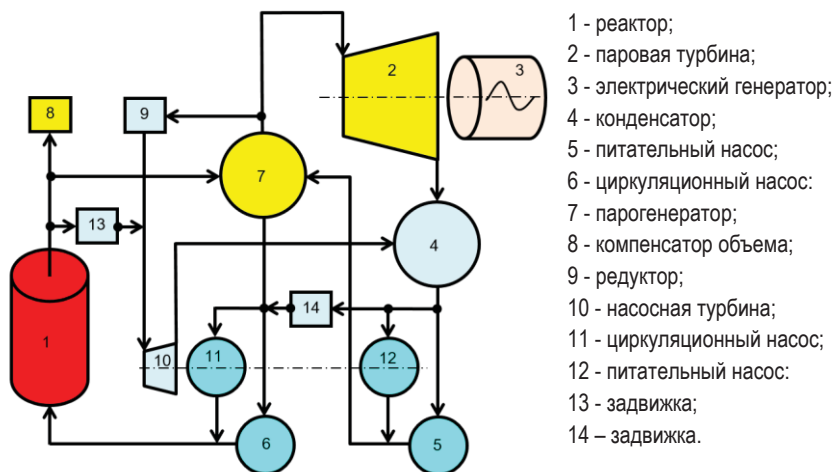


Рисунок 4 – Система регулирования ЭСЯР с турбонасосами и насосами с электроприводами с изменяемой конфигурацией структуры регулирования ЭСЯР [7]

В случае нарушения работы парогенератора 7 и/или редуктора 9 выход реактора 1 через задвижку 13 подключают к входу насосной турбины 10, и выход конденсатора 4 через задвижку 14 подключают к входам циркуляционного насоса 11 и циркуляционного насоса 6. Таким образом, обеспечивается повышение надежности и безопасности работы атомной электрической станции.

7. Система управления работой ЭСЯР с комбинированной структурой, содержащей турбонасосы и инжекторные насосы

Система регулирования ЭСЯР с комбинированной структурой, содержащей турбонасосы и инжекторные насосы [8] представлена на рисунке 5.

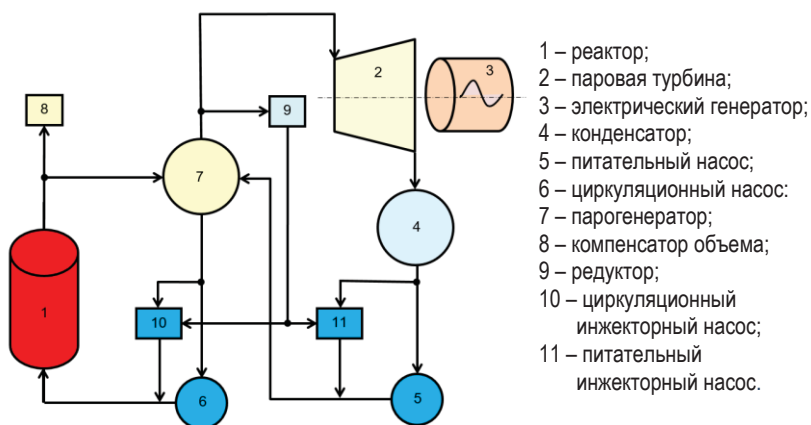


Рисунок 5 – Система регулирования ЭСЯР с комбинированной структурой, содержащей турбонасосы и инжекторные насосы [8]

Представленное техническое решение [8] состоит в том, что включенные в схему атомной электрической станции первый инжекторный насос 10 и второй инжекторный насос 11, приводимые в действие энергией пара поступающего через редуктор 9 от парогенератора 7, выполняющие функции насосов, позволяют атомной электрической станции работать при отключении энергоснабжения электроприводов циркуляционного насоса 6 и питательного насоса 5. Причем, при возрастании мощности в реакторе 1 усиливается работа первого инжекторного насоса 10 и второго инжекторного насоса 11. Соответственно, увеличивается подача теплоносителя в реактор 1, предохраняя его от взрыва с последующим разрушением и загрязнением окружающей среды радиоактивными элементами. Таким образом, обеспечивается повышение надежности и безопасности работы атомной электрической станции, так как простота конструкции насосов инжекторного типа обеспечивает их исключительную надежность.

8. Система управления работой ЭСЯР с инжекторными насосами в структуре ЭСЯР

Система регулирования ЭСЯР с инжекторными насосами в ее структуре [9] представлена на рисунке 6.

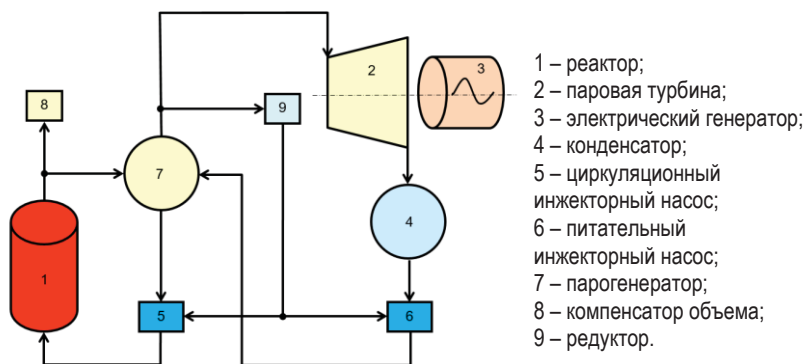


Рисунок 6 – Система регулирования ЭСЯР с инжекторными насосами в ее структуре

Представленное техническое решение [9] состоит в том, что включенные в схему атомной электрической станции циркуляционный инжекторный насос 5 и питательный инжекторный насос 6, приводимые в действие энергией пара поступающего через редуктор 9 от парогенератора 7, не нуждаются в электроснабжении. Причем, при возрастании мощности в реакторе 1 увеличивается мощность работы циркуляционного инжекторного насоса 5 и питательного инжекторного насоса 6. Соответственно увеличивается подача теплоносителя в реактор 1, предохраняя его от взрыва с последующим разрушением и загрязнением окружающей среды радиоактивными элементами. Таким образом, обеспечивается дальнейшее повышение надежности и безопасности работы атомной электрической станции, так как простота конструкции насосов инжекторного типа обеспечивает их исключительную живучесть.

Заключение

Принцип действия описываемых энергетических систем с ядерным реактором на примере атомных электростанций обеспечивает их безаварийное функционирование за счет саморегулирования охлаждения активной зоны реактора без электроприводов циркуляционных и питательных насосов.

Чем больше тепловая мощность, выделяемая реактором, тем больше уровень мощности насосной турбины, вращающей

циркуляционный насос, тем более интенсивное охлаждение активной зоны реактора.

В другом варианте, с инжекционными насосами, чем больше тепловая мощность, выделяемая реактором, тем больше рабочая мощность инжекционного насоса, подающего теплоноситель в активную зону ядерного реактора, тем более интенсивное охлаждение активной зоны реактора. Таким образом обеспечивается гомеостаз кибернетической системы для безаварийной работы энергетических систем с ядерным реактором.

Литература:

1. *Лещенко В.В.* Повышение технической безопасности сложных систем с ядерным реактором / Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXVIII Международной конференции, 16 декабря 2020 г., Москва / под общей ред. А.О. Калашникова, В. В. Кульбы. – Москва: ИПУ РАН, 2020. – С. 276-280.

2. *Wiener N.* Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine. – Cambridge: The Technology, 1948. – 194 p.

3. *Винер Н.* Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Наука, 1983. – 338 с.

4. *Буданов В.М.* Системы управления с обратной связью. – М.: МГУ им. Ломоносова М.В., 2022. – 18 с. – рис. 2.3. [Электронная версия для damc.ru].

5. *Новиков Д.А.* Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 160 с.

6. Атомная электрическая станция: патент на изобретение № 2638304 Российская Федерация. Заявка № 2016152733 от 30.12.2016. Опубликовано 13.12.2017 / *Лещенко В.В.*, Бюл. № 35. – 7 с.

7. Атомная электрическая станция: патент на изобретение № 2638305 Российская Федерация. Заявка № 2017100056 от 09.01.2017. Опубликовано 13.12.2017 / *Лещенко В.В.*, Бюл. № 35. – 8 с.

8. Атомная электрическая станция: патент на изобретение № 2806440 Российская Федерация. Заявка № 2022135414 от 30.12.2022. Опубликовано 01.11.2023 / *Лещенко В.В.*, Бюл. № 31. – 8 с.

9. Атомная электрическая станция: патент на изобретение № 2806439 Российская Федерация. Заявка № 2022135413 от 30.12.2022. Опубликовано 01.11.2023 / *Лещенко В.В.*, Бюл. № 31. – 8 с.