

6. Меденников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г. Эффективность использования информационных интернет-ресурсов научно-исследовательских учреждений аграрного направления. – М.: Аналитик, 2018. – 235 с.

DOI: 10.25728/iccss.2023.67.27.028

Филимонюк Л.Ю.

Метод обеспечения безопасности сложных систем в условиях воздействия неблагоприятных факторов и событий

Аннотация: В работе предлагается метод обеспечения безопасности сложных систем, функционирующих в условиях неблагоприятных воздействий. В его основу положены причинно-следственный и ресурсный подходы, а также принцип отрицательных мощностных обратных связей. Метод проиллюстрирован примером для такого класса сложных систем как суда с ядерной энергетической установкой.

Ключевые слова: сложная система, безопасность, обратная связь, причинно-следственная связь, ресурс

В настоящее время в Российской Федерации осуществляется масштабная программа строительства атомных электростанций и мобильных ядерных энергетических установок (ЯЭУ) [1-3]. В связи с этим все более актуальна задача обеспечения и поддержания безопасности и предотвращения критических ситуаций, возникающих в процессе функционирования сложных человеко-машинных систем (ЧМС) в целом, и ЯЭУ в частности.

Несмотря на неуклонное совершенствование ЯЭУ происшествия имеют место. Улучшение конструкции установок, с одной стороны, повышает их надежность, с другой – усложняет человеко-машинное взаимодействие.

Необходимо также отметить, что полностью безопасных систем не существует, и штатное функционирование ЧМС обычно сопровождается неопасными сбоями техники и нефатальными ошибками операторов. Такие события не приводят к аварийным ситуациям, так как вовремя парируются, для чего требуются

дополнительные ресурсы, либо не сказываются на текущем отрезке работы системы. Однако это не исключает проявления более серьезных последствий таких сбоев на дальнейших этапах работы. Принятые в структуре ЧМС отрицательные обратные связи являются механизмом поддержания устойчивости систем, что приводит к повышению уровня их безопасности. Таким образом, необходима выработка подходов к комплексному контролю устойчивости работы систем с учетом взаимодействия их разнородных ресурсов. Целью данного исследования является разработка подходов к анализу и предотвращению аварийных ситуаций путем комплексного исследования различных факторов функционирования ЯЭУ, включая описание и построение обратных связей [4] для анализа их устойчивости и контроль разнородных ресурсов.

Для описания разнородных процессов в ЧМС используется причинно-следственные комплексы (ПСК), которые строятся как композиции элементарных причинно-следственных звеньев [5]. Каждое звено содержит терминалы: группу причины, состоящую из собственно причины и условия реализации причинно-следственной связи, и группу следствия, образованную собственно следствием и условиями, возникающими после реализации связи.

В общем виде ПСК – это совокупность семи объектов $\rho = (\alpha, \beta, \eta, \nu, (h, \omega, \kappa))$, где α, β, η и ν – элементы множества-универсума Ω , $h: \Omega \rightarrow \Omega$, $\omega: \Omega \times \Omega \rightarrow \Omega$, $\kappa: \Omega \rightarrow \Omega \times \Omega$. Пара (α, β) называется группой причины (α – причина, β – условие 1), а пара (η, ν) группой следствия (η – следствие, ν – условие 2) [5].

Процесс функционирования ЧМС допускает представление в форме последовательности дискретных событий. Обозначим $A_0 = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$ множеством штатных событий. События, связанные с нарушением регулярности функционирования, классифицируются как множества ситуаций:

– особые ситуации – $A_1 = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$ ситуации, возникающие в результате воздействия неблагоприятных факторов и приводящие к снижению безопасности;

– сложные ситуации – $A_2 = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$ существенное ухудшение условий и снижение безопасности;

– аварийные ситуации $A_3 = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}\}$ – при которых ухудшение условий и характеристик функционирования не позволяет выполнить функционирование точно или полностью;

– инциденты – $A_4 = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iu}\}$.

Система, моделируемая причинно-следственным комплексом, будет устойчивой, если в процессе ее функционирования события-следствия η будут принадлежать множеству A_0 .

Пусть вектор $r = r_1, r_2, \dots, r_k$ содержит значения ресурсов системы, доступных на момент начала данного этапа. Запись $(r_1, r_2, \dots, r_k) \subseteq \alpha$ означает, что r_1, r_2, \dots, r_k являются ресурсами множества, составляющих причины α .

Утверждение 1. Для каждого ПСК найдется подмножество группы причин, ресурсы которых обеспечивают следствие из множества штатных событий. Формально это утверждение записывается так: $((\forall(\alpha, \beta, \eta, v, (h, \omega, \kappa)))(\exists (r_1, r_2, \dots, r_k) \subseteq \alpha,)(\forall(\alpha, \beta))\eta = (\text{pr}_1\kappa(h(\omega(\alpha, \beta)))) \in A_0$).

Следствие 1 из утверждения 1. Для того чтобы следствие функционирования ЧМС находилось в области инцидентов или сложных ситуаций необходимо и достаточно, чтобы вектор ресурсов содержал хотя бы одну исчерпанную компоненту, которую не могут компенсировать другие компоненты вектора ресурсов. Формально это утверждение записывается так:

$((\forall(\alpha, \beta, \eta, v, (h, \omega, \kappa))) \& (r_1, r_2, \dots, r_k): (\exists r_i < r_{\text{пороговое}})) \rightarrow (\forall(\alpha, \beta))\eta = (\text{pr}_1\kappa(h(\omega(\alpha, \beta)))) \in A_j, j=1, 2, 3, 4$.

Следствие 2 из утверждения 1. Для того чтобы следствие функционирования ЧМС находилось в области штатных ситуаций необходимо и достаточно, чтобы вектор ресурсов содержал исчерпанные компоненты, каждую из которых могут компенсировать другие компоненты вектора ресурсов. Формально это утверждение записывается так:

$((\forall(\alpha, \beta, \eta, v, (h, \omega, \kappa))) \& (r_1, r_2, \dots, r_k): (\exists r_i < r_{\text{пороговое}})) \rightarrow ((r_i \leftrightarrow \langle r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ik} \rangle) \geq r_{\text{пороговое}} = (\text{pr}_1\kappa(h(\omega(\alpha, \beta)))) \in A_0$.

Как известно [4] обратная связь – это процесс, приводящий к тому, что результат функционирования какой-либо системы влияет на параметры, от которых зависит функционирование этой системы. То есть, на вход системы подается сигнал, зависящий от ее выходного сигнала. Наиболее часто при обратной связи передаются

определенные сигналы. Обратная связь предполагает некоторое преобразование компонента, поступающего по прямой связи, и передачу результата преобразования обратно, т.е. в направлении, противоположном последовательности к одному из предыдущих элементов системы. В общем случае обратный сигнал может иметь такой же характер, как и прямой: информация преобразуется в информацию, энергия – в энергию.

Результаты отождествления терминалов звеньев могут быть представлены формулами языка причинно-следственных комплексов и такие формулы конструируются с использованием правил композиции структурных автоматов [6]. На основании самоподобия каждое элементарное звено и каждый комплекс причинно-следственных связей имеют такую же форму зависимости.

Реактор (рисунок 1) [7] – это установка для получения ядерных цепных реакций, во время которых возникает энергия, преобразуемая далее в механическую.

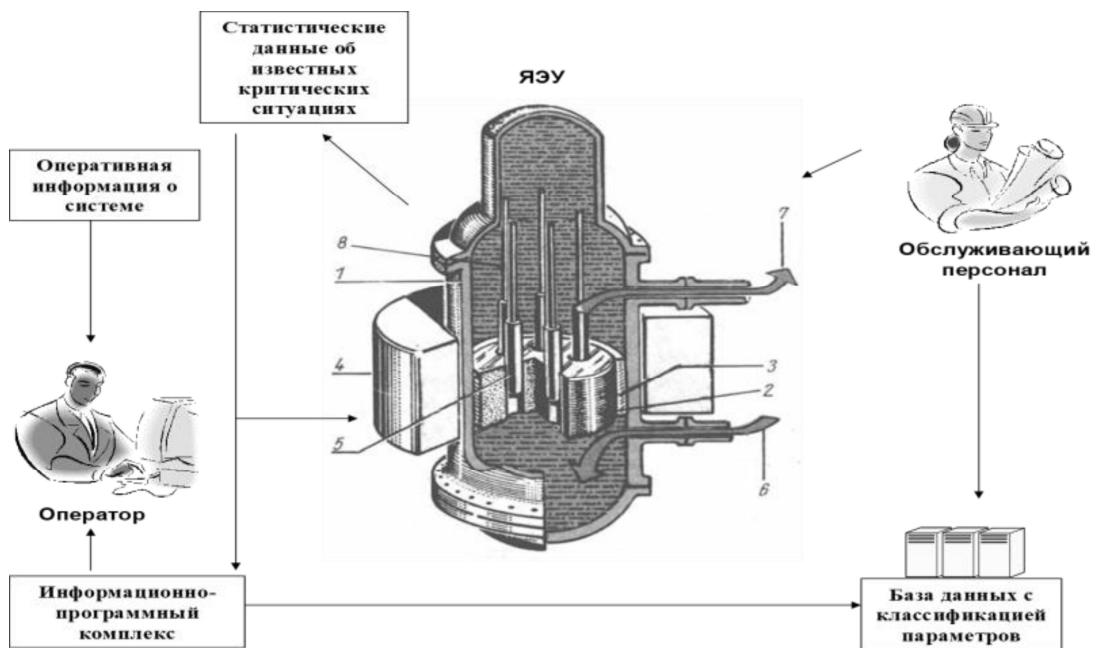


Рисунок 1 – Обобщенная структура ядерной энергетической установки:

1 – корпус; 2 – замедлитель; 3 – отражатель; 4 – защита; 5 – тепловыделяющие элементы; 6 – вход теплоносителя; 7 – выход теплоносителя; 8 – регулирующие стержни

Эта установка имеет два контура циркуляции. В [1] предлагается установка, получаемая в которой тепловая энергия будет использоваться для выработки электрической энергии в турбогенераторе. К парогенератору из второго контура низкого давления подается конденсат. Нагреваемая в парогенераторе вода испаряется. Этот пар с относительно низким давлением служит для питания турбин, которые через редуктор приводят во вращение гребной винт.

Ядерный реактор изолирован от окружающей среды защитным экраном, не пропускающим вредные радиоактивные лучи. В рамках предлагаемого подхода безопасность обеспечивается за счет отрицательных мощностных обратных связей в активной зоне и тепловой инерционности реактора [1]. Вторичный экран окружает парогенератор и заключает внутри себя весь первый контур высокого давления.

Причинно-следственный комплекс ЯЭУ при декомпозиции имеет вид (рисунок 2).

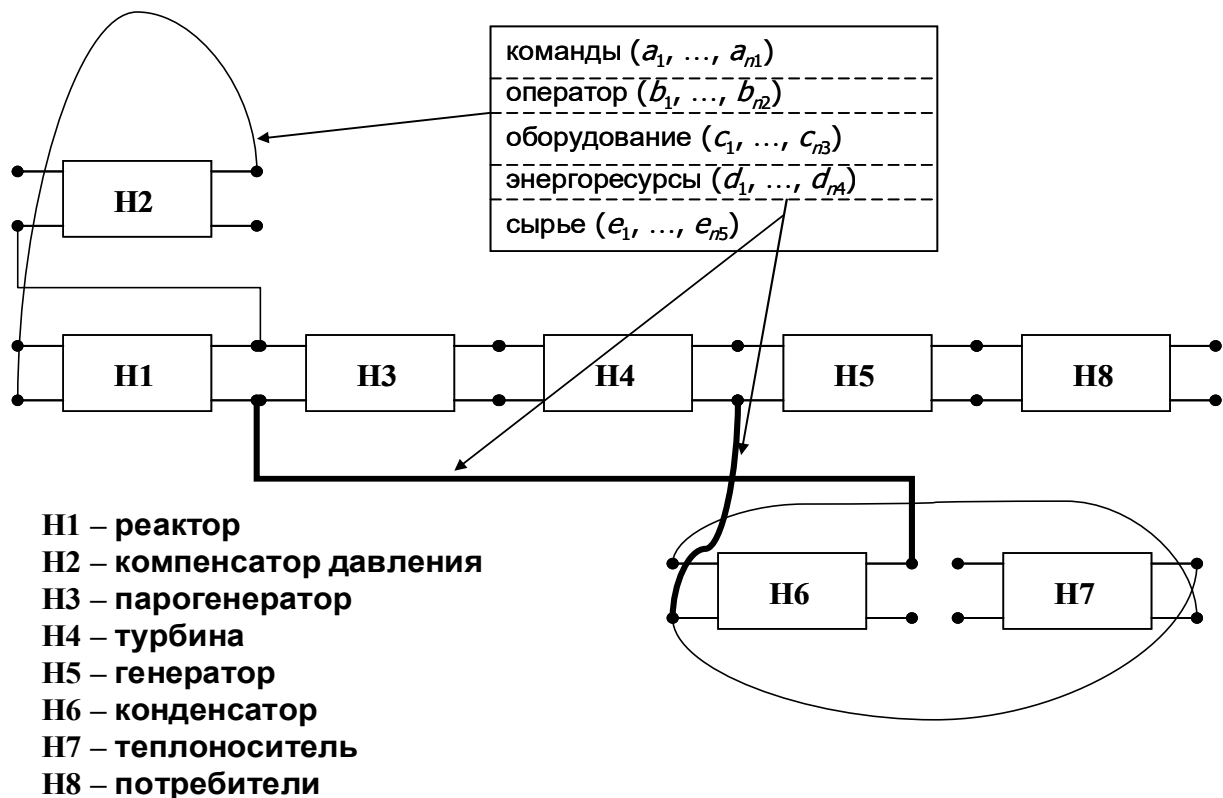


Рисунок 2 – Декомпозиция причинно-следственного комплекса ядерной энергетической установки

В результате проведенных исследований разработан подход к анализу и предотвращению аварийных ситуаций путем комплексного исследования различных факторов функционирования ЯЭУ как ЧМС, включая контроль разнородных ресурсов и анализ их устойчивости.

Результаты проведенных исследований предлагается применять в тренажерах при подготовке персонала сложных технических систем, а при дальнейшем совершенствовании возможно их применение для поддержки принятия решений операторами и в реальных ситуациях.

Литература:

1. Митенков Ф.М. Размышления о пережитом. – М.: ИздАТ, 2004. – 400 с.

2. Митенков Ф.М., Коротких Ю.Г. К вопросу о создании эксплуатационного мониторинга ресурса оборудования и систем ядерных энергетических установок // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. – № 4. – С. 105-117.

3. Митенков Ф.М., Городов Г.Ф., Коротких Ю.Г., Панов В.А., Пичков С.Н. Проблемы обеспечения надежности, ресурса и безопасности ядерных энергетических установок // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 2. – С. 106-112.

4. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. 2-е издание. – М.: Наука, 1983. – 344 с.

5. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные комплексы взаимодействий производственных процессов // Проблемы управления. – 2010. – № 3. – С. 51-59.

6. Глушков В.М. Синтез цифровых аппаратов. – М.: Физматгиз, 1962. – 435 с.

7. Атомная энергетическая установка. – URL: <http://www.seaships.ru/atomicenergy.htm> (дата обращения 15.09.2023).