

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ РАЗДЕЛЫ ОБЩЕГО ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА

И.А. Гладкова

Консалтинговый центр комплексной безопасности ЗАО "ТЕЛРОС". Большой Сампсониевский пр., д.87, лит.А, Санкт-Петербург. www.telros.ru, gladkova@telros.ru.

Аннотация. Приведены результаты систематизации данных о существующих и новых научных разработках вопросов детерминированного моделирования в общем логико-вероятностном методе (ОЛВМ), теории и технологии автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ).

Ключевые слова. Общий логико-вероятностный метод, схема функциональной целостности, вероятностные модели, детерминированное моделирование.

Введение. Исторически сложилось так, что все логико-вероятностные методы [1–12] разрабатывались и использовались в целях моделирования и расчета **вероятностных** показателей различных свойств системных объектов (надежность, стойкость, живучесть, устойчивость, безопасность, технический риск, ожидаемый ущерб, эффективность). Однако в последние годы, наряду с дальнейшим расширением круга задач вероятностного анализа, все более востребованными становятся вопросы разработки методов и программных средств **детерминированного** [11, с.303–322] моделирования структурно сложных систем различных видов, классов и назначения. В настоящем сообщении приведены результаты систематизации данных о существующих и новых научных и технологических разработках вопросов детерминированного моделирования в рамках общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ) [1–5], теории и технологии автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ) [18, 21].

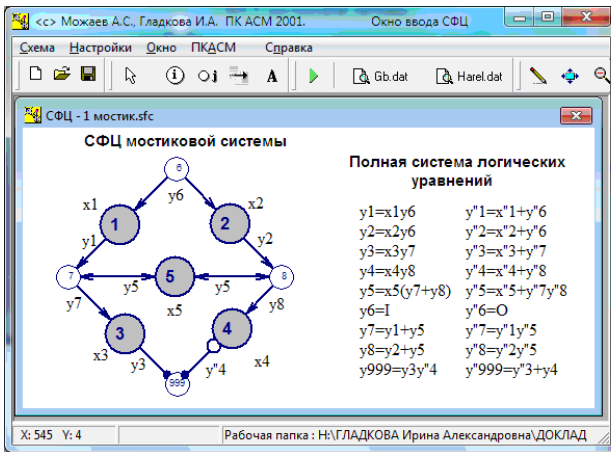
1. Детерминированные методы аналитического ОЛВМ.

Следует отметить, что все логико-вероятностные методы системного анализа имеют четко выраженные детерминированные составляющие на всех основных этапах моделирования. На этапе постановки задач к детерминированным относятся все виды графических средств и методики построения структурных моделей исследуемых свойств – деревья отказов, деревья событий, блок-схемы, графы связности, схемы функциональной целостности и др. На следующих этапах логико-вероятностного моделирования детерминированными являются методы, алгоритмы и программы построения на основе заданной структурной схемы логических и вероятностных (точных или приближенных) математических моделей исследуемых свойств системы. На завершающем этапе ОЛВМ детерминированными выступают методы и процедуры вычислений вероятностных показателей свойств систем, на основе построенных точных или приближенных аналитических вероятностных функций.

В рамках существующих отечественных и зарубежных типовых монотонных логико-вероятностных методов системного анализа [6-17] были разработаны и успешно применяются различные точные и приближенные средства (методы, алгоритмы и программы) построения на основе деревьев отказов, блок-схем или графов связности детерминированных логических функций работоспособности систем (ФРС) и многочленов вероятностных функций (ВФ).

В ОЛВМ эти виды аналитических моделей строятся на основе логически универсального графического аппарата структурных схем функциональной целостности (СФЦ) [1, 2]. Детерминированные ФРС и ВФ определяются в ОЛВМ для всех видов монотонных и немонотонных моделей исследуемых свойств систем большой размерности и высокой структурной сложности [2-5, 19-21]. Для построения логических ФРС в ОЛВМ был разработан универсальный графоаналитический метод (УГМ) [4, 5], а для построения многочленов ВФ – комбинированный метод [3 – 5]. Эти методы доведены до программной реализации [4] и используются в промышленных образцах программных комплексов автоматизированного структурно-логического моделирования систем [5, 20].

Для иллюстрации детерминированного аналитического ОЛВМ рассматривается простой тестовый пример анализа типовой мостиковой системы [12, с.20, 102-104]. В левой части рис.1 изображена СФЦ мостиковой системы, введенная в программный комплекс (ПК) АСМ 2001, и соответствующая ей полная система логических уравнений. В примере решены три детерминированные задачи – построения логической ФРС, построения многочлена ВФ и аналитического расчета вероятности реализации критерия $Y_c = y_3 \cdot \overline{y_4}$ частичного отказа (частичной работоспособности) мостиковой системы (выходной элемент 3 выполнил, а выходной элемент 4 не выполнил свою функцию).



Логический критерий частичной работоспособности мостиковой системы

$$Y_C = y_{999} = y_3 \cdot y_4$$

Результат применения УГМ для получения логической функции частичной работоспособности мостиковой системы (немонотонной ФРС)

$$Y_C = y_{999} = y_3 \cdot y_4 = (x_3 \cdot y_7) \cdot (x_4 \vee y_8) = \dots = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 \vee x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4$$

Результат применения Комбинированного метода для получения расчетного многочлена вероятностной функции (ВФ)

$$P_C = p\{y_{999}\} = p\{y_3 \cdot y_4\} = p_3 \cdot p\{y_7\} \cdot (q_4 \vee p\{y_8\}) = \dots = p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 + q_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + p_1 p_3 q_4$$

Вычисленная вероятность реализации критерия частичной работоспособности мостиковой системы при $p_1=p_2=p_3=p_4=p_5=0.5$

$$P_C = p\{y_{999}\} = p\{y_3 \cdot y_4\} = 0.1875$$

Рис.1 Тестовый пример применения детерминированного аналитического ОЛВМ

В правой части рис.1 приведены результаты применения УГМ для получения логической ФРС и комбинированного метода для построения многочлена ВФ. Аналитический расчет вероятности частичной работоспособности мостиковой системы $P_C = p\{y_3 \cdot y_4\} = 0.1875$ выполнен для случая, когда вероятности всех элементарных событий равны $p_1 = \dots = p_5 = 0.5$.

В настоящее время продолжают работы по дальнейшему совершенствованию методов детерминированного аналитического ОЛВМ. Вместе с тем, в последние годы произошло становление и развитие ряда новых специальных направлений детерминированного ОЛВМ анализа систем.

2. Детерминированные методы статистического ОЛВМ.

В статистическом логико-вероятностном моделировании детерминированными являются средства построения имитационных моделей исследуемых свойств структурно-сложных систем. На основе сформированных имитационных моделей методами статистических испытаний определяются количественные оценки вероятностных показателей исследуемых свойств системы. Первый логико-статистический метод (ЛСМ), разработанный И.А.Рябининым [8], в качестве имитационной модели использует логическую ФРС исследуемой системы. В ОЛВМ и ПК АСМ [5, 20] реализован другой – итерационный логико-статистический метод (ИЛСМ), разработанный Алексеевым А.О [23]. ИЛСМ в качестве детерминированной имитационной модели использует непосредственно СФЦ исследуемой системы, которая представляется в форме монотонной или немонотонной системы логических уравнений. Это позволяет в статистическом ОЛВМ вообще не выполнять построения детерминированных аналитических моделей (ни ФРС, ни ВФ).

На рис.2 приведено окно автоматизированного моделирования ПК АСМ 2001 с результатами расчетов разными способами вероятностных показателей частичной работоспособности рассмотренной выше мостиковой системы (см. рис.1).

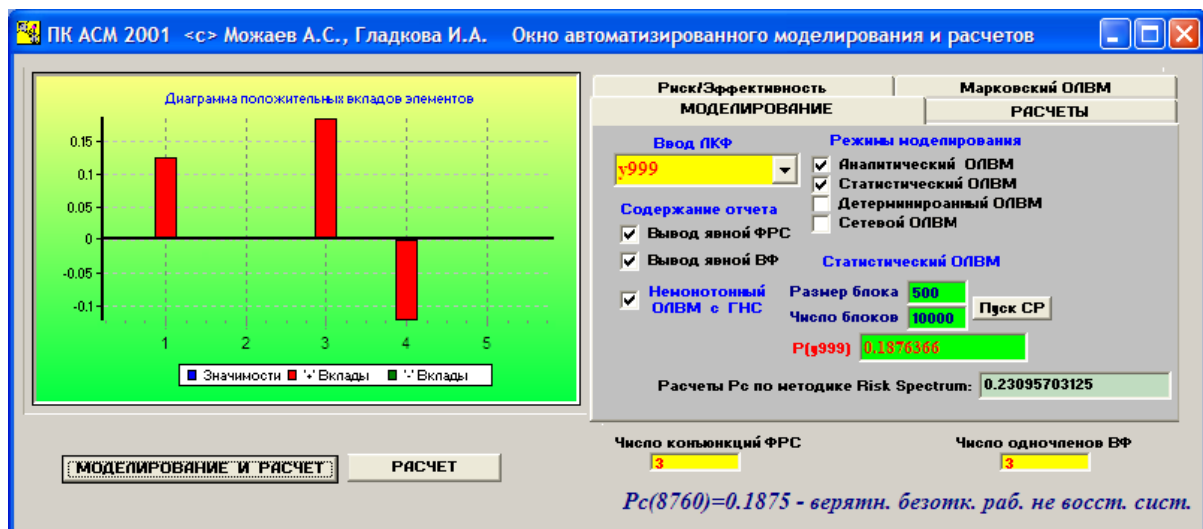


Рис.2 Результаты применения детерминированного метода статистического ОЛВМ

Из рис.2 следует, что с помощью детерминированного ОЛВМ автоматического формирования имитационной модели и выполнения на ее основе статистических расчетов вероятности частичной работоспособности мостиковой системы получен результат

$$P_C = p\{y999\} = p\{y3 \cdot y4\} = 0.1876366 .$$

Этот результат статистического ОЛВМ вполне согласуется с полученным ранее результатом $P_C = 0.1875$ точного аналитического ОЛВМ.

В настоящее время осуществляется дальнейшее развитие ИЛСМ детерминированного статистического ОЛВМ в направлениях получения оценок вероятностно-временных показателей надежности и безопасности систем, решения задач анализа неопределенностей и учета различных зависимостей, которые не имеют аналитического решения [26].

3. Детерминированные методы марковского ОЛВМ.

До последнего времени все логико-вероятностные методы выполняли моделирование на основе структурных схем состояний элементов исследуемых системных объектов (деревьев отказов, деревьев событий, блок-схем, графов связности, СФЦ). Другим направлением анализа систем являются известные методы марковского моделирования, основанные на структурных схемах состояний исследуемой системы в целом. Естественно, что все логико-вероятностные задачи принципиально могут быть решены методами марковского моделирования. Однако техническим препятствием здесь выступает известная экспоненциально нарастающая размерность графов переходов состояний марковских моделей. Часто она не позволяет вручную даже формализовано ставить задачи марковского моделирования, т.е. строить исходные графы переходов состояний систем, состоящих из большого числа элементов. Поэтому основу детерминированного раздела марковского ОЛВМ составляют специальные аналитические методы, которые позволяют на основе прежней постановки задачи в форме СФЦ автоматически строить высокоразмерные графы переходов состояний цепей Маркова или марковских случайных процессов. Дальнейшее автоматизированное моделирование и расчеты могут осуществляться традиционными методами марковского анализа. Один из разработанных детерминированных методов марковского ОЛВМ, реализованный в ПК АСМ 2001 [5], позволяет автоматически строить цепи Маркова и рассчитывать условные законы живучести (УЗЖ) систем к заданным последовательностям поражающих воздействий [24].

В следующем примере рассматривается структурная схема работоспособности электроэнергетической системы (ЭС) известной "задачи 35", разработанной основоположником отечественной школы логико-вероятностного моделирования академиком РАЕН Рябининым И.А. [9, с.36-40; 11, с.374-384; 12, с.193-197].

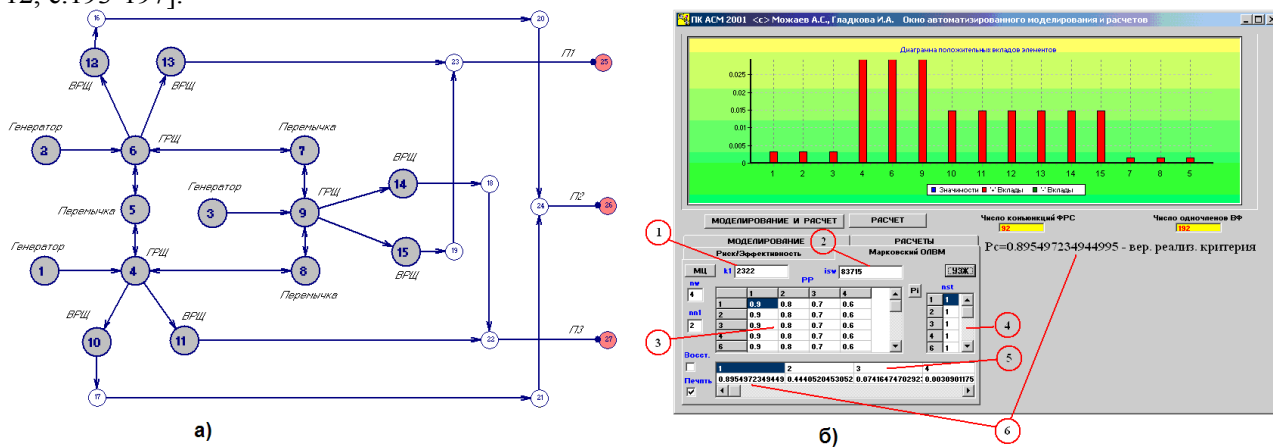


Рис.3. СФЦ работоспособности и результаты детерминированного ОЛВМ построения цепи Маркова и расчета УЗЖ электроэнергетической системы

На рис.3.б приведено окно автоматизированного моделирования ПК АСМ 2001 [5] с исходными данными и результатами применения детерминированного марковского ОЛВМ для автоматического построения графа переходов состояний цепи Маркова и расчета УЗЖ рассматриваемой ЭС к четырем последовательным ударам (поражающим воздействиям).

Указанные на рис.3.б номера пунктов представляют следующие данные, характеризующие результаты решения задачи марковским ОЛВМ:

- 1 – число **2322** состояний автоматически сформированной цепи Маркова;
- 2 – общее число **83715** действующих переходов сформированной цепи Маркова;

- 3 – заданные вероятности (0.9, 0.8, 0.7 и 0.6) стойкости элементов ЭС к каждому удару;
- 4 – заданное начальное состояние ЭС (все элементы работоспособны);
- 5 – результаты вычисления УЗЖ ЭС для четырех последовательных ударов

Таблица 1. Результаты расчетов УЗЖ ЭС

Число ударов	0	1	2	3	4
УЗЖ–вероятность не поражения ЭС	1.0	0.89549723	0.44405205	0.07416475	0.00309012

Правильность результатов марковского ОЛВМ подтверждается следующими положениями:

- Совпадением полученного числа марковских состояний (**2322**) со значением общего числа работоспособных состояний рассматриваемой ЭС, приведенным в [12, с.197];
- Совпадением расчетного значения вероятности стойкости ЭС к первому удару, равного **0.89549723** (см. табл.1), с вероятностью **0.895497234945**, вычисленной ПК АСМ 2001 (см. рис.3.б, пункт б) на основе точного аналитического ОЛВМ модели надежности рассматриваемой ЭС.

Полное решение данной задачи (построение марковской модели и расчет УЗЖ) выполнено комплексом ПК АСМ 2001 за несколько секунд.

4. Вероятностно-детерминированные методы сетевого ОЛВМ.

Принципиально новым во всех методах сетевого ОЛВМ является учет последовательностей свершения элементарных событий в моделях и показателях исследуемых свойств систем. В настоящее время выполняются новые разработки и получены положительные результаты для двух классов методов сетевого ОЛВМ, в которых учитываются случайные [25] и детерминированные последовательности элементарных событий. Все традиционные логико-вероятностные методы, как и сама алгебра логики, являются комбинаторными по построению и не могут учитывать ни случайные, ни достоверные последовательности событий. Поэтому создание сетевых ОЛВМ требует разработки принципиально новых математических аппаратов алгебры логики и производства вычислений, позволяющих корректно учитывать случайные и детерминированные последовательности элементарных событий и рассчитывать соответствующие вероятностные и детерминированные характеристики исследуемых свойств систем.

Одним важным самостоятельным объектом разработки являются детерминированные методы сетевого ОЛВМ, в которых и логические и расчетные математические модели не являются вероятностными по определению. Построение таких моделей осуществляется в целях получения не вероятностных, а специальных детерминированных характеристик систем различных видов классов и назначения. Примерами задач разработки новых методов детерминированного сетевого ОЛВМ являются: определение последствий достоверного изменения начального или текущего состояния системы, детерминированный анализ сетевых планов работ, количественные оценки текущей эффективности функционирования или последствий возникающих аварий структурно-сложных и высокоразмерных сетей передачи электроэнергии, систем водоснабжения, водоотведения и т.п.

На следующем рисунке приведены исходные данные тестового примера альтернативного сетевого планирования.

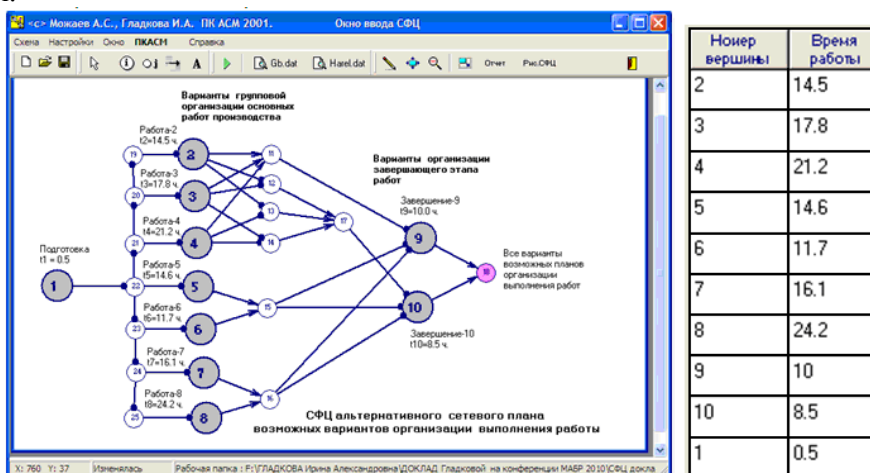


Рис.4. СФЦ возможных вариантов организации производства и параметры времени выполнения элементарных работ

На рис.4 с помощью СФЦ заданы варианты возможных последовательных взаимосвязей элементарных работ, а в таблице указаны значения средних продолжительностей их выполнения. Необходимо построить все возможные варианты разных сетевых планов (СП) и рассчитать их временные характеристики.

Для аналитического представления сетевых планов разработан специальный аппарат алгебры логики последовательностей событий (АЛПС). Элементарные конъюнкции в АЛПС не являются комбинаторными, а представляются с помощью специальных последовательно-параллельных записей простых логических переменных. Для ручного и автоматического формирования на основе исходной СФЦ и заданного логического критерия всех вариантов сетевых планов работ и расчета их детерминированных временных характеристик разработан специальный сетевой графоаналитический метод (СГМ) и соответствующий программный модуль ПК АСМ 2001 [5].

В следующей таблице приведены результаты автоматического построения на основе заданной СФЦ (см. рис.1) с помощью модуля СГМ ПК АСМ 2001 детерминированного сетевого ОЛВМ всех возможных 24-х вариантов сетевых планов организации работ и расчетов их продолжительности.

Таблица 2. Результаты детерминированного ОЛВМ альтернативного сетевого планирования

СП № 1 1 2 9 (25) 1 5 9 (25.1) 1 7 9 (26.6)	СП № 2 1 3 9 (28.3) 1 5 9 (25.1) 1 7 9 (26.6)	СП № 3 1 4 9 (31.7) 1 5 9 (25.1) 1 7 9 (26.6)	СП № 4 1 2 9 (25) 1 6 9 (22.2) 1 7 9 (26.6)	СП № 5 1 3 9 (28.3) 1 6 9 (22.2) 1 7 9 (26.6)	СП № 6 1 4 9 (31.7) 1 6 9 (22.2) 1 7 9 (26.6)
СП № 7 1 2 9 (25) 1 5 9 (25.1) 1 8 9 (34.7)	СП № 8 1 3 9 (28.3) 1 5 9 (25.1) 1 8 9 (34.7)	СП № 9 1 4 9 (31.7) 1 5 9 (25.1) 1 8 9 (34.7)	СП № 10 1 2 9 (25) 1 6 9 (22.2) 1 8 9 (34.7)	СП № 11 1 3 9 (28.3) 1 6 9 (22.2) 1 8 9 (34.7)	СП № 12 1 4 9 (31.7) 1 6 9 (22.2) 1 8 9 (34.7)
СП № 13 1 2 10 (23.5) 1 3 10 (26.8) 1 5 10 (23.6) 1 7 10 (25.1)	СП № 14 1 2 10 (23.5) 1 4 10 (30.2) 1 5 10 (23.6) 1 7 10 (25.1)	СП № 15 1 4 10 (30.2) 1 3 10 (26.8) 1 5 10 (23.6) 1 7 10 (25.1)	СП № 16 1 2 10 (23.5) 1 3 10 (26.8) 1 6 10 (20.7) 1 7 10 (25.1)	СП № 17 1 2 10 (23.5) 1 4 10 (30.2) 1 6 10 (20.7) 1 7 10 (25.1)	СП № 18 1 4 10 (30.2) 1 3 10 (26.8) 1 6 10 (20.7) 1 7 10 (25.1)
СП № 19 1 2 10 (23.5) 1 3 10 (26.8) 1 5 10 (23.6) 1 8 10 (33.2)	СП № 20 1 2 10 (23.5) 1 4 10 (30.2) 1 5 10 (23.6) 1 8 10 (33.2)	СП № 21 1 4 10 (30.2) 1 3 10 (26.8) 1 5 10 (23.6) 1 8 10 (33.2)	СП № 22 1 2 10 (23.5) 1 3 10 (26.8) 1 6 10 (20.7) 1 8 10 (33.2)	СП № 23 1 2 10 (23.5) 1 4 10 (30.2) 1 6 10 (20.7) 1 8 10 (33.2)	СП № 24 1 4 10 (30.2) 1 3 10 (26.8) 1 6 10 (20.7) 1 8 10 (33.2)

В данной таблице каждый определенный с помощью СГМ сетевой план представлен в виде последовательно-параллельной конъюнкции АЛПС, на основе которой вычислены продолжительности параллельных путей, например:

$$C \quad \Pi: \begin{array}{c} x_2 \\ x_1 \vee x_5 \\ x_7 \end{array} x_9, \quad \begin{array}{l} t_{s1}: t_1 \vee t_2 \vee t_9: 2 \quad 5 \\ t_{s2}: t_1 \vee t_5 \vee t_9: 2 \quad 15 \\ t_{s3}: t_1 \vee t_7 \vee t_9: 2 \quad 66 \end{array}$$

где путь $t_{s3} = t_1 + t_7 + t_9 = 26.6$ является критическим (наибольшим из всех параллельных конъюнктивных путей СП).

Полученные результаты позволяют определить оптимальные (по показателю критического пути) варианты сетевых планов. В примере это СП №1 и СП №4, критические пути которых являются наименьшими среди критических путей всех других вариантов сетевых планов.

Заключение.

Полученные результаты показывают, что дальнейшее развитие и разработка специальных разделов ОЛВМ позволили охватить все основные виды структурных моделей детерминированного и вероятностного анализа систем – аналитические, статистические, марковские и сетевые. Детерминированные методы указанных разделов ОЛВМ доведены до программной реализации в ПК АСМ. При этом автоматически выполняются не только расчеты системных характеристик, но и (это главное!) процессы построения соответствующих классов математических моделей структурно сложных технических и организационных систем.

Кроме самостоятельного применения, разрабатываемые средства вероятностного и детерминированного ОЛВМ должны быть взаимосвязанными и корректно дополнять друг друга, обеспечивая эффективное решение многих важных практических задач, например:

– моделирования и расчета "остаточных" вероятностных характеристик надежности, живучести, безопасности, риска, ожидаемого ущерба и эффективности функционирования систем после детерминированного изменения их текущих состояний (эксплуатационный мониторинг риска);

– диагностики возможных (наиболее вероятных) причин, которые могли привести к изменению текущего состояния системы (например, возникновению аварии, снижению эффективности функционирования и др.);

– выработки, обоснования и оптимизации [22] различных исследовательских, проектных, эксплуатационных и других управленческих решений.

В настоящее время продолжают научные исследования, разработки методов и программных средств реализации указанных детерминированных разделов ОЛВМ анализа структурно сложных системных объектов и процессов.

Литература:

1. Можаяев А.С. Логико-вероятностный подход к оценке надежности автоматизированных систем управления. СПб.: ВМА им. Гречко А.А. Депонирована п/я А-1420 № Д04750, 1982. – 24 с.
2. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно сложных систем. Уч. пос. Л.:ВМА, 1988. – 68 с.
3. 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. Часть I. Основы анализа и регулирования безопасности. М.: МГФ "Знание", 2006. – 640с. (с. 153-197). // Многотомное издание "Безопасность России". Анализ риска и проблем безопасности. Часть III. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов. М.: МГФ "Знание", 2007. – 816 с. (с. 243-293).
4. 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.
5. Можаяев А.С. Гладкова И.А. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем (ПК АСМ 2001). // Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003. – 1с.
6. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. – 318с.
7. Э. Дж.Хенли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. М. Машиностроение, 1984. – 528с.
8. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем. Л.: Судостроение, 1967. – 362с.
9. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. – 286 с.
10. Парфенов Ю.М. Надежность, живучесть и эффективность корабельных электроэнергетических систем. Уч. пос. Л.:ВМА, 1989. – 324 с.
11. Рябинин И.А. Надежность живучесть безопасность. Очерки разных лет. – Новочеркасск: Изд-во Южно-российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), 2008. – 580 с.
12. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Изд-во С.Петербур-га, 2007. – 276 с.

13. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Teory Manual. RELCON AB, 1998. – 57p.
14. Код "РИСК" для выполнения стандартных вероятностных расчетов. М.: ОЦПК, <http://www.insc.ru/PSA/risk.html>.
15. 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. – 88с.
16. Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations (SAPHIRE) Version 7.0 (saphire.inel.gov). Reference Manual.
17. Викторова В.С., Кунтшер Х., Петрухин Б.П., Степанянц А.С. Relex – программа анализа надежности, безопасности, рисков. // Журнал "Надежность", №4(7), 2003, с. 42-64.
18. 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") СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2005. – 282с.
19. 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.
20. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0. Разработчик и правообладатель: ОАО "СПИК СЗМА", Санкт-Петербург. Автор Можаяев А.С. // Свидетельство об официальной регистрации № 2003611101. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003. – 1с. // Аттестационный паспорт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ, №222 от 21 февраля 2007 г. – 6 с.
21. Можаяев А.С. Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем. Часть-I. В сб.: Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. Вып.1. Под редакцией И.А. Рябинина. Препринт 101. СПб.: ИП-МАШ РАН, 1994, с.23-53.
22. Скворцов М.С. Решение задачи оптимизации надежности с помощью метода логико-вероятностных вкладов. // Журнал "Надежность", № 2(30), 2009, С. 15-29
23. Алексеев А.О. Логико-статистический метод оценки устойчивости функционирования сложных и пространственных объектов. // Сборник №1 "Решение эксплуатационных задач на ЭВМ". СПб.: ВИКИ им. Можайского, 1992.
24. Иванов М.В., Можаяев А.С., Рябинин И.А. Логико-вероятностные методы расчета живучести автоматизированных электроэнергетических систем судов. // Журнал "Вопросы судостроения". Сер: Судовая автоматика. Вып.30. Л.: Румб. 1984, с.3-16.
25. Можаяев А.С. Учет временной последовательности отказов элементов в логико-вероятностных моделях надежности. Межвузовский сборник: Надежность систем энергетики. Новочеркасск: НПИ, 1990, с. 94-103.
26. Струков А.В. Интервальная оценка показателей надежности структурно-сложной системы по результатам биномиальных испытаний ее компонент. // Труды Международной научной школы МАБР-2010.