

ПРИМЕНЕНИЕ ПК АРБИТР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ СУДОВЫХ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

И. В. Кудинович, Н. В. Шкляров, А. А. Нозик, А. В. Струков (Санкт-Петербург)

ВВЕДЕНИЕ

Разработка технологии автоматизированного анализа надежности систем судовых атомных энергетических установок (АЭУ) осуществлялась в рамках обеспечения процесса автоматизированного проектирования судовых АЭУ для выполнения работ по технологическому направлению № 6 «Технологии судового машиностроения, судовых энергетических установок и систем» Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы.

В качестве программного обеспечения решения задач автоматизированного анализа надежности систем судовых АЭУ использовался программный комплекс АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), аттестованный в 2007г. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР) и предназначенный для автоматизированного моделирования и расчета показателей надежности структурно-сложных систем, включая объекты использования атомной энергии и другие опасные производственные объекты [3].

Разработанная технология автоматизированного анализа позволяет проводить сравнение нескольких вариантов АЭУ с возможностью выбора лучшего варианта по критерию надежности.

В ходе выполнения исследовательских работ намечены основные направления интеграции ПК АРБИТР с САПР предприятия, что обеспечит взаимодействие существующих программных средств, осуществляющих автоматизированное проектирование систем судовых АЭУ и моделирование ситуаций.

Особенности автоматизированного моделирования надежности структурно-сложных систем

Разработка моделей и методов анализа надежности технических систем со сложной структуры (ССС) продолжается и в настоящее время. Это связано с необходимостью решения вопросов адекватного моделирования сложных систем, и в частности проблем размерности.

Современный этап решения задач программной реализации моделей и методов анализа надежности технических систем связан с созданием интегрированных программных продуктов. Интегрированный программный продукт должен:

обладать широкими возможностями импорта-экспорта исходных данных как из локальной, так и сетевой (интернетовской) конфигурации;

включать в себя инструменты генераторов отчетов для формирования гибких отчетов о результатах анализа надежности технических систем как в формате текстовых редакторов, так и электронных таблиц;

иметь интерфейсы для сопряжения с внешними программными продуктами.

ПК АРБИТР показал, что при решении задач моделирования надежности СССР программный продукт должен позволять использовать различные методы анализа – деревья неисправностей и успеха, блок-схемы надежности, статистическое моделирование.

Реализация нескольких методов в одном программном средстве существенно расширяет класс исследуемых систем и позволяет выбирать наиболее подходящий метод анализа надежности [2].

При этом речь идет не только об удобстве графического представления расчетной схемы (компактности, наглядности), но и о возможности удобного и достоверного контроля адекватности разработанных моделей надежности ССС реальным физическим процессам функционирования систем.

В зависимости от структурной и функциональной сложности технических систем наблюдаются такие ситуации, когда возможно достаточно быстро и удобно построить модель отказа технической системы. При этом проверка адекватности полученной модели надежности удобней реализовать на основе анализа совокупности минимальных путей успешного функционирования (КПУФ). И наоборот, получив набор КПУФ (например, на основе блок-схемы надежности) проверить их адекватность на основе анализа совокупности минимальных сечений отказов (МСО).

Основные этапы автоматизированного моделирования надежности систем судовых атомных

Основу технологии автоматизированного моделирования составляет общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) [1, 3, 4] системного анализа. Применение ОЛВМ реализуется на практике в виде следующих пяти последовательно выполняемых **этапов**:

I – Выбор подхода (прямого, обратного или комбинированного) и выполнение общей структурно-описательной постановки задачи ОЛВМ моделирования и расчета показателей исследуемого свойства системы. Прямой подход предусматривает выполнение пользователем общей постановки задачи анализа системы путем описания (текстового и графического) структурных условий *реализации* ее основных функций. Обратный подход предусматривает выполнение пользователем общей постановки задачи анализа системы путем описания (текстового и графического) структурных условий *не реализации* ее исследуемых функций.

II – Формализованная постановка задачи (первичное структурно-логическое моделирование), которая включает в себя разработку таких форм представления исходных данных, подготовленных на этапе **I**, которые позволяют решить разрабатываемую задачу с помощью ОЛВМ моделирования.

III – построение логической модели исследуемого свойства системы в форме логической функции работоспособности (ФРС). В ОЛВМ и ПК «АРБИТР» логическая ФРС определяется с помощью универсального графоаналитического метода (УГМ) [2] решения систем логических уравнений, соответствующих сформированным на этапе **II** исходным СФЦ исследуемого свойства системы.

IV – построение расчетной математической модели исследуемого свойства системы.

V – вычисление значений показателей системных свойств, на основе сформированных на этапе **IV** расчетных математических моделей.

Пример моделирования надежности системы АЭУ

На рис. 1 приведена упрощенная функциональная гидравлическая схема судовой АЭУ с обозначениями функциональных вершин схемы функциональной целостности (СФЦ).

Рассмотрим работу судовой АЭУ с точки зрения моделирования надежности (составления функционально-логической схемы) на примере одного канала.

Перегретый пар из реакторной установки № 1 (РУ-1) по трубопроводам системы главного пара (2г) через клапаны № 101, 102 и 103 поступает на главные турбогенератор № 104 (ГТГ-1).

Отработавший в турбине пар с выхода ГТГ-1 сбрасывается в единый паровой объем двухсекционного главного конденсатора № 105 (ГК № 1), откуда по трубопроводам конденсатно-питательной системы (1кп) подается на электроконденсатные насосы № 106, 107 и 108 (ЭКН). Для нормальной работы конденсатно-питательной системы (КПС) достаточно работоспособности двух из трех ЭКН. Далее конденсат проходит через холодильники главного эжектора № 110. Главный эжектор работает на перегретом паре, который поступает из системы главного пара через клапан № 109.

С выхода главного эжектора конденсат через фильтры ионные и механические № 3 поступает на деаэратор № 4. Для стабильной работы деаэратора пар поступает из ГТГ-1 через клапаны № 112 и 113.

Питательные насосы № 5 – № 9 (ЭПН) принимают питательную воду из деаэратора № 4 и подают ее в РУ через питательные клапаны № 114 и 115. Нормальный режим работы двух РУ обеспечивается работой четырех питательных насосов, пятый ЭПН – резервный.

Регулирование клапанов № 114 и 115 осуществляется по показаниям расходомера № 116. Перед входом питательной воды в РУ расположены клапаны № 117 и 118.

В режиме нормальной работы для отсечения системы главного пара (2г) от системы разводки и расхолаживания РУ (2р) клапаны № 10, 11 и 13 должны находиться в закрытом состоянии.

На рис. 2 представлена СФЦ, соответствующая то части рис. 1, которая относится к обеспечению работы ГТГ-1.

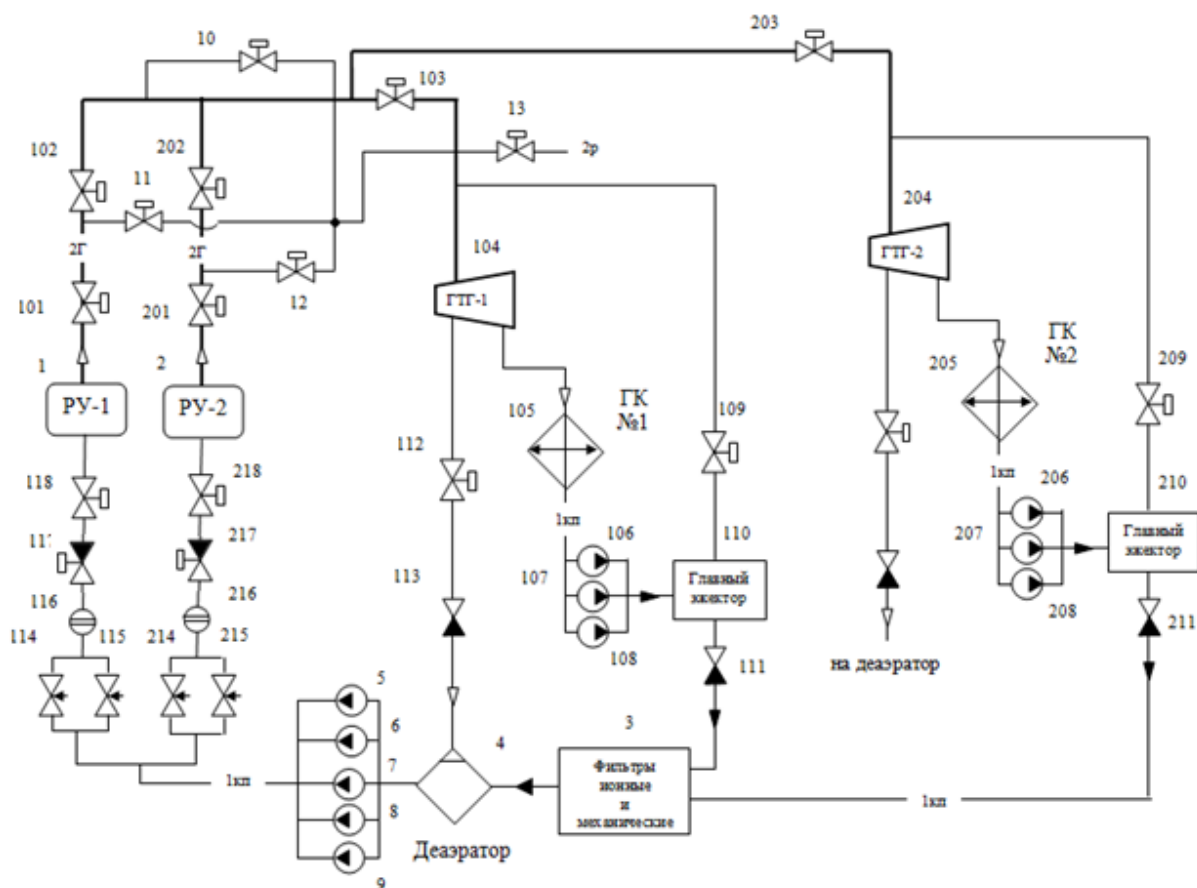


Рисунок 1. Упрощенная функциональная схема судовой АЭУ с обозначениями функциональных вершин СФЦ

При составлении СФЦ судовой АЭУ использовался функционально-модульный подход. На первых шагах синтеза СФЦ были условно выделены 3 функции:

- f_1 – поступление пара из РУ в ГТГ-1;
- f_2 – подача конденсата от ГТГ-1 до деаэрата;
- f_3 – подача пит.воды от деаэрата до РУ-1.

Логические условия реализации функций f_1 , f_2 и f_3 показаны на фиктивных вершинах y_8 , y_{16} и y_{23} соответственно.

Условием работоспособности анализируемой части АЭУ является выполнением условий реализации всех указанных функций f_1 , f_2 и f_3 .

Логические условия реализации работоспособности всей схемы ГТГ-1 показаны на фиктивной вершине y_{21} и соответствуют конъюнкции (логическому умножению) логических условий реализаций функций f_1 , f_2 и f_3 .

Эквивалентированная вершина № 108 отражает условия работы электроконденсатных насосов (ЭКН) № 106–108 по критерию «2 из 3».

Эквивалентированная вершина № 9 отражает условия работы электропитательных насосов (ЭПН) № 5–9 по критерию «4 из 5».

Эквивалентированная вершина № 118 отражает условия работы арматуры трубопроводов конденсатно-питательной системы (КПС) при подаче питательной воды от ЭПН до РУ-1.

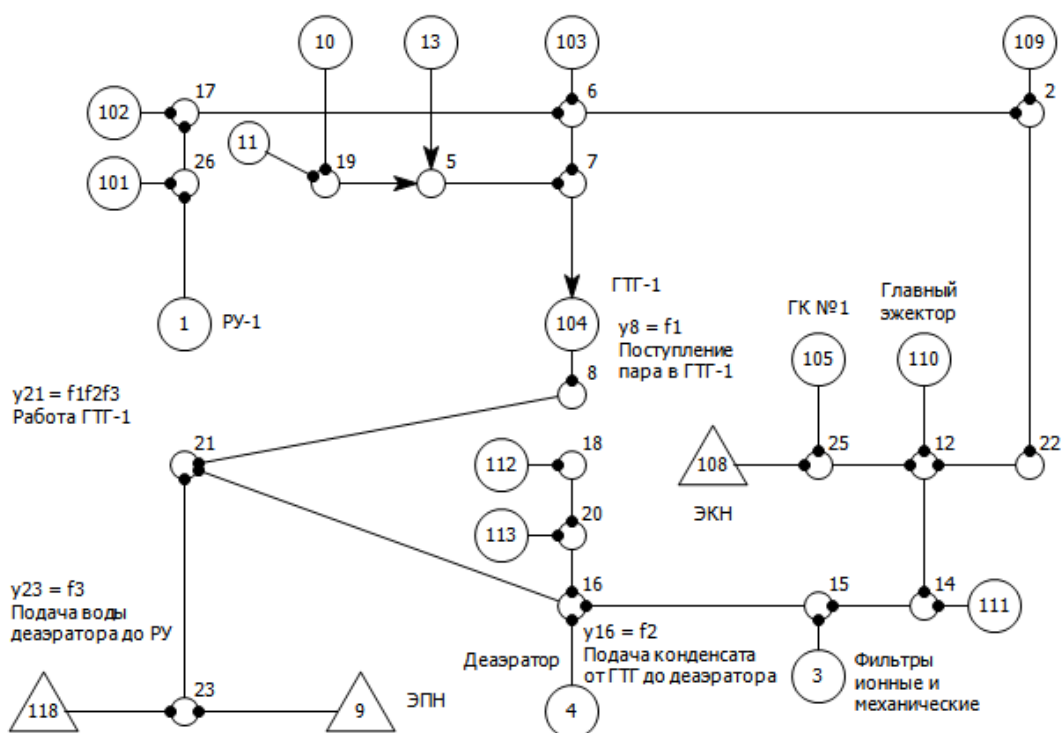


Рисунок 2. СФЦ обеспечения работы ГТГ-1

Заключение

Графические и вычислительные средства ПК АРБИТР представляют собой мощный и удобный в инженерном смысле слова инструмент для автоматизированного анализа моделирования надежности систем судовых АЭУ. Применение аппарата эквивалентированных вершин в рамках функционально-модульного подхода к синтезу рас-

четных схем позволяет не только упростить визуальное представление схем функциональной целостности, но и выбрать необходимый на данном уровне проектирования уровень декомпозиции систем. Эквивалентированные вершины, разработанные при реализации других проектов, наряду с базами данных о надежности отдельных компонент могут составлять основу базу данных проектов и обеспечить оперативный подбор и сравнение различных инженерных решений по критерию надежности.

Литература

1. **Поленин В.И., Рябинин И.А., Свирин С.К., Гладкова И.А.** Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства: монография под ред. проф. А.С.Можаева. – СПб.: НИКА, 2011. – 410 с.
2. **Можаев А.С.** Универсальный графоаналитический метод, алгоритм и программный модуль построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем. // Труды Международной научной школы: "Моделирование и анализ безопасности, риска в сложных системах" (МА БР – 2003). СПб.: СПбГУАП, 2003, с.101–110.
3. Аннотация программного средства "АРБИТР" (ПК АСМ СЗМА)// Научно-технический сборник "Вопросы атомной науки и техники. Серия "Физика ядерных реакторов", Выпуск 2 / 2008 г. М.: РНЦ "Курчатовский институт", 2008, с.105–116.
4. **Камынов Ш.В., Рылов М.И., Можаев А.С., Нозик А.А.** Методика применения программного комплекса АСМ СЗМА для расчета показателей безотказности и безаварийности стенда физических измерений. // Журнал «Вопросы анализа риска», № 1 (9) М.: ООО «АНКИЛ», 2007, с. 63–72.