

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕГО ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «АРБИТР» МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ, ЖИВУЧЕСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И РИСКА СИСТЕМ

Можаев А.С. ОАО «СПИК СЗМА», Санкт-Петербург

Приведены данные об опыте практического применения и направлениях развития новой отечественной теории и технологии автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ), после аттестации 21 февраля 2007 г программного комплекса АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0, Ростехнадзором РФ [20].

"Использование вероятностных оценок в качестве критериев безопасности опасных производственных объектов представляется сомнительным и преждевременным из-за упрощений, допущений в используемом математическом аппарате, отсутствия достоверной статистики по инцидентам, аварии и надежности оборудования ..."
2001 г., [1]

Логико-вероятностные методы давно и успешно разрабатываются во многих странах мира [2 – 6] и применяются для выполнения расчетов вероятностных показателей надежности, живучести, безопасности и риска функционирования различных системных объектов большой размерности высокой структурной сложности [7 – 12].

Все логико-вероятностные методы строго научно обоснованы, согласуются с другими методами системного анализа (Марковскими, статистическими и сетевыми), но имеют важную положительную особенность – их теоретическая разработка доведена до алгоритмического уровня описания всех этапов – постановки задач, построения математических (логических и вероятностных) моделей и выполнения расчетов показателей. Это позволило преодолеть серьезное ограничение всех структурных методов системного анализа – высокую, непреодолимую в ручную, размерность процессов построения математических моделей реальных систем. Одновременно с разработкой и развитием различных методов логико-вероятностного анализа создавались и использовались на практике соответствующие программные комплексы автоматизированного логико-вероятностного моделирования [14-20].

Основные отличия разных видов логико-вероятностных методов

1. Различия уровней реализации возможностей основного аппарата моделирования – алгебры логики:
 - Теоретической базой монотонных (типовых, классических,) логико-вероятностных методов (ЛВМ) и соответствующих программных комплексов [2-4, 14-19] является не полный, а только монотонный базис логических операций «И» и «ИЛИ» основного аппарата моделирования – алгебры логики. Этого вполне достаточно для большой области задач системного анализа. В этих задачах не требуется учета, например, множественных (больше двух) состояний работоспособности системы, ее отказа, аварии, или конкретных причин (факторов) поражения отдельных или групп элементов и т.п. Но именно этот класс немонотонных задач логико-вероятностного моделирования в последние годы становится все более актуальным. Например, моделирование и расчет технического риска и ожидаемого ущерба [21] вообще невозможно осуществить методами и программными средствами традиционного монотонного ЛВМ моделирования;

- Общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) [5, 6], соответствующие программные комплексы (ПК) [20, 22-26] и технология автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ) [27-29] были разработаны специально для преодоления указанного ограничения монотонных ЛВМ. Теоретической основой ОЛВМ является функционально полный базис логических операций «И», «ИЛИ» и «НЕ» основного аппарата моделирования – алгебры логики. Для реализации всех возможностей алгебры логики в ОЛВМ был разработан универсальный графоаналитический метод (УГМ) [26], и соответствующие алгоритм и программа построения всех видов монотонных и немонотонных логических функций работоспособности (ФРС) систем [27]. Это впервые позволило с помощью ОЛВМ решать как все традиционные задачи анализа надежности систем классических монотонных ЛВМ, как и принципиально новый класс задач немонотонного логико-вероятностного моделирования и расчета показателей живучести, безопасности и риска функционирования структурно-сложных системных объектов и процессов различного назначения. С примерами решения ОЛВМ и ПК АСМ задач указанных классов можно ознакомиться в публикациях [5-9, 11, 12, 23-31].

2. Виды структурных схем, которые используются в различных логико-вероятностных методах системного анализа.

- Исторически первым и наиболее распространенным видом структурной схемы, используемой в ЛВМ, является **дерево отказов** (ДО). Графический аппарат ДО был разработан Х.Уинстоном (США) в 1961-1962 г. для анализа надежности систем управления запуском ракеты "Минитмен". В середине 80-х годов логико-вероятностный метод деревьев отказов был автоматизирован [14-19]. Применение методов и ПК деревьев отказов основывается на **обратном подходе** к постановке задачи логико-вероятностного моделирования. В этом случае на основе знаний о том, как система безотказно и безопасно работает, необходимо, с помощью графического аппарата ДО, представить все логические условия отказа или возникновения аварии. В настоящее время метод и программные средства, основанные на ДО, используется во многих странах мира, в том числе и в РФ, для вероятностного анализа безопасности АЭС. Другой вид структурных моделей – **блок-схемы** (графы связности) работоспособности используются в ЛВМ, которые реализуют **прямой подход** к постановке задач. В этом случае на основе знаний о том, как система безотказно и безопасно работает, с помощью графического аппарата блок-схем (БС) представляются логические условия безотказности, не возникновения аварии и т.п.. Теоретические основы прямых монотонных ЛВМ изложены в [2]. Логико-вероятностный метод прямого подхода автоматизирован в ПК Relex RVD (США) [19], который применяется во многих странах мира, включая РФ. Особое место в ЛВМ занимает специальный графический аппарат, названный – «**дерево событий**» (ДС). Это специальное графическое средство представления бинарно-разветвляющихся процессов с несовместными исходами. С помощью ДС моделируются многовариантные процессы развития и противодействия аварийным ситуациям и авариям. Во всех программных комплексах монотонного ЛВМ [14-19] моделирование на основе ДС выполняется с помощью отдельных специализированных программных средств.
- При создании ОЛВМ было разработано новое, логически универсальное графическое средство представления всех видов монотонных и немонотонных структур исследуемых свойств систем, названное – "**схема функциональной целостности**" (СФЦ) [5, 6]. С помощью СФЦ корректно представляются все рассмотренные традиционные монотонные виды логико-вероятностных структурных моделей – деревья отказов, блок-схемы, деревья событий, а также новый класс – немонотонных структурных моделей надежности, живучести, безопасности и риска функционирования сложных систем. Для ручного и автоматического построения на основе СФЦ всех видов (монотонных и немонотонных)

логических ФРС, в ОЛВМ был разработан соответствующий универсальный графоаналитический метод (УГМ) [26], алгоритм и программные средства автоматизированного структурно-логического моделирования [27]. Это позволило в одном программном средстве АСМ [20, 25, 26] реализовать все существующие монотонные технологии моделирования (ДО, БС и ДС) и новую информационную технологию немонотонного логико-вероятностного анализа систем.

3. Различия точности вычислений основных вероятностных показателей исследуемых свойств устойчивости систем.

- Большинство существующих монотонных ЛВМ и соответствующих программных комплексов [14-18] позволяют вычислять только приближенные значения вероятностных показателей исследуемых свойств моделируемых систем. Это обусловлено тем, что указанные ПС не производят автоматического построения точных расчетных математических моделей, а используют для расчетов приближенные аналитические соотношения. Поэтому основным условием допустимой точности расчетов системных характеристик в этих комплексах является ограничение – вероятности отказов элементов исследуемой системы не должны превышать значения 0.01 [14, 16].
- В классической теории монотонных ЛВМ [2], программах логико-вероятностного моделирования комплекса Relex [19], в ОЛВМ и программных комплексах технологии АСМ [20, 25, 22] разработаны и реализованы методы точного расчета основных вероятностных характеристик. Для этого в аналитическом ОЛВМ и ПК АСМ осуществляется автоматическое построение точных многочленов расчетных вероятностных функций (ВФ). На основе ВФ выполняются вычисления всех системных характеристик. Поэтому основные системные вероятностные показатели в ОЛВМ и ПК АСМ рассчитываются точно, при любых значениях вероятностных параметров элементов [22, 24].

Результаты аттестации АРБИТР (ПК АСМ СЗМА)

В настоящее время ОЛВМ, технология и программные комплексы АСМ признаны научной общественностью и промышленностью РФ [31, 32]. В период 2005-2007 годов программное средство АРБИТР- "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета показателей надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0", проходило процедуру официальной аттестации в Совете по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ РОСТЕХНАДЗОРа РФ. В Отчете о верификации [23], пяти экспертам были представлены решения 10 расчетно-аналитических тестов (184 задачи) и 5 выданных экспертами контрольных примеров (20 задач). У всех экспертов не было ни одного замечания по правильности решения АРБИТР всех 204 тестовых и контрольных задач. 21 февраля 2007 года на комплекс АРБИТР был выдан аттестационный паспорт № 222 Ростехнадзора РФ. АРБИТР аттестован на срок 10 лет и разрешен к применению на всех предприятиях, подведомственных Ростехнадзору РФ.

В заключительном документе Совета по аттестации [24] указано, что комплекс АРБИТР предназначен для автоматизированного математического моделирования и расчета вероятностных характеристик надежности (ГОСТ 27.002-89) и безопасности (технического риска [21], вероятности возникновения или не возникновения аварийных ситуаций и аварий вследствие отказов элементов) структурно-сложных систем опасных производственных объектов (ОПО) и объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), включая АЭС с реакторами любых типов, радиационные источники, пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов [8, 9].

По заключению Совета по аттестации [22, 24], разработанный на основе общего логико-вероятностного метода, программный комплекс АРБИТР реализовал (на момент завершения аттестации) следующие основные функциональные возможности:

- обеспечивает ввод структурных моделей свойств надежности и безопасности исследуемых системных объектов, представленных в виде одноуровневых и двухуровневых (декомпозированных) *схем функциональной целостности* (до 40000 вершин);
- обеспечивает ввод значений исходных *параметров элементов* (вероятности событий, средние наработки до отказа, среднее время восстановления, признаки групп несовместных событий, признаки кратности, собственное время работы и др.), задание *режимов* статического, вероятностно-временного, приближенного моделирования и расчет показателей надежности и безопасности исследуемых систем;
- задает с помощью *логических критериев функционирования* различные монотонные и немонотонные условия реализации или не реализации системой исследуемых свойств ее надежности, живучести и безопасности $Y_S = f(\{y_i, \bar{y}_i\}, i = 1, 2, \dots, N)$, где N - общее число вершин СФЦ;
- автоматически строит *логические функции работоспособности систем* (ФРС)

$$\left. \begin{array}{l} \text{СФЦ: } G(X, Y) \\ \text{ЛКФ: } Y_F^* \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ФРС: } Y_F = Y_F(\{x_i, \bar{x}_i\}, i = 1, 2, \dots, H),$$

где H - число элементов системы, которые в зависимости от вида СФЦ и ЛКФ представляют КПУФ, МСО и различные их немонотонные комбинации (размеры ФРС ограничиваются техническими характеристиками компьютера);

- автоматически строит точные *многочлены расчетных вероятностных функций* (ВФ)

$$Y_F(\{x_i, \bar{x}_i\}, i = 1, 2, \dots, H) \Rightarrow P_F(t) = P_F(\{p_i, q_i\}, i = 1, 2, \dots, H; t),$$

которые используются для машинных вычислений вероятностных показателей надежности и безопасности исследуемых систем (размеры ограничиваются техническими характеристиками компьютера);

- автоматически рассчитывает следующие *показатели структурной надежности и безопасности* систем [4]:
 - статическую вероятность оцениваемого системного события - безотказности, отказа, частичного отказа, безопасности, риска возникновения аварийной ситуации или аварии;
 - вероятность безотказной работы невосстанавливаемой системы;
 - среднюю наработку до отказа невосстанавливаемой системы;
 - коэффициент готовности восстанавливаемой системы;
 - среднюю наработку на отказ восстанавливаемой системы;
 - среднее время восстановления системы;
 - вероятность безотказной работы (или отказа) восстанавливаемой системы;
 - вероятность готовности смешанной системы, состоящей из восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов;
 - положительный вклад каждого отдельного элемента системы;
 - значимость каждого отдельного элемента системы;
 - отрицательный вклад каждого отдельного элемента системы;
 - приближенные вероятностные показатели надежности и безопасности системы без отсечки и с отсечкой малозначимых путей и сечений;

- вероятности реализации отдельных путей функционирования и минимальных сечений отказов системы;
 - значимости и суммарные значимости сечений отказов по Fussell-Vesely;
 - значимости, коэффициенты уменьшения и увеличения риска элементов по Fussell-Vesely;
 - приближенные вероятностные характеристики системы с учетом трех типов отказов элементов: отказ на требование, отказ в режиме работы и скрытый отказ в режиме ожидания (аналог методики, разработанной специалистами ОКБМ им. И.И.Африкантова);
 - вероятностные показатели с учетом отказов групп элементов по общей причине (модели альфа-фактора, бета-фактора и множественных греческих букв);
 - вероятностные показатели с учетом различных видов зависимостей элементов, представляемых группами несовместных событий;
 - системные показатели надежности и безопасности при двухуровневой декомпозиции структурной схемы системы и использовании дизъюнктивных и конъюнктивных кратностей сложных элементов (подсистем);
 - системные показатели с учетом неограниченного числа циклических (мостиковых) связей между элементами и подсистемами;
 - системные показатели с учетом различных комбинаторных отношений (K из N) между группами элементов и подсистем;
- выводит **результаты моделирования и расчетов** на экран монитора и сохраняет их в файле результатов для использования при выработке и обосновании решений в области обеспечения надежности и безопасности исследуемых систем.

Области применения ОЛВМ, технологии АСМ и ПК АРБИТР

После завершения процедуры аттестации комплекса АРБИТР прошло почти два года. За это время накоплен определенный опыт практического применения ОЛВМ, технологии АСМ и ПК АРБИТР несколькими промышленными организациями.

1. **"Специализированная инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика" (ОАО "СПИК СЗМА")**, Санкт-Петербург, разработчик ПК АРБИТР; с помощью ПК АРБИТР выполнены более 20 проектных расчетов надежности АСУТП опасных производственных объектов: ООО "Киришинефтеоргсинтез", 10 проектов; ООО НПО "МИР", 1 проект; ООО "Мозырский НПЗ", Республика Беларусь, 4 проекта; ОАО "Казаньнефтеоргсинтез", Республика Татарстан, 2 проекта; ООО "Нарьянмарнефтегаз", 2 проекта; ОАО "ТКГ-4", 1 проект.
2. **"Межотраслевой экспертно-сертификационный, научно-технический и контрольный центр ядерной и радиационной безопасности" (РЭСцентр)**, Санкт-Петербург. С использованием комплекса АРБИТР выполнено 13 проектов по расчету показателей надежности, остаточного ресурса и рисков объектов использования атомной энергии ФГУП "ПО Северное машиностроительное предприятие", г. Северодвинск.
3. **ЗАО "Компания СЗМА"**, Санкт-Петербург, выполнен расчет надежности Автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электрической энергии (АИС КУЭ) ФГУП "Петербургский метрополитен".
4. **ОАО "Гипровостокнефть"**, г. Самара, выполняет работы по расчету надежности систем объектов нефтехимической промышленности Сибири и Дальнего Востока.

5. **"Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского" (МАТИ)**, Москва. АРБИТР используется в учебном процессе и научных исследованиях университета.
6. **ЗАО "ТЕЛПРОС"**, Санкт-Петербург. Комплекс используется для аудита безопасности объектов жизнеобеспечения.
7. **"Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени технологический научно-исследовательский институт" (ОАО "ВТИ")**, Москва. Используется при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и заказных работ.
8. **"Научно-исследовательский институт Многопроцессорных вычислительных систем Имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета"**, г. Таганрог. Комплекс АРБИТР используется при выполнении научно-исследовательских, опытно – конструкторских и заказных работ.
9. **ГОУ ВПО "Саратовский государственный технический университет"**. Комплекс АРБИТР используется в учебном процессе университета.
10. **ООО "Научно-технический центр "Технологии и безопасности" (НТЦ ТБ)**, Санкт-Петербург. Используется при разработке деклараций промышленной безопасности (ДПБ) опасных производственных объектов и планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

Опыт практического применения разными организациями показал:

- корректность теоретической разработки ОЛВМ и правильность реализации в АРБИТР всех аттестованных функций;
- наличие определенных проблем в подготовке специалистов к правильному и эффективному применению АРБИТР;
- наличие у ряда организаций потребности в изменении состава функций и адаптации базовой версии комплекса АРБИТР к специальным классам задач системного анализа;
- объективную потребности дальнейшего развития ОЛВМ, технологии и ПК АРБИТР, как в традиционных методах вероятностного системного анализа, так и в ряде принципиально новых и ранее не освоенных направлениях моделирования систем.

Направления и результаты развития ОЛВМ, технологии АСМ и ПК АРБИТР

1. Дальнейшее развитие автоматизированного Аналитического ОЛВМ

- совершенствование интерфейса пользователя ПК АРБИТР;
- внедрение в АРБИТР оболочки базы данных, для хранения, сопровождения и использования материалов выполненных проектов и параметров элементов;
- реализация в АРБИТР многоуровневой ручной и автоматической декомпозиции СФЦ высокоразмерных системных объектов и процессов; **(ПРИМЕР)**
- дальнейшее развитие аппарата групп несовместных событий (ГНС) для учета различных видов зависимостей между элементами исследуемых систем; **(ПРИМЕР)**
- разработка и внедрение методов автоматического диагностирования причин возникновения функциональных отказов системы, аварийных ситуаций и аварий; **(ПРИМЕР)**

- разработка и внедрение в комплекс АРБИТР методов автоматизированного качественно-сложного анализа систем, позволяющих, на основе СФЦ и ЛКФ, моделировать и рассчитывать показатели технического риска и ожидаемого ущерба [21]; (**ПРИМЕР**)
- разработка и внедрение в комплекс АРБИТР методов оценки роли элементов в обеспечении надежности, живучести, безопасности и риска функционирования систем; (**ПРИМЕР**)
- разработка и внедрение в комплекс АРБИТР методов технико-экономической структурной и параметрической оптимизации сложных систем [36]. (**ПРИМЕР**)

2. Разработка и внедрение в АРБИТР автоматизированного Статистического ОЛВМ

- внедрение итерационного логико-статистического метода (ИЛСМ) [33] в комплекс АРБИТР; этот метод не требует построения ни логической ни вероятностной модели, что позволяет решать задачи анализа систем очень большой размерности (не могут решаться программными средствами Аналитического ОЛВМ); (**ПРИМЕР**)
- дальнейшее развитие ИЛСМ в направлениях получения оценок вероятностно-временных показателей, решения задач анализа неопределенностей и учета различных зависимостей, которые не имеют аналитического решения.

3. Разработка и внедрение в АРБИТР автоматизированного Марковского ОЛВМ

- разработка, алгоритмизация и внедрение в АРБИТР методов автоматического построения, на основе СФЦ и ЛКФ, графов переходов цепей МАРКОВА для невозстанавливаемых, восстанавливаемых систем с ГНС и вычисления на их основе условных законов живучести к последовательности поражающих воздействий; (**ПРИМЕР**)
- разработка, алгоритмизация и внедрение в АРБИТР методов автоматического построения, на основе СФЦ и ЛКФ, графов переходов Марковских случайных процессов, записи и решения соответствующих систем дифференциальных и алгебраических уравнений.

4. Разработка и внедрение в АРБИТР автоматизированного Детерминированного ОЛВМ

Детерминизм в логико-вероятностных методах системного анализа имеет различные формы проявления. Прежде всего, детерминированная составляющая имеется во всех видах структурных схем исследуемых свойств структурно-сложных системных объектов, включая СФЦ. Здесь детерминированной является сама структурная организация работы элементов в рассматриваемой системе в целом. Детерминированными являются также все логические функции, автоматически формируемые в программных комплексах логико-вероятностного моделирования. Разработка методов и программных средств детерминированного логико-вероятностного анализа позволят выйти на решение новых и практически важных задач. Отметим некоторые из них:

- Учет любых начальных состояний системы. Если в проектных расчетах показателей различных свойств устойчивости в качестве начального (по умолчанию) принимается так называемое "основное исходное состояние системы" – все элементы работоспособны, то при эксплуатационных расчетах и мониторинге риска системы любое достоверное изменение текущего состояния системы должно быть корректно учтено методами детерминированного логико-вероятностного моделирования; (**ПРИМЕР**)

- Детерминированный анализ структурных последствий возникших отказов элементов, их поражений внешними воздействиями или аварийных ситуаций. После детерминировано учета структурных последствий этих ситуаций должны вычисляться вероятностные характеристики "остаточной" надежности, живучести, безопасности, технического риска, ожидаемого ущерба; (**ПРИМЕР**)
- расчет детерминированных показателей последствий аварийных ситуаций и аварий возникающих в процессе эксплуатации системы (детерминированный мониторинг риска);
- Методы решения обратных задач детерминированного анализа, позволяющие разработать и реализовать в программных комплексах эффективные процедуры автоматической диагностики возможных причин, которые привели к возникновению отказа, аварийной ситуации или аварии в процессе эксплуатации системы.

5. Разработка и внедрение в АРБИТР автоматизированного Сетевого ОЛВМ

Разработка Сетевого ОЛВМ обусловлена необходимостью автоматизированного моделирования структурно сложных системных процессов, в которых необходимо учитывать **последовательности** (порядок следования) событий. Монотонные ЛВМ и ОЛВМ являются комбинаторными по построению и последовательности не учитывают (как и сама алгебра логики). Поэтому для создания Сетевого ОЛВМ необходимо разработать соответствующий математический аппарат логического моделирования последовательностей событий. Определенные результаты в этом направлении получены. Разработка методов и программных средств сетевого логико-вероятностного анализа позволят выйти на решение новых и практически важных задач. Отметим некоторые из них:

- Автоматизированное моделирование, на основе СФЦ и ЛКФ, и расчет показателей сетевых планов работы системы и/или противодействия развитию аварийных ситуаций и аварий (детерминированное сетевое моделирование) [34]; (**ПРИМЕР**)
- Автоматизированное моделирование, на основе СФЦ и ЛКФ, и расчет вероятностей случайных последовательностей событий в процессе функционирования системы [35]; (**ПРИМЕР**)
- Альтернативное сетевое моделирование, на основе СФЦ и ЛКФ, и расчет показателей эффективности вариантов сетевых планов работ [34].

Литература.

1. А.И.Гражданкин, М.В.Лисанов, А.С.Печеркин. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов. // Журнал "Безопасность труда в промышленности", №5, 2001, - с. 33-36.
2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007 г., 278 с.
3. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984/ - 318 с.
4. Э. Дж.Хенли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. М. Машиностроение, 1984. -528 с.
5. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно сложных систем. Уч. пос. Л.:ВМА, 1988. - 68 с.
6. 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. Основы анализа и регулирования безопасности. М.: МГФ "Знание", 2006, 640 с. (с. 153-197). Общий логико-вероятностный метод и технология моделирования безопасности сложных систем. // Многотомное издание "Безопасность России". Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. Часть III. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов, 2007, 816 с. (с. 243-293).
7. Нозик А.А., Можаяев А.С. Расчет надежности, безопасности и риска при проектировании и эксплуатации технических систем. // Информационный бюллетень «Теплоэнергоэффективные технологии» №3/4(48/49), 2007, -с. 35-43.
 8. Ш.В.Камынов, М.И.Рылов, Можаяев А.С., А.А.Нозик. 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.
 9. Рылов М.И., Камынов Ш.В., Анисимов Н.А., Можаяев А.С., Никитин В.С. Оптимизация риска при утилизации АПЛ. // Управление риском №3, 2003, с.25-32.
 10. В.А.Девочкин, И.А.Масленников, В.П.Гаенко, В.В.Лобынцев. Оценка рисков и безопасности технологий по подъему АПК «Курск». СПб.: НИЦ БТС МО РФ, 2003.
 11. Ибадулаев В.А., Карюкин В.В., Космачев В.П., Лезин Ю.С., Степанов И.В., Павлов П.М., Филатов В.С., Кузнецов Л.А., Ермоленко А.Д., Маркелова В.А., Можаяев А.С. Практическая реализация методологии оценки безопасности при эксплуатации оборудования нефтехимических производств. // Журнал: Бергколегия, №1, 2005. –с.44-47.
 12. Шумилов Н.И., Хохлов Г.Г., Гусаров А.А., Иванов Т.В., Струков А.В., Скворцов М.С., Киселев А.В. Исследование возможности применения ОЛВМ, технологии автоматизированного структурно-логического моделирования и программного комплекса "АРБИТР" (базовая версия 1.0) для анализа комплексной безопасности систем водоснабжения и водоотведения (Шифр "НКБР-Водоканал"). Отчет о НИР. Санкт-Петербург: ОАО "СПИК СЗМА", ЗАО "ТЕЛПРОС", 2008, 99 с
 13. Проектные расчеты надежности АСУТП опасных производственных объектов, выполненные ОАО "СПИК СЗМА" – http://www.szma.com/Ref_arbitr.htm.
 14. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Teory Manual. RELCON AB, 1998. -57p. (Швеция, сайт: <http://www.riskspectrum.com>). Вероятностный анализ риска и надежности методом деревьев отказов и деревьев событий. Аттестован в 2003 г. аттестационный паспорт № 160.
 15. Код "РИСК" Вероятностный анализ риска и надежности методом деревьев отказов и деревьев событий. М.: ОЦРК Минатома России. Аттестован в 2004 г., аттестационный паспорт № 172.
 16. Бахметьев А.М., Былов И.А., Милакова Ю.В. Отчет о научно-исследовательской работе верификация и обоснование программы CRISS 4.0 для моделирования и анализа систем безопасности ядерной установки при выполнении вероятностного анализа безопасности. Часть 1 (Заключительная редакция). Нижний Новгород: ФГУП ОКБМ им. И.И.Африкантова, 2005, - 88 с. Проведение вероятностного анализа безопасности первого уровня ядерных установок (ЯУ) и иных объектов использования атомной энергии, построение логических моделей систем безопасности и объекта в целом - деревьев отказов и деревьев событий; проведение расчетов с получением показателей

надежности систем безопасности и вероятностных характеристик безопасности объекта. Аттестован в 2006 г. Аттестационный паспорт № 212.

17. Аракчеева Е.О., Бахметьев А.М., Былов И.А. ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CRISS 4.0 ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ. ФГУП ОКБМ им. Африкантова, 2006.
<http://www.nntu.sci-nnov.ru/RUS/NEWS/stconf/konf.doc>
18. Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations (SAPHIRE) Version 7.0 (saphire.inel.gov). Reference Manual. (США)
19. Викторова В.С., Кунтшер Х., Петрухин Б.П., Степанянц А.С. Relex - программа анализа надежности, безопасности, рисков. // "Надежность", №4(7), 2003, с. 42-64. Компания Relex Software Corporation (США).
<http://www.relex.com/products/index.asp>.
20. АРБИТР. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0. // Разработчик и правообладатель: ОАО "СПИК "СЗМА", Санкт-Петербург. Автор Можаяев А.С. Аттестационный паспорт № 222 от 21 февраля 2007 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.
21. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. // Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Выпуск 10. М.: ГУП "НТЦ ПБ" Госгортехнадзора России, 2001. - 60с.
22. Аттестационный паспорт программного средства "АРБИТР", "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем" (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0). М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР) РФ, Совет по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ. Регистрационный № 222 от 21 февраля 2007 г. – 6 с.
23. 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, «АРБИТР»). Заключительная редакция. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2007. – 1031 с.
24. Программное средство "АРБИТР" (ПК АСМ СЗМА). // Журнал "Вопросы атомной науки и техники". Серия "Физика ядерных реакторов". Выпуск 2. М: Российский научный центр "Курчатовский институт", 2008, с. 105-116.
25. Можаяев 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. (Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003).
26. Можаяев 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.
27. Можаяев А.С., Гладкова И.А. Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности

систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ&ВФ). Свидетельство об официальной регистрации № 2003611100. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 12 мая 2003.

28. Можаяев А.С. Технология и программный комплекс автоматизированного моделирования и оценки надежности, безопасности и риска опасных производственных объектов. // Пятый тематический семинар: "Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах". М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. НТЦ "Промышленная безопасность", 2004, с.50-58.
29. Можаяев А.С. Технология автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, живучести, безопасности, эффективности и риска функционирования систем. // Журнал "Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика". №9/2008. СПб.: ООО Издательство "НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ", 2008, с.1-14.
30. Рябинин И.А., Можаяев А.С., Свиринов С.К., Поленин В.И. Технология автоматизированного моделирования структурно-сложных систем. // Журнал "Морская радиоэлектроника": " №1 (23), 2008, с.60-63, №2 (24), 2008, с.52-55, " №1 (27), 2009, с.54-58. СПб.: Печатный дом "Белл".
31. ФГУП СПбАЭП, ОАО "СПИК СЗМА", (Санкт-Петербург), ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова (г. Москва). НИР "Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования" (шифр "Технология 2004"), 2005, 282 с.
32. Об утверждении методических рекомендаций по разработке и подготовке к принятию проектов технических регламентов. // Министерство промышленности и энергетики РФ, Приказ № 78 от 12 апреля 2006 г.
<http://www.rosprav.ru/library/005.doc>
33. Можаяев А.С., Алексеев А.О. Автоматизированное структурно-логическое моделирование и вероятностный анализ сложных систем. В сб. 1: "Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем". Вып.2. Под редакцией И.А.Рябинина. Препринт 104. СПб.: ИПМАШ РАМ, 1994, с.17-42.
34. Можаяев А.С. Автоматизированное структурно-логическое моделирование систем. Учебник. СПб: ВМА им Кузнецова Н.Г, 2006. - 577 с
35. Можаяев А.С. Учет временной последовательности отказов элементов в логико-вероятностных моделях надежности. Межвузовский сборник: Надежность систем энергетики. Новочеркасск: НПИ, 1990, с. 94-103.
36. Скворцов М.С. Решение задачи оптимизации надежности с помощью метода логико-вероятностных вкладов. // Журнал "Надежность" №2(30), 2009, с. 15-29.