

# **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ АСУТП НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Нозик А.А. , Можяев А.С., Потапычев С.Н., Скворцов М.С.*

Обоснован выбор и определены направления развития новой информационной технологии автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ). Приведены характеристики созданного в Компании программного комплекса автоматизированного структурного моделирования (ПК АСМ СЗМА). Рассмотрены методика и опыт практического применения ПК АСМ СЗМА для оценки надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования.

Надежность современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) является важной составляющей их качества и необходимым условием обеспечения безопасности объектов. Оценка надежности и безопасности АСУТП предусмотрена требованиями государственных и международных стандартов нормативных документов [1-3]. Готовность организаций и предприятий, разрабатывающих и эксплуатирующих АСУТП, выполнять анализ их надежности и безопасности является обязательным условием государственной и международной сертификации. Анализ надежности и безопасности необходим практически на всех этапах жизненного цикла АСУТП и, прежде всего, на стадии проектирования. Главной целью такого анализа является своевременное получение достоверной информации, необходимой для выработки, обоснования и реализации проектных решений.

Как объект анализа современные АСУТП охарактеризуются рядом особенностей, которые необходимо учитывать при моделировании и расчете показателей их надежности и безопасности. Наиболее существенные из них следующие:

1. Современные АСУТП состоят, как правило, из большого числа элементов (до нескольких сотен и даже тысяч);
2. Сложные АСУТП характеризуются большим разнообразием видов составляющих их элементов: технических, эргатических, обеспечения, инициирующих событий аварий и др.;
3. Структуры современных АСУТП характеризуются высокой сложностью, часто не сводятся к простым последовательно-параллельным соединениям элементов, не описываются деревьями отказов и событий, могут содержать циклические (мостиковые) связи, многофункциональные элементы, встроенные подсистемы, элементы с зависимыми отказами, с множественными состояниями и т.д.;

4. В АСУТП опасных производственных объектов отказы элементов могут приводить к возникновению различных аварийных ситуаций, поэтому анализ их надежности и безопасности часто требуется выполнять совместно.
5. Современные АСУТП, как правило, являются многофункциональными, что приводит к необходимости строить модели и анализировать их надежность и безопасность как по множеству отдельных главных функций и аварийных ситуаций, так и по различным комбинациям условий их реализации и системе в целом;
6. Для выработки и обоснования проектных решений необходим анализ надежности и безопасности множества различных вариантов структурного построения, организации, режимов и условий работы, сложных АСУТП, для каждого из которых требуется построение соответствующих математических моделей и расчеты показателей;

Указанные и другие особенности сложных АСУТП большой размерности привели к тому, что главной проблемой оценки их надежности и безопасности давно стали не расчеты показателей, а громоздкость и трудоемкость процессов построения необходимых математических моделей. Невозможность построения таких моделей старыми, традиционными ручными (не автоматизированными) технологиями привела к тому, что в организациях и на предприятиях промышленности практическое моделирование и оценка надежности и безопасности АСУТП давно не производится ни на стадиях проектирования, ни в процессе эксплуатации.

Решение указанной проблемы возможно только путем разработки и внедрения в проектирование новых технологий (теорий, методов, специализированных программных средств и методик), в основе которых лежит комплексная автоматизация сложных и трудно формализуемых процессов постановки задач, построения математических моделей, расчетов показателей и организации их эффективного использования для выработки и обоснования решений по обеспечению надежности и безопасности АСУТП. Центральное место в решении этой проблемы занимает полная автоматизация процессов построения расчетных математических моделей надежности и безопасности АСУТП большой размерности и высокой структурной сложности.

При организации работ по созданию программного комплекса оценки надежности и безопасности АСУТП в ОАО "СПИК СЗМА" был выполнен сравнительный анализ [4] существующих в настоящее время технологий и программных комплексов автоматизированного моделирования систем (Risk Spectrum, SAPHIRE, RiskWave, Проект РИСК, RAY, CRISS, ПК АСМ 2001 и др.). Результаты этого анализа позволили сделать выбор технологии автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ), в основе которой лежит общий логико-вероятностный метод анализа систем (ОЛВМ) [6]. Главными достоинствами этой технология и ОЛВМ являются:

- реализованы все возможности основного аппарата математического моделирования - алгебры логики в функционально полном базисе логических операций "И", "ИЛИ" и "НЕ";
- используются новые изобразительные средства описания структур систем - схемы функциональной целостности (СФЦ), которые позволяют представлять практически все используемые в других технологиях виды структурных схем систем - последовательно-параллельные соединения элементов, деревья событий, деревья отказов, графы связности и др.), а также строить принципиально новый класс немонотонных структурных моделей сложных системных объектов и процессов;
- пользователю предоставлена возможность с помощью СФЦ строить как прямые (работоспособность, безопасность), так и обратные (отказ, авария) структурные схемы исследуемых АСУТП, т.е. выбирать тот вид исходной структуры, который является более удобным, простым и точным;
- в ОЛВМ и СФЦ реализованы возможности представления циклических (мостиковых) связей, многофункциональности элементов и систем, стохастически зависимых событий и множественных (более двух) собственных состояний элементов, что позволяет корректно учесть многие особенности современных АСУТП;
- все этапы построения логических и вероятностных аналитических моделей, и расчетов показателей надежности и безопасности систем полностью автоматизированы [7], что обеспечивает возможность построения множества различных моделей надежности и безопасности АСУТП большой размерности и высокой структурной сложности;
- теория и ПК АСМ ориентированы на автоматическое построение точных математических моделей (логических и вероятностных) различных видов (кратчайших путей успешного функционирования, минимальных сечений отказов, их различных немонотонных комбинаций, многочленов расчетных вероятностных функций, а также статистических, марковских и сетевых моделей большой размерности);
- полнота, математическая строгость и автоматизация основных этапов ОЛВМ, позволяют ставить и решать задачи его дальнейшего развития, адаптации к особенностям анализа надежности АСУТП на стадии проектирования и создания специализированного программного комплекса автоматизированного моделирования.

Для реализации технологии АСМ к адаптации ОЛВМ к решению задач проектного анализа надежности и безопасности современных АСУТП в ОАО "СПИК СЗМА" были выполнены следующие исследования и разработки:

1. определена общая структура и система требований к разрабатываемому специализированному программному комплексу автоматизированного структурно-логического моделирования и оценки показателей надежности АСУТП на стадии проектирования (ПК АСМ СЗМА);

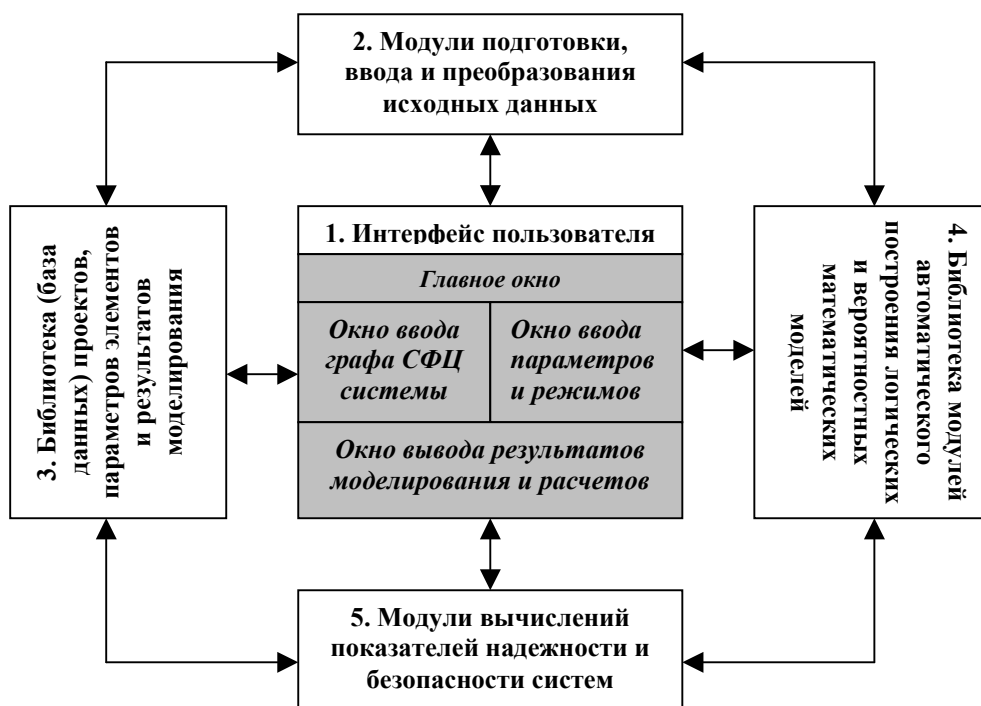


Рис.1. Укрупненная структура ПК АСМ СЗМА

2. разработана методика и программная реализация многоуровневой структурной декомпозиции (эквивалентирования) для оценки надежности и безопасности АСУТП большой размерности;
3. произведен выбор и разработка методов, методик, алгоритмов и программ расчета показателей надежности и безопасности АСУТП на основе автоматически формируемых в ПК АСМ СЗМА многочленов вероятностных функций;
4. разработаны методические основы использования в Компании технологии и ПК АСМ СЗМА для оценки надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования;
5. осуществлено обучение специалистов проектного отдела теоретическим основам и методике эффективного применения ПК АСМ СЗМА.

Программный комплекс АСМ СЗМА разработан в системе программирования Borland Delphi Professional, Version 7.0, регистрационный номер: 9617613, и может использоваться в ОС Windows NT/2000/XP и Windows 98/Me. Базовый образец ПК АСМ СЗМА предназначен для обеспечения работы специалистов проектного отдела ОАО "СПИК СЗМА" по оценке надежности и безопасности разрабатываемых АСУТП на всех стадиях проектирования. Он может использоваться для моделирования и расчета показателей надежности и безопасности различных систем по заказам сторонних организаций. Этот комплекс является также рабочим прототипом для его адаптации, развития и создания новых образцов специализированных

программных комплексов автоматизированного структурно-логического моделирования и анализа надежности, живучести, безопасности, эффективности и риска функционирования структурно сложных систем различных видов, классов и назначения. Общий вид основного окна интерфейса пользователя ПК АСМ СЗМА (см. группу модулей 1 на рис.1) приведен на рис.2.

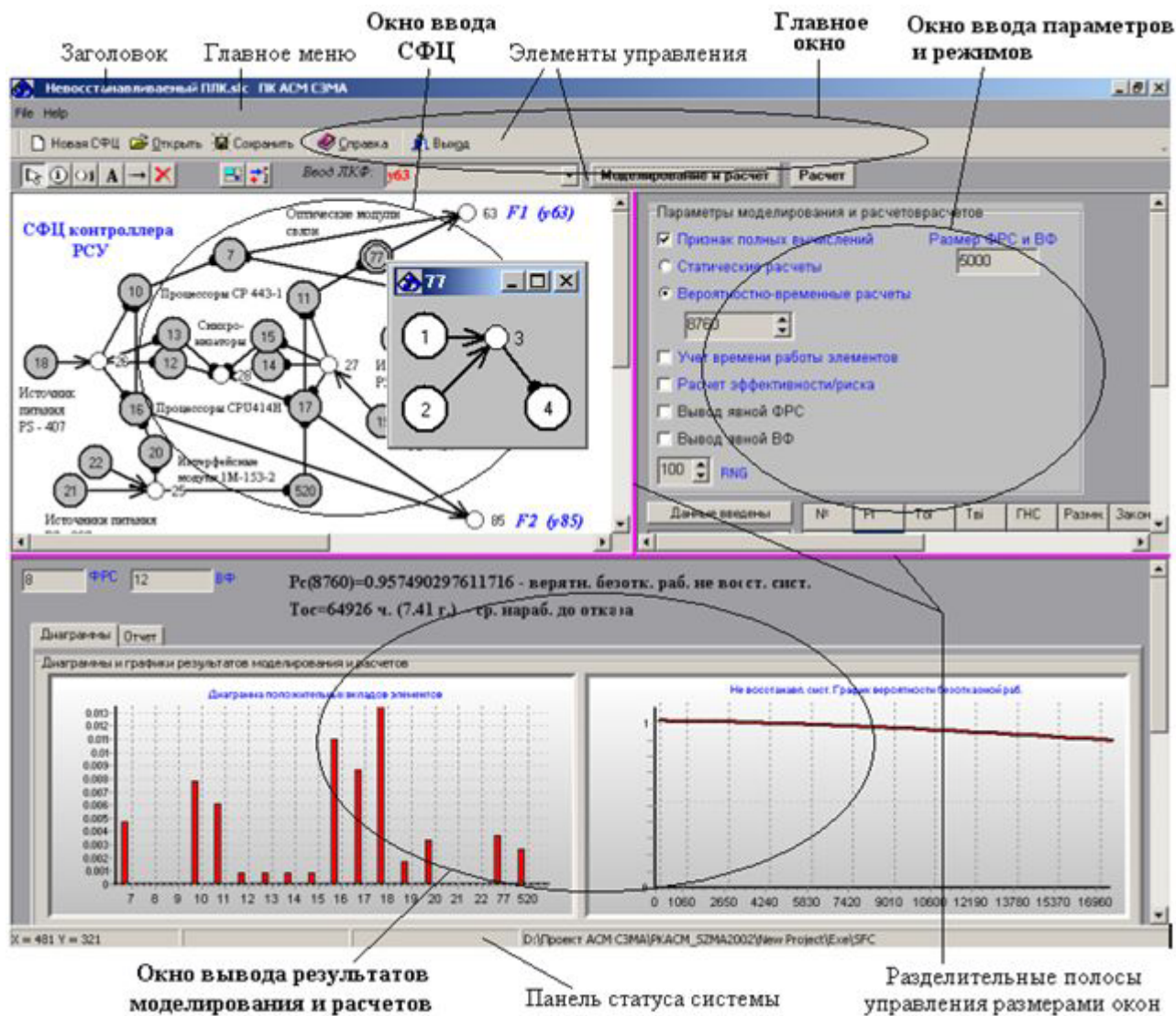


Рис.2. Основное окно ПК АСМ СЗМА

Основное окно интерфейса пользователя состоит из четырех относительно самостоятельных окон (см. рис.1 и рис.2) – Главного окна, Окна ввода СФЦ, Окна ввода параметров и режимов и Окна вывода результатов моделирования и расчетов.

Главное окно содержит основные элементы управления работой ПК АСМ СЗМА. В процессе работы его размеры не изменяются. Размеры трех других окон интерфейса пользователя могут изменяться с помощью разделительных полос. Доступ к скрытым элементам управления этих окон обеспечивается вертикальными и горизонтальными линейками прокрутки.

Окно ввода СФЦ предназначено для построения и корректировке на экране дисплея нового или ранее разработанного в проекте главного (основного) графа СФЦ исследуемой АСУТП. Максимальный размер Окна ввода СФЦ может достигать 1800×2400 пикселей (примерно 6 стандартных экранов). Это позволяет пользователю вводить в ПК АСМ СЗМА главную СФЦ системы большой размерности (до нескольких сотен вершин). Каждая функциональная вершина графа главной СФЦ может быть определена как эквивалентированная. Тогда открывается дополнительное окно, в которое может быть введен подграф СФЦ, представляющий структуру той подсистемы, которая представлена в главной СФЦ соответствующей эквивалентированной вершиной. На рис.2 изображено одно дополнительное окно с подграфом СФЦ эквивалентированной вершины № 77. Размеры дополнительных окон эквивалентированных вершин могут увеличиваться до формата полного экрана дисплея. Это позволяет пользователю вводить подграфы СФЦ, содержащие до 100 вершин. Такая двухуровневая декомпозиция обеспечивает решение с помощью ПК АСМ СЗМА задач автоматизированного моделирования АСУТП большой размерности и высокой структурной сложности (каждая из нескольких сотен функциональных вершин главной СФЦ может представлять до ста элементов эквивалентированных подсистем).

Окно ввода параметров и режимов (см. рис.1 и рис.2) обеспечивает запись, сохранение и корректировку данных о значениях параметров надежности элементов АСУТП, режимах автоматизированного моделирования, виде выполняемых расчетов, форме и объеме вывода и сохранения полученных результатов. В ПК АСМ СЗМА предусмотрен ввод следующих параметров элементов моделируемых систем: номер  $i$  вершины главной СФЦ; составной номер  $ik$  элемента  $k$  в подграфе СФЦ эквивалентированного элемента  $i$  главной СФЦ системы;  $P_i$  – статическая вероятность события, представленного данной вершиной  $i$  в СФЦ;  $Toi$  – средняя наработка до отказа элемента  $i$ ;  $Tvi$  – среднее время восстановления элемента  $i$ ; номер группы несовместных событий, в которую входит элемент  $i$ ; признак размножения (представление одного элемента несколькими вершинами СФЦ); код закона распределения времени безотказной работы элемента;  $Tri$  – собственное время работы элемента  $i$ ; признак кратности элемента  $i$  в системе. С помощью параметров автоматизированного моделирования и расчетов в ПК АСМ СЗМА задаются признаки полноты вычислений, признаки статических или вероятностно-временных расчетов показателей, признаки сохранения или не сохранения в файле результатов явных форм (аналитических записей) построенных в ПК АСМ СЗМА логических и вероятностных математических моделей и ряд других.

Окно вывода результатов моделирования и расчетов предоставляет пользователю данные о размерах сформированных в ПК АСМ СЗМА логических (ФРС) и вероятностных (ВФ) функций, значениях рассчитанных вероятностных показателей надежности и безопасности АСУТП (вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, коэффициент готовности,

наработка на отказ, среднее время восстановления, значимости и вклады элементов и др.). На странице "Диаграммы" этого предусмотрен вывод значимостей и вкладов элементов в надежность и безопасность исследуемой системы, и графиков различных функций надежности системы (вероятности безотказной работы, коэффициента готовности, вероятности готовности смешанной системы). На странице "Отчет" пользователю предоставляется доступ ко всем результатам моделирования и расчетов, которые сохраняются в файле результатов.

Следует отметить, что в отличие от известных программных комплексов, реализующих технологию автоматизированного моделирования на основе деревьев отказов и деревьев событий, ПК АСМ СЗМА ориентирован на построение не приближенных, а точных логические ФРС и многочленов ВФ. Принцип точного моделирования особенно важен при оценке значимостей, вкладов элементов и реализации различных оптимизационных процедур.

В настоящее время ПК АСМ СЗМА проходит опытную эксплуатацию в проектно-отделе ОАО "СПИК СЗМА". Получен определенный опыт его практического применения.

1. Выполнена оценка надежности разработанных Компанией проектов АСУТП:
  - Автоматизированной системы управления технологическим процессом насосной 910-45 и относящихся к ней резервуарных парков, АСУТП 910-45, ООО "КИНЕФ", Цех №3. АСУТП реализована на контроллерах Simatic S5-300. Общая СФЦ данной системы составила 201 вершину, с помощью которых были представлены 161 элемент АСУТП и условия реализации 18 ее главных функций управления и противоаварийной защиты;
  - Автоматизированной системы управления технологическим процессом газодиффузионной установки, АСУТП ГФУ, ООО "КИНЕФ", Цех №6. АСУТП реализована на контроллерах Simatic S5-300. (108 вершин, 94 элемента, 13 функций управления и ПАЗ);
  - Автоматизированной системы управления технологическим процессом пожаротушения резервуарного парка объекта 910-27, АСУТП ПТ 910-27, ООО "КИНЕФ", Цех №3 (87 вершин, 79 элементов, 4 функции).
  - Автоматизированной системы управления технологическим процессом парка сжиженных газов товарно-сырьевой базы Мозырского НПЗ, Toshiba, Беларусь (393 вершины, 11 элементов, 22 функции управления и ПАЗ).
2. Разработаны и внедрены в деятельность Компании Стандарт предприятия - "Расчет надежности проектируемых объектов" и Рабочая инструкция "Указания по расчету надежности проектируемых объектов".
3. По заказу головной организации ОАО "Ассоциация "Монтажавтоматика" (Москва) Компанией разработан проект руководящего документа: "Надежность и безопасность. Автоматизированное структурно-логическое моделирование и расчет надежности и безопасности автоматизированных

систем управления технологическими процессами и оборудованием на стадии проектирования. Методические рекомендации". На проект этого документа получены ряд положительных отзывов:

- Академика Рябинина И.А., признанного во всем мире основателя и руководителя отечественной школы логико-вероятностного моделирования;
- ОАО "Монтажавтоматика", г. Москва;
- Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ПРОМАТОМНАДЗОР), г. Минск;
- Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации (ОАО ЦНИИКА), г. Москва;
- ООО "НЕФТЕХИМИНФОРМАТИКА", г. Москва;
- Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН;
- Санкт-Петербургского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ.

Планируется рассмотрение Методических рекомендаций на НТС Госгортехнадзора РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Издательство стандартов, 2002. – 22 с.
2. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Госгортехнадзор России, 2001. // Безопасность труда в промышленности. –2001. - №10. -С.40-50.
3. МЭК 61078: 1991 Методика анализа надежности. Метод блок-схемы надежности.
4. Нозик А.А. Технология автоматизированного структурно-логического моделирования в проектных расчетах надежности систем. // Труды второй международной научной школы "Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах". МА БР - 2002. СПб.: Издательство "Бизнес-Пресса", 2002, - с. 337-344.
5. Рябинин И.А. Надежность и безопасность сложных систем. // СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
6. Можяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч.пос. Л.: ВМА, 1988. - 68с.
7. Можяев А.С. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем (ПК АСМ 2001). // Труды Международной Научной Школы 'Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах' (МА БРК – 2001). СПб.: Издательство ООО 'НПО 'Омега', 2001, с.56-61.
8. Нозик А.А., Можяев А.С. Автоматизированные системы управления. Надежность и безопасность. Расчет надежности и безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами и инженерным оборудованием. Методические рекомендации. СПб.: СПИК СЗМА, 2002. – 34 с.



