

УДК 621.382

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «АРБИТР»

Мамышев Р.Э.<sup>1</sup>, Астапов В.Н.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Самарский Государственный Технический Университет, Самара, e-mail: ravilmamyshev@yandex.ru*

В наше время, когда сложные технические системы становятся важной составляющей различных отраслей, вопросы исследования и обеспечения надежности приобретают повышенное значение. Программный комплекс "Арбитр" предоставляет эффективные инструменты для проведения проектного расчета, что делает его актуальным для инженеров и исследователей. Учитывая быстрое развитие технологий, методология проектного расчета должна быть не только надежной, но и способной адаптироваться к постоянным изменениям требований. "Арбитр" как программный комплекс предлагает современные подходы, актуальные для современных технологий.

Статья может выделить практическую значимость методологии проектного расчета, демонстрируя, как "Арбитр" успешно применяется на практике. Рассмотрение конкретных примеров использования в различных сферах, а также анализ методологических подходов подчеркнет актуальность и практическую применимость данного программного комплекса. С учетом постоянно меняющихся требований и условий, программный комплекс "Арбитр" выделяется своей способностью эффективного анализа и расчета надежности в динамичной среде.

В данной работе рассматриваются основные принципы методологии проектного расчета, а также предоставляются конкретные примеры использования программного комплекса "Арбитр" для анализа и обеспечения надежности сложных технических систем.

**Ключевые слова:** программный комплекс, арбитр, расчет надежности, анализ, автоматизация

## METHODOLOGY FOR DESIGN CALCULATION OF THE RELIABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF THE ARBITR SOFTWARE PACKAGE

Mamyshev R.E.<sup>1</sup>, Astapov V.N.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Samara State Technical University, Samara, e-mail: ravilmamyshev@yandex.ru*

Nowadays, when complex technical systems are becoming an important component of various industries, issues of research and reliability are becoming increasingly important. The Arbitr software package provides effective tools for carrying out design calculations, which makes it relevant for engineers and researchers. Given the rapid development of technology, the design calculation methodology must not only be reliable, but also be able to adapt to constant changes in requirements. "Arbiter" as a software package offers modern approaches that are relevant for modern technologies.

The article can highlight the practical significance of the design calculation methodology by demonstrating how "Arbiter" is successfully applied in practice. Consideration of specific examples of use in various fields, as well as analysis of methodological approaches will emphasize the relevance and practical applicability of this software package. Taking into account constantly changing requirements and conditions, the Arbitr software package stands out for its ability to effectively analyze and calculate reliability in a dynamic environment.

**This paper discusses the basic principles of the design calculation methodology, and also provides specific examples of using the Arbitr software package to analyze and ensure the reliability of complex technical systems.**

**Key words:** software package, arbitrator, reliability calculation, analysis, automation

## **Введение**

В настоящее время, где сложные технические системы играют ключевую роль в различных отраслях, вопросы надежности и стабильности становятся приоритетными в процессе их проектирования, разработки и эксплуатации. Методология расчета надежности, в частности, привлекает внимание исследователей и инженеров, предоставляя основанные на данных подходы к обеспечению бесперебойной работы технических систем.

В данной работе рассматривается методология расчета надежности с использованием программного комплекса "Арбитр". Этот инструмент предоставляет уникальные возможности для анализа и обеспечения высокой степени надежности сложных технических систем

В свете быстрого развития технологий и постоянно изменяющихся требований, использование программного комплекса "Арбитр" для расчета надежности представляет собой актуальное и перспективное направление в области обеспечения стабильности технических систем. В данной работе будет произведен более глубокий анализ этой методологии, с выявлением ее преимуществ и особенностей, а также рассмотрены практические примеры ее успешного применения в различных сферах.

## **Основы методологии расчета надежности**

Методология расчета надежности — это системный подход, охватывающий принципы, методы и инструменты, используемые для оценки и обеспечения стабильности и надежности технических систем. Вот основы методологии расчета надежности:

### 1) Определение надежности:

Надежность — это свойство системы функционировать в течение определенного времени с заданной вероятностью без отказов. Она обычно измеряется как среднее время до отказа (MTTF) или вероятность безотказной работы (reliability).

### 2) Анализ рисков:

- Определение потенциальных угроз и рисков, которые могут повлиять на работоспособность системы.

- Оценка вероятности возникновения отказов и их последствий.

### 3) Системы мониторинга и контроля:

- Разработка системы для постоянного мониторинга параметров системы;
- Внедрение инструментов, позволяющих оперативно выявлять отклонения от нормы.

### 4) Тестирование и испытания:

- Разработка тестовых сценариев для проверки работоспособности системы;
- Проведение испытаний на различных этапах жизненного цикла системы.

5) Математическое моделирование:

- Использование математических моделей для анализа и прогнозирования надежности системы;

- Моделирование вероятности отказов и влияния различных факторов на надежность.

6) Резервирование и восстановление:

- Разработка стратегий резервирования — создание резервных копий данных и использование дублированных компонентов;

- Планирование процедур восстановления после сбоев.

7) Системы обновления и обслуживания:

- Разработка системы регулярного обновления и обслуживания;

- Внедрение [1].

Для оценки работы автоматической системы в условиях эксплуатации применяется концепция надежности системы. В процессе эксплуатации автоматическая система подвергается воздействию различных факторов, таких как механические нагрузки (вибрации, удары, постоянное ускорение), электрические воздействия (напряжение, электрический ток, мощность) и окружающие условия (температура, влажность, давление).

Эти факторы могут вызывать отклонения параметров системы от их номинальных (расчетных) значений. Такие отклонения могут быть настолько существенными, что приводят к непригодности системы к использованию. Поскольку значительные отклонения параметров от расчетных значений в процессе эксплуатации могут вызывать аварии или дефекты в производимой продукции.

Когда система не соответствует установленным требованиям, её считают отказавшей. Следовательно, надежность представляет собой важную характеристику качества системы, и, как и другие характеристики (точность, быстродействие), её следует количественно оценивать на основе анализа технических параметров в условиях эксплуатации.

Учитывая, что на отдельные технические параметры системы влияют различные факторы (схемные, конструктивные, производственные и эксплуатационные), их аналитический учет в рамках детерминированного подхода становится невозможным. Поэтому количественная оценка надежности системы возможна только с применением теории вероятностей или её специализированных разделов, таких как теория случайных процессов и математическая статистика.

Функциональные характеристики системы обусловлены ее основным предназначением. Автоматизированная система управления представляет собой многозадачную систему. Под воздействием различных внешних факторов система может находиться в различных состояниях, при этом она способна выполнять свои предназначенные функции. Тем не менее, качество выполнения этих функций может различаться в зависимости от конкретного состояния системы. Например, чем больше отклонение выходных параметров, характеризующих выполнение конкретной функции, от установленных значений, тем менее эффективно функционирует система. Другими словами, система проявляет низкую эффективность при больших отклонениях выходных параметров от заданных значений. Под эффективностью системы здесь понимается вероятность успешного выполнения заданных функций системы при определенных значениях параметра [2].

Таким образом, надежность автоматической системы с учетом возможных ее состояний должна определяться по формуле полной вероятности.

Общее количественное значение надежности системы, как правило, сложно получить непосредственно из исходной информации. Кроме того, такая оценка не позволяет учесть влияние различных этапов разработки и эксплуатации системы. Поэтому целесообразно рассматривать надежность системы через три основных компонента, которые представляют свойства системы и могут быть охарактеризованы как качественно, так и количественно [3]:

- безотказность;
- восстанавливаемость (ремонтпригодность);
- готовность.

Таким образом, надежность сложных инфраструктурных объектов представляет собой важный аспект их функционирования, обеспечивая стабильность и бесперебойную работу в различных условиях.

### **Расчет надежности с применением программного комплекса ПК «Арбитр»**

Программный комплекс АРБИТР реализует общий логико-вероятностный метод для прогнозирования параметров надежности, безопасности и устойчивости сложной системы с использованием аппарата схем функциональной целостности (СФЦ). При этом каждая такая схема представляет собой неявную, но строго математическую детерминированную модель исследуемой системы. Графическое представление формируется пользователем на этапе формализации задачи, в то время как математический эквивалент СФЦ обеспечивает полную автоматизацию всех последующих этапов моделирования и расчетов выбранных количественных показателей качества сложных технических объектов.

На этапе формулировки задач пользователь программного комплекса "АРБИТР" выполняет следующие операции:

- создает структурную схему функциональной целостности (СФЦ) для изучаемого свойства надежности или безопасности системы, представляющую блок-схему работоспособности, дерево отказов или дерево событий (с возможностью использования циклических связей, двухуровневой декомпозиции и разветвления вершин на одном уровне декомпозиции);

- устанавливает начальные значения параметров надежности элементов системы (вероятность безотказной работы или отказа, среднюю наработку до отказа, среднее время восстановления, время работы элементов, время работы системы), уточняет признаки принадлежности элементов к группам несовместных событий, группам отказов по общей причине, кратности вершин и другие;

- определяет логический критерий функционирования (ЛКФ), который, в сочетании с СФЦ, уточняет условия проявления изучаемого свойства надежности или безопасности системы (безотказности, возникновения или невозникновения инцидента, оценки ожидаемого ущерба);

- вводит предварительно подготовленные данные (СФЦ, ЛКФ, параметры элементов) в программный комплекс АРБИТР, устанавливает режим работы (статический расчет, вероятностно-временной расчет или приближенный расчет) и запускает процесс автоматического моделирования и расчетов.

После этого комплекс АРБИТР автоматически генерирует логическую функцию (кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов или их немонотонные комбинации), точный расчетный многочлен вероятностной функции изучаемого свойства надежности или безопасности (технического риска) системы и вычисляет соответствующие системные показатели [4].

Графический интерфейс ПК «АРБИТР» представлен на рисунке 1.

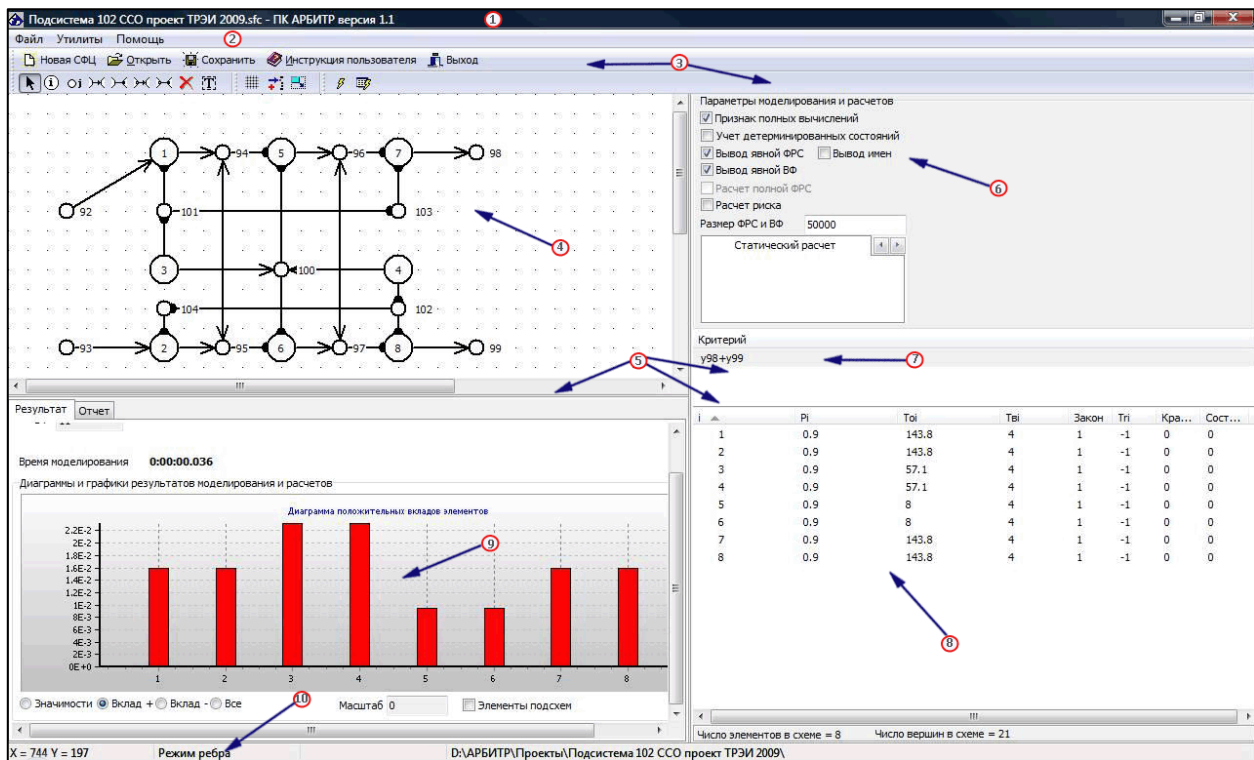


Рисунок 1 - Графический интерфейс ПК «АРБИТР»

Программный комплекс «АРБИТР» позволяет применять (по выбору пользователя) три подхода к постановке и решению интересующих его задач системного исследования.

- Традиционный прямой подход, в результате которого пользователь на основе анализа исходной функциональной схемы работоспособности исследуемого объекта разрабатывает СФЦ (безотказности, готовности, появления аварии и т.п.). При этом в ней допускается неограниченное использование циклических связей, с тем чтобы представить графическими средствами все условия безотказной работы его элементов;

- Традиционный обратный подход, применение которого связано с разработкой СФЦ в виде рассмотренных в учебнике диаграмм типа «дерево». Структура подобных функциональных схем графически представляет все логические условия появления и развития конкретного происшествия. Количественный анализ СФЦ, представленной в виде деревьев отказа и событий, позволяет затем автоматически прогнозировать не только меры возможности и тяжести моделируемого техногенного происшествия, но также влияние на их величину всех учтенных исходных предпосылок и конечных исходов;

- Комбинированный (смешанный) подход, позволяющий пользователю ПК «АРБИТР» строить новый класс немонотонных структурных моделей проявления свойств техногенных систем как источников риска [5].

В процессе осуществления количественного анализа программный комплекс «АРБИТР» реализует следующие основные функции:

- 1) обеспечение ввода структурных моделей надежного и безопасного функционирования исследуемых сложных объектов, представленных в виде одноуровневых и двухуровневых (декомпозированных) СФЦ;
- 2) ввод параметров (вероятности отказов, ущерб от них) и установка режимов расчета показателей надежности и безопасности системы;
- 3) задание с помощью ЛКФ условий реализации или нереализации системой исследуемых свойств безопасности или проявления источника риска;
- 4) автоматическое построение логических функций работоспособности систем, которые в зависимости от вида ЛКФ могут представлять набор конкретных минимальных сочетаний;
- 5) автоматическое построение точных многочленов расчетных вероятностных функций, используемых для машинных вычислений вероятностных показателей безопасности и риска исследуемых систем;
- 6) вывод результатов расчетов на экран монитора и сохранение их для использования при выработке и обосновании решений в области обеспечения безопасности функционирования и снижения риска исследуемых систем.

Время решения конкретных задач зависит от сложности структуры и числа элементов исследуемой системы, так как определяется размерностью логической и расчетной моделей [6].

В настоящее время программный комплекс АРБИТР активно внедряется и используется несколькими организациями. Среди них:

- ОАО "СПИК СЗМА" в Санкт-Петербурге, являющийся разработчиком комплекса АРБИТР, провел проектные расчеты надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами опасных производственных объектов. Проекты были выполнены для таких компаний, как ООО "Киришинефтеоргсинтез" (6 проектов), ООО НПО "МИР" (1 проект), ООО "Мозырский НПЗ" в Республике Беларусь (4 проекта), ОАО "Казаньоргсинтез" в Республике Татарстан (2 проекта) и другие.
- "Межотраслевой экспертно-сертификационный, научно-технический и контрольный центр ядерной и радиационной безопасности" (РЭСцентр) в Санкт-Петербурге выполнил 13 проектов по расчету показателей надежности, остаточного ресурса и рисков объектов использования атомной энергии ФГУП "ПО Севмаш" в г. Северодвинске.

- ЗАО "Компания СЗМА" в Санкт-Петербурге провело расчет надежности Автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электрической энергии (АИС КУЭ) для ФГУП "Петербургский метрополитен".
- ОАО "Гипростокнефть" в г. Самара занимается расчетами надежности систем объектов нефтехимической промышленности Сибири и Дальнего Востока.
- Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского (МАТИ) в Москве использует АРБИТР в учебном процессе университета.
- ЗАО "ТЕЛПРОС" в Санкт-Петербурге применяет комплекс для проведения аудита безопасности объектов жизнеобеспечения.

### **Заключение**

В результате проделанной работы по методологии расчета надежности с применением программного комплекса "Арбитр" подчеркивается важность и перспективность данного инструмента в сфере обеспечения надежности сложных технических систем. Разработанный в модульном принципе, "Арбитр" обладает уникальными возможностями для эффективного анализа и обеспечения высокой степени стабильности разнообразных технических объектов.

Мы рассмотрели ключевые этапы расчета надежности при использовании ПК "Арбитр", с выявлением ее преимуществ и особенностей, а также практические примеры ее успешного применения в различных сферах. Программный комплекс "Арбитр" предоставляет уникальные методологические инструменты, позволяя не только создавать монотонные модели, но и разрабатывать немонотонные модели надежности, живучести и безопасности.

Благодаря своей функциональной универсальности, "Арбитр" находит применение в различных отраслях, от нефтехимии до энергетики, и предоставляет возможность анализа сложных технических систем в условиях быстро меняющихся технологий и требований.

В свете активного развития индустрии и постоянной необходимости обеспечения высокой надежности систем, использование программного комплекса "Арбитр" представляет собой важный шаг в направлении повышения эффективности и устойчивости технических объектов. Полученные в работы знания о методологии расчета надежности с использованием "Арбитра" могут служить основой для дальнейших исследований и успешного применения в инженерной практике.



## Список литературы

1. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Учеб. пособие для ВУЗов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006-704 с.: ил.
2. Павлов П.П., Литвиненко Р.С. Основы теории надежности электромеханических комплексов: учебное пособие / П.П. Павлов, Р.С. Литвиненко. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017 – 92 с.
3. А.В. Кулагин, С.В. Ширококов. Надежность технических систем и техногенный риск: учебно-методическое пособие / сост. А.В. Кулагин, С.В. Ширококов. Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2020 – 110 с.
4. Можаяев А.С., Киселев А.В., Струков А.В., Скворцов М.С. Отчет о верификации программного средства "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем" (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0). Заключительная редакция. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2006. - 1031 с.
5. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, безопасности и риска сложных систем. // Многотомное издание "Безопасность России". Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. Часть I, с. 153-197, Часть III, с. 243-293. М: МГФ "Знание", 2007.
6. Можаяев А.С., Камынов Ш.В., Рылов М.И., 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