

МЕТАГРАММАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Атакищев О.И.¹, Грибунин В.Г.², Борисенков И.Л.³, Лысачев М.Н.⁴

Целью работы является анализ особенностей применения интегрированного метаграмматического подхода анализа иерархий для решения проблемы структурно-параметрического синтеза систем обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем управления атомных станций малой мощности.

Метод исследования: для достижения цели работы применялся метаграмматический подход анализа иерархий, являющийся интеграцией метаграмматического подхода и метода анализа иерархий Саати.

Результат исследования: в работе представлен метаграмматический подход анализа иерархий, детально рассмотрены особенности его применения для решения проблемы структурно-параметрического синтеза систем обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем управления атомных станций малой мощности.

Научная новизна заключается в разработке и анализе научно-прикладных особенностей нового интегрированного метаграмматического подхода анализа иерархий, позволяющего проводить синтез сложноструктурированных систем обеспечения информационной безопасности в условиях частичной неопределенности.

Ключевые слова: информационная безопасность, системы обеспечения информационной безопасности, метод Саати, структурно-параметрический синтез, малые АЭС.

DOI:10.21681/2311-3456-2023-1-82-92

Введение

Современный этап развития атомных электростанций (АЭС) в РФ и ведущих мировых державах характеризуется существенным возрастанием актуальности решения комплексной проблемы создания атомных электростанций (АЭС) малой мощности (ММ) [1]. В частности, в рамках инициативы правительства «Новая атомная энергетика», строительство и массовое внедрение АЭС ММ рассматривается как прорывное направление развития атомной энергетике в РФ. Актуальной является также реализация проектов разработки и поставки АЭС ММ дружественным странам.

В настоящее время введена в строй передвижная атомная теплоэнергостанция (ПАТЭС) малой мощности «Академик Ломоносов» (70 МВт).

Проведенный анализ показал, что создание АЭС ММ определяет необходимость решения проблем

создания нового поколения высокоэффективных автоматизированных систем управления (АСУ) различного назначения, и решения для этого класса сложных информационно-телекоммуникационных и управляющих систем комплекса задач защиты информации (ЗИ) в условиях жестких ресурсных ограничений.

Решение проблемы создания систем обеспечения информационной безопасности (СОИБ) АСУ АЭС ММ имеет высокую актуальность и несомненную прикладную значимость. В первую очередь, это определяется необходимостью обеспечения современных и перспективных требований по защите информации, аналогичных «мощным» АЭС, при существенно более ограниченных финансовых и организационно-технических ресурсах [1, 2], сложности обеспечения охраняемых зон, пресечения утечек информации по раз-

1 Атакищев Олег Игоревич, доктор технических наук, профессор, почетный работник науки и высоких технологий РФ, заместитель генерального директора по специальным проектам АНО «Институт инженерной физики», г. Серпухов, Московская обл., Россия. E-mail: aoi007@mail.ru

2 Грибунин Вадим Геннадьевич, доктор технических наук, доцент, почетный работник науки и техники РФ, главный научный сотрудник АНО «Институт инженерной физики», г. Серпухов, Московская обл., Россия. E-mail: vgribunin@jmail.com

3 Борисенков Игорь Леонидович кандидат технических наук, доцент, , заместитель председателя Секции прикладных проблем при Президиуме РАН, г. Москва, Россия. E-mail: aoi0007@jmail.com

4 Лысачев Михаил Николаевич, Генеральный директор АО «Консист-ОС», г. Москва, Россия. E-mail: info@consist-os.ru

личным каналам⁵, в большинстве случаев – удаленностью и малодоступностью мест нахождения.

Основные факторы, определяющие особенности решения проблемы создания СОИБ АСУ АЭС ММ

Решение задач создания СОИБ АСУ АЭС ММ, в частности, отличается необходимостью учета следующих существенных факторов:

- постоянным повышением требований к СОИБ по множеству пресекаемых угроз информационной безопасности АСУ, классам нарушителей;
- существенным повышением, по мере развития АСУ, требований по уровню автоматизации, интеллектуализации, интеграции функций обеспечения ИБ;
- повышением требований по надежности и референтности создаваемых СОИБ и входящих в них средств ИБ (СрИБ) (в том числе и в рамках референтной архитектуры IT4IT) [1], функционирующих в сложных условиях эксплуатации, в том числе – в труднодоступных и удаленных районах арктической и тропической зон);
- необходимость сочетания стационарных, полустационарных, мобильных, переносных вариантов реализации СОИБ и СрИБ;
- жесткие ограничения по площадям и объемам для размещения средств и подсистем СОИБ, отдельных наиболее важных средств ЗИ;
- жестким ограничениям по временным параметрам обнаружения и отражения обычных и комплексных атак;
- существенным возрастанием скорости и канальности контролируемых потоков АСУ;
- необходимость создания и сертификации СОИБ (СрИБ) с возможностью их дальнейшей структурной, алгоритмической и параметрической адаптации к конкретным сложным условиям эксплуатации;
- необходимость применения масштабируемых решений, в том числе при поэтапной интеграции АСУ нескольких поэтапно вводимых в строй реакторных установок на АЭС ММ;

5 – IEC 62645 «Nuclear power plants –Instrumentation and control systems – Requirements for security programs for computer-based systems» 2014.

– IEC 61226:2005 Электростанции атомные. Средства контроля и управления, важные для безопасности. Классификация функций контроля и управления.

– IEC 60987:2007 Электростанции атомные. Средства контроля и управления важные для безопасности. Требования к проектированию аппаратных средств компьютерных систем.

- наличие более высокой квалификации и интеграции функций персонала;
- необходимость реализации СОИБ в экспортном исполнении, с реализацией необходимых организационных и технических мер защиты (неразглашения ноу хау и других секретов) при различных вариантах передачи прав эксплуатации третьим странам, отличающихся законодательной базой в области ЗИ;
- критичность обеспечения ИБ и физической защиты отдельных секторов и зон АСУ АЭС ММ;
- необходимость сохранения высокого уровня решения задач ИБ при увеличивающемся сроке эксплуатации АЭС ММ;
- необходимость решения задач ИБ ряда специфических систем АЭС ММ, в частности – систем динамического позиционирования, управления роботизированными охранными системами, дистанционного управления, дальней связи (обмен с руководством Росэнергоатома), хранения информации по инцидентам с ограничением доступа и т.п.;
- ориентация на получение максимального экономического эффекта при ограниченной мощности АЭС и полномасштабной (по существующим требованиям и стандартам безопасности) реализации обеспечивающих систем, в том числе СОИБ;
- необходимость максимальной универсализации, гибкости, сквозной верификации, валидации СОИБ рассматриваемого класса;
- необходимость реализации перспективных высокоэффективных методик нагрузочного, регрессионного, модульного тестирования СОИБ при минимальных издержках для функционирования АЭС ММ;
- закладывание перспективных решений в области ИБ на самых ранних этапах создания АЭС ММ (secure by design);
- реализация требований по возможности поэтапного создания и наращивания возможностей СОИБ с привязкой к этапам создания и финансирования АЭС ММ;
- необходимость устранения пробелов и корректировка законодательства и нормативной базы, применительно к рассматриваемой проблематике;
- необходимость увязки СЗИ АЭС ММ в единое информационно- телекоммуникационное пространство ГК Росатом (Росэнергоатом).

Учет данных факторов представляет собой важную и одновременно сложную в организационном и научно-техническом аспектах проблему, которая может быть решена на путях создания нового поколения высокоэффективных СОИБ для АЭС ММ.

Выполнение комплекса противоречивых требований к перспективным системам и средствам обеспечения ИБ для АЭС ММ в этих условиях, отличающихся высокой степенью неопределенности, может быть достигнуто путем создания новых подходов и методов структурно-эволюционного (адаптивного по этапам создания, закладываемым структурам и функциям) структурно-параметрического синтеза СОИБ. При этом также должны быть предусмотрены возможности динамической модификации и реконфигурации перспективных высокоэффективных интеллектуализированных СОИБ, расширения выполняемых ими функций с привязкой к структуре и параметрам создаваемых АСУ АЭС ММ, снижения ресурсоемкости их создания и применения, повышения уровня их адаптации к конкретным (обычно труднодоступным) местам эксплуатации.

При этом необходимо развитие принципов, научно-методических, научно-технических, информационно-технологических и организационных решений по созданию и развитию подобного нового класса СОИБ в условиях неопределенности, жестких ресурсных ограничений и повышения требований к обеспечению ИБ на предприятиях Росэнергоатома.

Особенности предложенного подхода

В данной статье с целью решения ключевого элемента рассмотренного комплекса проблем – проблемы структурно-параметрического синтеза сложноструктурированных СОИБ АСУ АЭС ММ в условиях неопределенности ряда рассмотренных выше факторов, предлагается объединить метаграмматический подход к структурно-параметрическому синтезу сложноструктурированных организационно-технических систем [3-5], и метод (подход) анализа иерархий⁶ Саати [6-8], позволяющий учесть нечеткие факторы при создании перспективных систем различного назначения.

В дальнейшем подобный интегрированный подход и реализованные в его рамках методы и методики будем называть метаграмматическим подходом анализа иерархий (МГАИ).

6 Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993 г. 314 с., ISBN 5-256-00443-3.

Общетеоретической основой МГАИ является применение моделей и методов (методик) структурно-параметрического синтеза вариантов создаваемых СОИБ АСУ АЭС ММ на основе метаграмматик (МГ) различных классов [4,5,6], при этом, для анализа получающихся вариантов СОИБ в условиях частичной неопределенности используется метод анализа иерархий (МАИ) Саати.

Необходимо отметить, что в данном подходе МГ описывают не сами варианты синтезируемых СОИБ, а многоуровневые системы правил их формирования. Процесс расчета атрибутов (сигнатур, параметров, частных и общих показателей и т.п.) и анализа вариантов проводится в процессе их генерации на основе методов полного и неполного грамматического разбора⁷ МГ.

Для сложноструктурированных СОИБ, содержащих большое число элементов (тысячи и десятки тысяч средств и прошивок), рассматриваемых в МАИ Саати, МГ и их отдельные грамматики также могут использоваться как метамодели правил формирования структур СОИБ, генерации взаимосвязей целей (и их декомпозиций в виде деревьев), наборов критериев, структур взаимосвязанных альтернатив и других факторов, учитываемых при структурно-параметрическом синтезе сложноструктурированных СОИБ АСУ АЭС ММ.

Возможность рекурсивно моделировать сложноструктурированные СОИБ вытекает из рекурсивной многоуровневой или сетевой природы метаграмматик, представляющих собой системно увязанную многоуровневую или сетевую систему правил генерации и анализа сложноструктурированных конструктов. В общем случае метаграмматика формализуется как продукционная система взаимосвязанных по правилам согласования грамматики: $G = (\{G_i\}, W)$, где $\{G_i\}$ – множество используемых грамматики различного вида, задающих в данном случае правила генерации и анализа СОИБ, W – схема метаграмматики, определяющая набор правил согласования, соответствующих правилам взаимоувязки (взаимодействия) грамматики (элементов грамматики) множества $\{G_i\}$.

Варианты классификации, свойства отдельных классов МГ рассмотрены в большом числе работ, в частности в работе⁸, при этом существующие классы МГ с ли-

7 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». - М.: СИНТЕГ, 1998 г. 376 с., ISBN 5-89638-003

8 Атакищев О.И., Аджемов С.С., Емельянов С.Г. [и др]. Формальные грамматики, метаграмматики и грамматические структуры. Их применение при принятии управленческих решений. - М., МТУСИ. - 2010. -345с.

нейными, многоуровневыми (иерархическими), сетевыми схемами отличаются взаимосвязями элементов грамматик и интерпретациями данных взаимосвязей, соответствующих, в частности, операциям суперпозиции, управления использованием продукций, запуском генерации и анализа структур из определенных нетерминалов, взаимосвязям унаследованных и синтезированных атрибутов терминалов и нетерминалов [9] и т.п.

С целью учета ряда особенностей структур СОИБ в МГ могут системно объединяться (по правилам согласования) модифицированные грамматики (типа сигнатурных, атрибутивных, нечетких, стохастических, программных, индексных, предшествования, управляемого предшествования, коллегиально-иерархических, β -управляемого предшествования и т.п.). Это позволяет объединять на «каркасе» метаграмматик большое число созданных к настоящему времени аналитических (расчетных), графовых, вероятностных, нечетких и др. моделей, созданных для расчета параметров отдельных средств и подсистем СОИБ, рассчитать с использованием соответствующих процедур интегральные атрибуты СОИБ в процессе грамматического разбора МГ.

В отличие от обычных классов грамматик по Н. Хомскому⁸, МГ задают «стратифицированную» систему правила формирования, анализа и выбора вариантов создаваемых СОИБ, где отдельные грамматики задают «локальную» подсистему правил формирования и выбора вариантов отдельных подсистем и СРИБ, а также расчета их атрибутов в процессе грамматического разбора.

МГ задают общую систему правил увязки этих локальных подсистем правил в общую систему правил генерации и выбора СОИБ АСУ АЭС ММ. В настоящее время в работах авторов и сотрудников АО «НПО «Эшелон», АНО «Институт инженерной физики», Секции прикладных проблем при Президиуме РАН и АО «Консист-ОС» предложено большое число различных подклассов метаграмматик и ориентированных на них методов грамматического разбора и расчета атрибутов, позволяющих учитывать специфику решаемых задач структурно-параметрического синтеза сложноструктурированных СОИБ АСУ АЭС ММ.

В то же время учет отдельных факторов неопределенности при структурно-параметрическом синтезе перспективных СОИБ АСУ АЭС ММ был выполнен в общем постановочном плане.

В данной работе для отражения и учета факторов частичной неопределенности в рамках предложенного интегрированного подхода предлагается при использовании метаграмматических моделей и реали-

зации отдельных этапов грамматического разбора МГ при структурно-параметрическом синтезе СОИБ рассматриваемого класса учитывать соответствующие цели, показатели, критерии и другие факторы, важные с точки зрения генерации и выбора вариантов с использованием МАИ Саати.

Для учета подобных факторов в МГ дополнительно могут включаться:

- атрибуты (наборы сигнатур, параметры и т.п.), отражающие особенности (модели, правила) вычисления унаследованных и синтезированных атрибутов, соответствующих параметрам общих и частных целей, параметры проверки критериев и необходимых для отражения в моделях и методах разбора других факторов, необходимых для реализации МАИ Саати;
- стохастические и нечеткие меры для учета объективных и субъективных предпочтений на множествах продукций (правил вывода) и правилах согласования МГ, что позволяет определенным образом «ранжировать» продукции и правила согласования и повысить эффективность процедур грамматического разбора МГ.

При декомпозиции в соответствии со схемой МГ может быть отражена общая архитектура СОИБ, необходимая для использования иерархических модификаций МАИ, проведены разбиение на этапы и распараллеливание процедур генерации и анализа вариантов создаваемых СОИБ, проведена формализация процедур формирования взаимосвязанных целей, критериев и факторов для МАИ Саати на основе метаправил отдельных грамматик, входящих в МГ.

Также одним из приоритетных вариантов использования МГ совместно с МАИ Саати является проведение генерации и выбора нескольких близких по показателям рациональных вариантов структур вариантов СОИБ с последующим их попарным сравнением в соответствии с МАИ Саати и выбором наилучшего из них.

Следует отметить, что в случае применения интегрированного МГАИ генерация, анализ и выбор вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ могут выполняться в процессе единой процедуры грамматического разбора МГ («на проходе») с использованием интегрированных методов генерации дерева вывода, вычисления в процессе исполнения продукций атрибутов, вероятностных или нечетких мер правил и нетерминалов, соответствующих подсистемам и СОИБ АСУ АЭС ММ в целом.

При решении задач структурно-параметрического синтеза и ситуаций с большим числом целей, показателей, критериев и других факторов, в МГ может быть вы-

делена отдельная грамматика, задающая правила генерации взаимосвязей целей, критериев, альтернатив и других рассматриваемых факторов, необходимых для решения задач анализа иерархий по Саати. В этом случае генерация взаимосвязей (иерархий) для различных схем Саати при использовании МАИ может проводиться на основе правил данной грамматики, что позволяет задавать иерархии на уровне опытного эксперта.

При этом не происходит пропусков и ошибок в задании больших взаимосвязанных наборов целей (подцелей), критериев (связанных «наборов» частных критериев), структурно-увязанных альтернатив вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ исходя из частных целей и критериев подсистем СОИБ. Это позволяет преодолеть один из основных недостатков МАИ Саати – сложность безошибочного задания исходных данных, формализации компонент и применения при большом числе целей, критериев, альтернатив. В частности, при решении задач создания современных СОИБ необходимо рассмотреть альтернативные варианты построения СОИБ, которые могут содержать несколько тысяч сертифицированных средств ИБ. Число подобных альтернативных вариантов, даже с учетом ограничений на отдельные компоновки разрастается по закону, близкому к экспоненциальному.

Задание (формализация) и учет всех особенностей для МАИ Саати такого множества вариантов при реальной сложности СОИБ АСУ АЭС ММ становится трудноразрешимой задачей, требующей определенной интеллектуализации и структуризации по правилам МГ.

Проведенный анализ достоинств интеграции МАИ и МГ показал, что:

1) становится возможным за счет формализации в МГ правил рекурсивного формирования структур СОИБ, а также формализовать в продукционной форме и с использованием правил согласования, задание сложных структур СОИБ с явным отражением (при необходимости) правил их структурной и параметрической адаптации. При этом также в продукционной форме могут быть заданы правила задания множеств структур связанных с ними целей, критериев и т.п., необходимых для эффективного использования МАИ Саати;

2) возможно дополнить методы грамматического разбора МГ процедурной компонентой МАИ Саати для нечеткого анализа вариантов, применить вариант анализа с использованием МАИ для близких по параметрам вариантам СОИБ АСУ АЭС ММ.

В качестве обобщенного примера укажем на особенности применения предложенного подхода для случая структурно-параметрического синтеза сложно-

структурированной СОИБ АЭС ММ в условиях частичной неопределенности.

В предложенном интегральном подходе (МГАИ) для структурно-параметрического синтеза на основе МГ проводится рекурсивная генерация (на основе и грамматического разбора МГ) промежуточных структур вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ, расчет унаследованных и синтезированных атрибутов (сигнатур, текущих и интегральных параметров эффективности, стоимости и т.п.), вычисление (в случае применения нечетких и стохастических МГ) нечетких и стохастических мер продукции, нетерминалов грамматик, входящих в МГ. В качестве входных данных для применения МАИ Саати, с помощью отдельных грамматик (входящих в них продукции) и правил согласования МГ для сгенерированного промежуточного варианта СОИБ АСУ АЭС ММ формируется многоуровневая обобщенная модель нечеткого влияния [9,19] на достижение общей цели (для промежуточного анализа-подцели из дерева целей) СОИБ АСУ АЭС ММ. При этом проводится учет соответствующих внешних и внутренних факторов, необходимых для использования МАИ Саати.

В данном случае, при интеграции в рамках МГАИ, обобщенная модель нечеткого влияния (МНВ) представляется как интеграция по продукционным правилам и правилам согласования МГ моделей влияния (МВ) внешних и внутренних факторов. Данные модели определяют полученное состояние МГ с указанием целей для синтезированных промежуточных альтернатив структур СОИБ, а также влияние факторов на определение общей цели СОИБ и частных целей подсистем из ее состава в соответствии с уровнем метаграмматики, используемой для грамматического разбора (рангом подсистемы СОИБ). Влияние оценивается на основе функций подтверждения. Также с использованием правил МГ, определяется влияние множества взаимосвязанных моделей (правил расчета атрибутов, нечетких и вероятностных мер) характеризующих параметры структур СОИБ, поведение подсистем из состава СОИБ разного ранга и базирующихся на методах К.С.Фу, Гальтона-Уотсона, частных алгоритмах анализа иерархий⁹, оценках функций полезности¹⁰.

9 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». — М.: СИНТЕГ, 1998 г. 376 с., ISBN 5-89638-003-8

10 Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Стребков Д.А., Заичко В.А. Нечеткая многоуровневая модификация метода анализа иерархий и способ определения оценок предпочтительности альтернативных вариантов создания сложных систем космического назначения в условиях повышения неопределенности внешней среды // Известия ЮЗГУ. 2012, № 5 (44). Ч. 2. С.50-60.

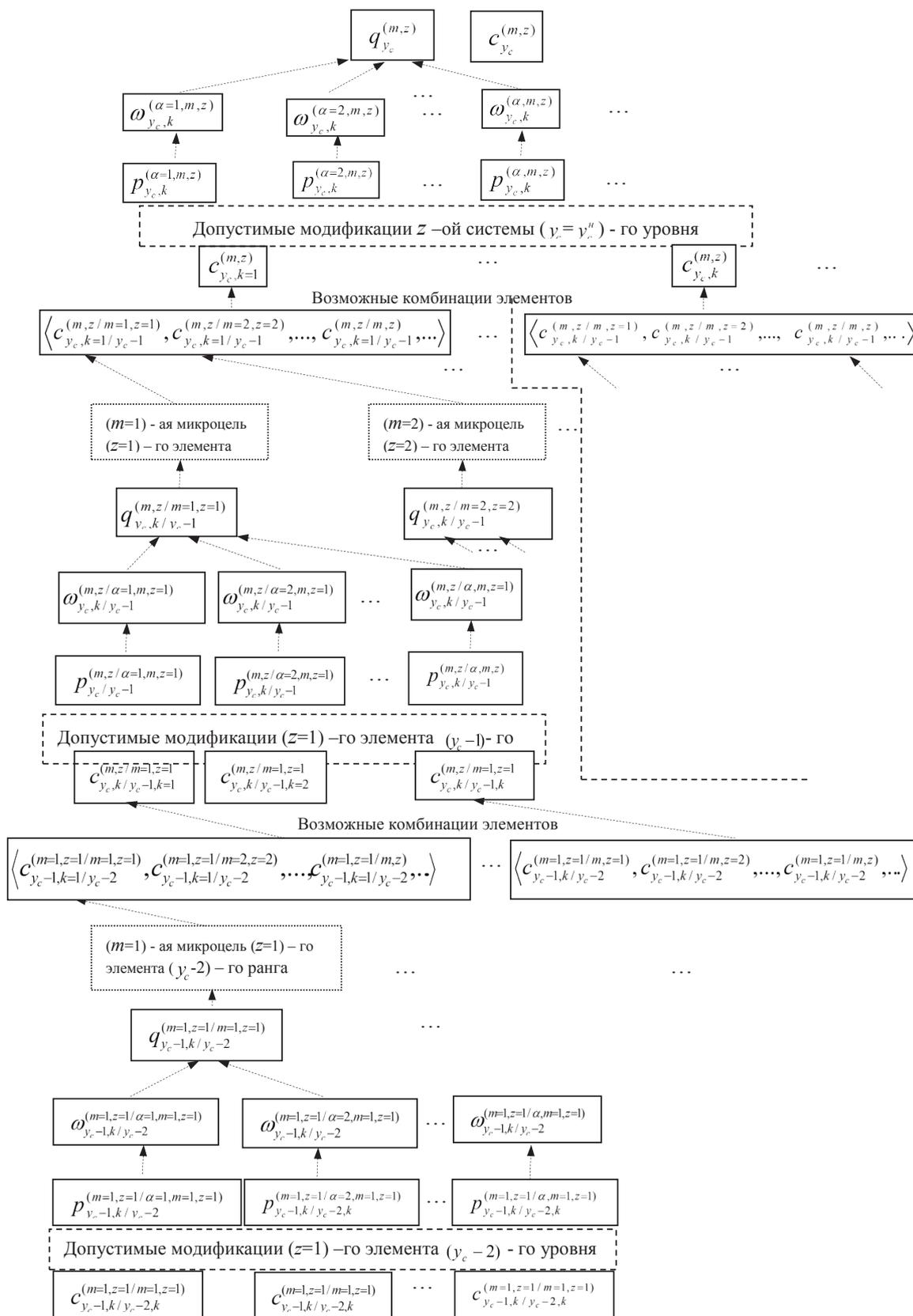


Рис. 1. Структура МНВ на достижение цели генерируемой подсистемы СОИБ y_c^m – ранга ($q_{y_c}^{(m,z)}$) разных факторов разного уровня (ранга)

Для представленного ниже примера с использованием правил МГ в рамках МГАИ может быть сгенерирована обобщенная модель влияния на достижение m -ой цели СОИБ АСУ АЭС ММ y_c – го уровня, а также проведена оценка большого числа факторов, определяющих допустимые продукционными правилами и правилами согласования МГ модификации (различные сертифицированные «прошивки») подсистем и средств СОИБ разного ранга. Для рассматриваемого примера обобщенная модель, учитываемая на соответствующем этапе структурно-параметрического синтеза может представлена в следующем виде (рис. 1).

$$M_{y_c, k/.../y_c=1, k}^{(m, z)} = \left\{ \left\{ M_{y_c+1, y_c} (q_{y_c+1/y_c}^{j, m, z/m, z}), M_{y_c, k}^{(j, m, z(i))} \right\}, \right. \\ \left. \left\{ M_{y_c, y_c-1} (q_{y_c, k/y_c-1, k}^{j, m, z(i)/j, m, z(i)}), M_{y_c, k/y_c-1, k}^{(j, m, z(i)/j, m, z(i))} \right\}, \dots \dots \right. \\ \left. \left\{ M_{y_c=2, y_c=1} (q^{j, m, z}), M_{y_c=2, k/y_c=1, k}^{(j, m, z(i)/j, m, z(i))} \right\} \right\}, \\ \left(M_{y_c=2, y_c=1} (q_{y_c=2, k/y_c=1, k}^{j, m, z(i)/j, m, z(i)}), M_{y_c=2, k/y_c=1, k}^{(j, m, z(i)/j, m, z(i))} \right) - \text{частные МНВ, позволяющие оценить цели создаваемой СОИБ АЭС ММ } (y_c = 1) \text{ с использованием грамматики первого уровня МГ.}$$

Одновременно проводится оценка факторов, отражающих достижение цели разными модификациями подсистем из состава СОИБ в j -ых условиях обстановки на местах эксплуатации подсистемы СОИБ АСУ АЭС ММ.

Они могут быть записаны следующим образом:

$$M_{y_c, y_c+1} (q_{y_c+1/y_c}^{m, z/m, z}) = M (q_{y_c}^{m, z}, q_{y_c, y_c+1}^{m, z/m, z}, Q_{y_c, z/m, Z^*}, Q_{y_c, z/m, G^*}, \\ q_{y_c}^{m, z/m, z, a-1}) = \left((q_{y_c}^{m, z}, \beta_{y_c}^{m, z}), (q_{y_c/y_c+1}^{m, z/m, z}, \beta_{y_c/y_c+1}^{m, z/m, z}), (Q_{y_c}^{m, z/m, Z^*}, \beta_{y_c}^{m, z/m, Z^*}), (Q_{y_c}^{m, z/m, G^*}, \beta_{y_c}^{m, z/m, G^*}), (q_{y_c}^{m, z/m, z, a-1}, \beta_{y_c}^{m, z/m, z, a-1}), \right. \\ \left. Q_j, \xi_{\text{мреб.}} (q_{y_c}^{m, z}, q_{y_c+1}^Z, Q_{y_c}^Z, Q_{y_c}^{G^*}, V_j) \right), \\ f((q_{y_c}^{m, z}, \beta_{y_c}^{m, z}), q_{y_c+1}^Z, Q_{y_c+1}^Z, Q_{y_c}^{G^*}, \dots)$$

$V_j, \xi_{\text{мреб.}} (q_{y_c}^{m, z})$, – частная МВ внешних и внутренних факторов $M_{y_c, y_c+1} (q_{y_c+1/y_c}^{m, z/m, z})$ на определение цели подсистемы СОИБ АСУ АЭС ММ ($y_c = y \geq 2$) – го ранга ($C_{y_c}^{z, a}$). В данных обозначениях j , является индексом модели, характеризующий принадлежность подсистем и СРИБ j -ым условиям эксплуатации СОИБ.

В данном случае разбиение множества моделей для использования в МАИ Саати проводится в соответствии со схемой МГ, на стратифицированное множество. Если используются сетевые метаграмматики, взаимосвязи моделей носят сетевой характер и имеют структур, аналогичную, структуре схемы МГ.

В интегрированном подходе МГАИ МАИ Саати подключается в соответствии с продукционными правилами согласования МГ, используемыми для порождения дерева целей из МГ. Цели, множества факторов и т.п., декомпозируются аналогично [7,8,12]. Подобная декомпозиция привязана к правилам МГ и представляет собой иерархию связанных множеств целей вариантов подсистем из состава СОИБ АСУ АЭС ММ, представленных на рис. 1.

С использованием подобных моделей могут быть заданы цели (деревья целей) для подсистем СОИБ. В частности, цель подсистемы СОИБ y_c -го уровня (ранга) $q_{y_c}^{m, z}$ соответствует m – й цели подсистемы СОИБ y_c -го ранга, задаваемая как достигаемая цель соответствующей подсистемы СОИБ- $C_{y_c+1}^z$, при рассмотрении сгенерированных структур подсистем СОИБ; $\beta_{y_c}^{m, z}$ – уровень доверия задания цели $q_{y_c}^{m, z}$ с учетом заданных внешних и внутренних факторов; $(q_{y_c, y_c+1}^{m, i(z)/m, i(z)}, q_{y_c}^{m, z/m, z, a-1})$ – m -ая цель, заданная для вышестоящей над рассматриваемой подсистемой СОИБ подсистемы ($y_c + 1$) – го ранга $C_{y_c+1}^z$, определяющая достижение цели подсистемы СОИБ $C_{y_c}^z$; $C_{y_c+1}^z$ – полученный при разборе метаграмматики вариант подсистемы СОИБ, в состав которой входит подсистема y_c -го ранга, также полученная с использованием соответствующих правил МГ; $\beta_{y_c, y_c+1}^{m, z/m, z} / \beta_{y_c, y_c+1}^{m, z/m, z, a-1}$ – степень доверия к определению цели $q_{y_c}^{m, z}$, полученная путем грамматического разбора цели вышестоящей подсистемы $C_{y_c+1}^{z, a}$ ($q_{y_c+1}^{m, z}$) на $(a - 1)$ – ой фазе МГАИ.

Определим $Q_{y_c}^{m, z/m, Z^*} = \{ q_{y_c}^{m, z/m, z^*} \} / Q_{y_c}^{m, z/m, G^*} = \{ q_{y_c}^{m, z/m, g^*} \}$ как множество целей полученных на основе разбора МГ СОИБ (подсистем СОИБ) $C_{y_c+1}^{Z^*} \{ C_{y_c}^{z^*, a} \} / C_{y_c}^{G^*}$, являющихся конкурирующими на рассматриваемом этапе разбора МГ, оказывающих влияние на достижение m -ой цели подсистемы СОИБ $C_{y_c}^z$. В рассматриваемом случае $\beta_{y_c}^{m, z/m, Z^*} / \beta_{y_c}^{m, z/m, G^*}$ – уровень доверия к определению цели $q_{y_c}^{m, z}$ на основании грамматического разбора МГ и уже полученного множества целей $Q_{y_c}^{m, z/m, Z^*} / Q_{y_c}^{m, z/m, G^*}$; V_j – j – ой набор факторов, полученных при грамматическом разборе МГ и определяющих внешние условия (заданную максимальную стоимость и т.п.) также влияющих на задание цели $(q_{y_c}^{m, z}) C_{y_c}^{m, z}$; $\xi_{\text{мреб.}} (q_{y_c}^{m, z}) = \xi_{\text{мреб.}} (q_{y_c}^{m, z}, q_{y_c+1}^Z, Q_{y_c}^Z, Q_{y_c}^{G^*}, V_j)$.

Функция подтверждения, вычисляемая при расчете атрибутов МГ $f((q_{y_c}^{m, z}, \beta_{y_c}^{m, z}), q_{y_c+1}^Z, Q_{y_c+1}^Z, Q_{y_c}^{G^*}, V_j, \xi_{\text{мреб.}} (q_{y_c}^{m, z}))$ задает взаимосвязь между факторами $q_{y_c, y_c+1}^{m, z/m, z}$, $Q_{y_c}^{m, z/m, Z^*}$, $Q_{y_c}^{m, z/m, G^*}$, $q_{y_c}^{m, z/m, z, a-1}$ и получаемым при расчете атрибутов МГ фактором $q_{y_c}^{m, z}$ с учетом критерия $\xi_{\text{мреб.}} (q_{y_c}^{m, z})$.

Модель для расчета атрибутов МГ, задающих оценки влияния k -ой модификации подсистемы СОИБ $(y_c - 1)$ -го ранга из состава k -ой подсистемы y_c -го ранга представляется в следующем виде $M_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} = \left\langle q_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)}, \left\{ c_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} \right\}, \left\{ P_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} \right\}, \left\{ W_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} \right\} \right\rangle$.

В данном случае $q_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)}$ - m -ая частная цель z -ой сгенерированной при разборе МГ подсистемы $(y_c - 1)$ -го ранга $(C_{y_c-1}^{(m, z)})$, входящей в k -ую структуру, сгенерированную из взаимосвязанных сертифицированных средств на основе МГ для подсистемы СОИБ y_c -го ранга.

Также $\left\{ c_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} \right\}$ - набор полученных вариантов структуры z -ой подсистемы $(y_c - 1)$ -го ранга, входящих в состав k -ой структуры подсистемы СОИБ y_c -го ранга.

В рассматриваемом случае $c_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} = \left\langle c_{y_c-1, k/y_c-2}^{(m, z/m=1, z=1)}, c_{y_c-1, k/y_c-2}^{(m, z/m=2, z=2)}, \dots, c_{y_c-1, k/y_c-2}^{(m, z/m, z)} \right\rangle$

- k -й вариант структуры z -ой сгенерированной при разборе МГ подсистемы $(y_c - 1)$ -го ранга, входящей в k -ую структуру подсистемы СОИБ y_c -го ранга.

В данном случае $Q_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)} = \left\langle q_{y_c-1, k/y_c-2}^{(m, z/m=1, z=1)}, q_{y_c-1, k/y_c-2}^{(m, z/m=2, z=2)}, \dots, q_{y_c-1, k/y_c-2}^{(m, z/m, z)} \right\rangle$ - набор частных целей отдельных сертифицированных средств обеспечения ИБ из состава k -ой полученной при разборе МГ структуре подсистемы $(y_c - 1)$ -го ранга, обеспечивающее интегрированное (в рамках общего дерева целей) достижение цели $q_{y_c-1, k}^{(m, z(i))}$.

Также:

- $W_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, Z)} = \left\{ \omega_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/\alpha, m, z)} \right\}$ - набор весовых коэффициентов для соответствующего множества частных показателей $P_{y_c, k/y_c-1, k}^{(m, z/m, z)}$, характеризующих достижение соответствующей частной цели из дерева целей $q_{y_c-1, k}^{(m, z/m, z)}$;
- $P_{y_c, k/y_c-1}^{(m, z/m, z)}$ - множество частных показателей, характеризующих достижение подцели $q_{y_c-1}^{(m, z)}$ z -ым элементом, подсистемой $(y_c - 1)$ -го ранга $C_{y_c, k/y_c-1}^{(m, z/m, z)}$ из состава k -ой сгенерированной (допустимой по правилам согласования и продукциям грамматик МГ) модификации подсистемы СОИБ y_c -го ранга;
- $p_{y_c, k/y_c-1}^{(m, z/\alpha, m, z)}$ - α -ый частный показатель;
- $p_{y_c, k/y_c-1}^{(m, z/m, z)}$ - интегральный показатель, характеризующий степень достижения частной цели из дерева целей $(q_{y_c, k/y_c-1}^{(m, z/m, z)})$ k -ой модификацией z -го сертифицированного средства обеспечения ИБ подсистемы $(y_c - 1)$ -го ранга из состава k -ой сгенерированной по правилам МГ структуры подсистемы СОИБ y_c -го ранга.

В рамках общего интегрального МГАИ-подхода

данные иерархически структурированные и взаимосвязанные множества и наборы получаются при грамматическом разборе метаграмматик.

При этом, в рамках МГ возможно иерархически структурированное задание небольшого числа продукционных правил формирования (порождения) и анализа данных структур, структура правил взаимодействия при порождении элементов подсистем СОИБ определяются схемой МГ, а взаимосвязи алгоритмов (аналитических соотношений), необходимых для вычисления (оценки) значений рассмотренных выше множеств-атрибутными зависимостями МГ.

Это позволяет формировать и анализировать с помощью относительно небольшого числа структурированных продукций и правил согласования большое (в большинстве случаев - экспоненциально возрастающее) число вариантов структур, целей, критериев и факторов для различных структур СОИБ на уровне опытного эксперта.

При этом использование структурированной системы правил в виде МГ в рамках интегрированного МГАИ-подхода позволяет:

- порождать большое (экспоненциально возрастающее) множество структур иерархий СОИБ АСУ АЭС ММ, используемых при анализе по Саати;
- исключить пропуск, повторение (дублирование) структур иерархий СОИБ АСУ АЭС ММ;
- путем выдачи дерева разбора МГ решить проблему объяснения выбора вариантов СОИБ, что особенно важно для подобных систем ответственного применения;
- разработать в рамках интегрированного МГАИ-подхода систему новых методов генерации и анализа, сочетающих грамматический разбор МГ и полный или неполный (по подсистемам) анализ генерируемых иерархий;
- повысить эффективность генерации и анализа (выбора) за счет учета нечетких параметров (мер, атрибутов) в МГ при учете правил согласования распараллелить или конвейеризировать процедуры структурно-параметрического синтеза сложно-структурированных СОИБ АСУ АЭС ММ.

В качестве процедурной основы предложенного МГАИ-подхода предлагается использовать разработанные авторами и сотрудниками АО «НПО «Эшелон», АНО «Институт инженерной физики», Секции прикладных проблем при Президиуме РАН и АО «Консист-ОС» в рамках решения аналогичных задач методы и алгоритмы полного и неполного грамматического разбора (синтаксического анализа) метаграмматик, метод

анализа иерархий Саати и его модификации [4,6,7,8].

В частности, методы полного грамматического разбора могут быть использованы для генерации и анализа вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ, структурно-параметрический синтез которых осуществляется впервые.

Методы неполного грамматического разбора ориентированы на использование в случаях, когда генерация и анализ вариантов начинается с некоторого исходного (базового, типового) варианта СОИБ. Это обычно соответствует этапам структурной адаптации и модернизации при изменении условий применения СОИБ, применения модифицированных методов аналогий в рамках создания СОИБ АСУ АЭС ММ с референсной архитектурой.

Необходимо подчеркнуть, что в МГ могут быть заранее в явном виде заложены иерархически структурированные продукционные правила и правила согласования, задающие порядок последующей структурной адаптации СОИБ АСУ АЭС ММ под перспективные условия эксплуатации.

Использование в МГ стохастических и нечетких мер позволяет учесть вероятностные и нечеткие факторы в моделях СОИБ АСУ АЭС ММ и использовать их для выбора приоритетов в генерации вариантов, а также снижении на основе этого сложности методов генерации и анализа.

Использование атрибутивных МГ позволяет учесть параметры СОИБ АСУ АЭС ММ и их элементов, параметров целей, критериев, факторов для МАИ, при структурно-параметрическом синтезе на основе интегрального МГАИ-подхода, проводить грамматический разбор в соответствии с вычисленными значениями атрибутов (структурно-алгебраические методы синтеза)¹¹ [6].

11 – Атакищев О.И., Аджемов С.С., Емельянов С.Г. [и др]. Формальные грамматики, метаграмматики и грамматические структуры. Их применение при принятии управленческих решений. М., МТУСИ. 2010. 345с.

– Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Часть 1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. Учебник. МО СССР – 1990 г.

– Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Издательство физико-математической литературы. 2008 г.

– Кини Р.А., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. Перевод с англ. М.: Радио и связь. 1981 г.

– Сизов А.С., Стребков Д.А. Выбор гипотез в синтезируемых технических системах в условиях неопределенности // Телекоммуникации. 2002. № 12.

– Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Стребков Д.А., Заичко В.А. Нечеткая многоуровневая модификация метода анализа иерархий и способ определения оценок предпочтительности альтернативных вариантов создания сложных систем космического назначения в условиях повышения неопределенности внешней среды // Известия ЮЗГУ. 2012, № 5 (44). Ч. 2. С.50-60.

Использование предложенных в работах авторов графовых МГ (в том числе – КИ-графовых [4]) позволяет объединить графовый и продукционный подходы, проводить анализ вариантов с дополнительным использованием методов графодинамики, повысив за этот счет эффективность методов генерации вариантов СОИБ для конкретных прикладных задач создания СОИБ АСУ АЭС ММ.

В рамках предложенного интегрированного МГАИ-подхода МАИ Саати и его модификации [6,7,8,10] могут быть применены как на промежуточных шагах при генерации, анализе и выборе вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ для текущей («на проходе») проверки их соответствия выбранным целям, критериям, внешним и внутренним факторам. Также МАИ Саати может использоваться на ряде заключительных этапов МГАИ для конкурентного отбора лучшего из сгенерированных близких по параметрам допустимых (рациональных) вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ.

Выводы

Проведенное рассмотрение особенностей интегрированного МГАИ-подхода показал следующее.

1. Интеграция в рамках МГАИ-подхода преимуществ метаграмматического подхода и метода анализа иерархий Саати, позволяет повысить эффективность структурно-параметрического синтеза за счет учета структурированных в МГ правил генерации и анализа вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ, а также большинства из рассмотренных выше нечетких факторов.

2. Применение в рамках интегрированного МГАИ-подхода метаграмматических методов позволяет учесть существенно возросшую структурную сложность СОИБ АСУ АЭС ММ, явно отразить правила формирования, модернизации и анализа СОИБ, правила их структурно-параметрической адаптации к новым условиям эксплуатации, а также продукционные правила формирования сложных иерархий для МАИ Саати.

3. Применение в интегрированном МГАИ-подходе интеграции метаграмматических методов и процедур формирования сложноструктурированных иерархий, а также МАИ Саати, позволяет использовать при структурно-параметрическом синтезе нечетких мер и правил их атрибутивного расчета, что позволяет учесть неполноту задания перспективных условий эксплуатации (множества перспективных угроз ИБ и т.п.), а также повысить эффективности интеллектуализированных процедур генерации и анализа вариантов СОИБ АСУ АЭС ММ.

4. При создании систем безопасности других классов целесообразно рассмотреть вопросы интеграции предложенного подхода с методами, предложенными в работах ведущих ученых России в области информационной безопасности [11-15].

Литература

1. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики : Т. 2 / под ред. акад. РАН А. А. Саркисова. — М. : Академ-Принт, 2015. — 387 с. : ISBN 978-5-906324-04-7
2. Lindsay.M. Krall, Allison M. Macfarlane, Rodney C. Ewing Nuclear waste from small modular reactors // Edited by Eric J. Schelter, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA; received June 26, 2021; May 31, 2022. <https://doi.org/10.1073/pnas.211183311>
3. Анищенко, А.В. Сети Петри-Маркова и их применение для моделирования процессов реализации угроз безопасности информации в информационных системах: [монография]/ А.В. Анищенко, Ю. К. Язов. Воронеж: Кварта, 2020. 173 с.
4. Атакищев О.И. Коллегиальные метаграмматики для моделирования динамично изменяемых программ создания систем информационной безопасности / О.И. Атакищев, И.Л. Борисенков, В.Г. Грибунин, Я.Д. Смирнов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2020. – № 4(190). – С. 29-43.
5. Городецкий В.И., Юсупов Р.М. Искусственный интеллект: метафора, наука и информационная технология // Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. Т. 21. № 5. С. 282-293.
6. Смирнов Д.В., Атакищев О.И., Лысачев М.Н., Атакищев Э.И., Атакищев К.Э., Мовчан В.О. Особенности применения метаграмматик для моделирования сложноструктурированных процессов функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами атомных электростанций // Известия Института инженерной физики, 2022. №4 (66). С.72-78.
7. Кулакова А.О., Максимова Т.Г. Использование метода анализа иерархий для обоснования выбора сценария развития проекта // Инновации. 2019. — №2. С.42-48.
8. Умников Е.В., Атакищев О.И., Грачёв В.А. Применение метода анализа иерархий Саати для оценки эффективности системы защиты информации виртуального полигона// Известия Института инженерной физики, 2022. №1 (63). С.98-104.
9. Городецкий В.И., Юсупов Р.М. Искусственный интеллект – наука и информационная технология: настоящее и будущее // В сборнике: Материалы общих пленарных заседаний 13-й мультikonференции по проблемам управления. 13-я мультikonференция по проблемам управления, включающая пять конференций. Санкт-Петербург, 2020. С. 10-21.
10. Нефедов А.С., Шакиров В.А., Игнатъева С.М. Многокритериальный выбор структуры генерирующих мощностей локальных энергосистем на основе модифицированного метода анализа иерархий. — iPolytech. – 2022. – Т.26. — №3. – С.451-464.
11. Dorofeev, A. V. Conducting Cyber Exercises Based on the Information Security Threat Model / A. V. Dorofeev, A. S. Markov // CEUR Workshop Proceedings, Yalta, Crimea, 20–22 сентября 2021 года. – Yalta, Crimea, 2021. – P. 1-10.
12. Barabanov, A. On Systematics of the Information Security of Software Supply Chains / A. Barabanov, A. Markov, V. Tsirlor // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1294. – P. 115-129. – DOI 10.1007/978-3-030-63322-6_9.
13. Multi-objective Configuration of a Secured Distributed Cloud Data Storage / A.I. Avetisyan, L. E. García-Hernández, A. Tchernykh, V. Miranda-López [et al.] // Communications in Computer and Information Science. – 2020. – Vol. 1087. – P. 78-93. – DOI 10.1007/978-3-030-41005-6_6.
14. Kostogryzov, A. I. Analysis of the impact of information security on the performance of decision management process / A. I. Kostogryzov // CEUR Workshop Proceedings : BIT 2021 – Selected Papers of 11th International Scientific and Technical Conference on Secure Information Technologies, Moscow, 06–07 апреля 2021 года. Vol. 3035. – Moscow: CEUR, 2021. – P. 66-75.
15. Probability, Combinatorics and Control / N. A. Makhutov, M. M. Gadenin, D. O. Reznikov [et al.]. – London : InTech, 2020. – 322 p.

METAGRAMMATIC APPROACH TO THE ANALYSIS OF HIERARCHIES FOR SYNTHESIS OF SECURITY SYSTEMS NUCLEAR POWER PLANTS

Atakishchev O.I.¹², Gribunin V.G.¹³, Borisenkov I.L.¹⁴, Lysachev M.N.¹⁵

-
- 12 Oleg I. Atakishchev, Dr.Sc. (of Tech.), Professor, Honorary Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation, Deputy Director General for Special Projects of the Institute of Engineering Physics, Serpukhov, Moscow region, Russia. E-mail: aoi007@mail.ru
 - 13 Vadim G. Gribunin, Dr.Sc. (of Tech.), Associate Professor, Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Chief Scientific Officer ANO "Institute of Engineering Physics", Serpukhov, Moscow region, Russia. E-mail: vgribunin@gmail.com
 - 14 Igor L. Borisenkov, Ph.D. (of Tech.), Associate Professor, Deputy Chairman of the Applied Problems Section at the Presidium of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Russia. E-mail: aoi0007@gmail.com
 - 15 Mikhail N. Lysachev, General Director of JSC "Consyst-OS", Moscow, Russia. E-mail: info@consist-os.ru

The purpose of the work is to analyze the features of the application of the integrated metagrammar approach of hierarchy analysis to solve the problem of structural-parametric synthesis of information security systems of automated control systems of low-power nuclear power plants.

Research method: in order to achieve the goal of the work, the metagrammar approach of hierarchy analysis was used, which is an integration of the metagrammar approach and the Saati hierarchy analysis method.

The result of the research: the metagrammar approach of hierarchy analysis is presented in the paper, the features of its application to solve the problem of structural-parametric synthesis of information security systems of automated control systems of low-power nuclear power plants are considered in detail.

The scientific novelty lies in the development and analysis of the scientific and applied features of a new integrated metagrammar approach to hierarchy analysis, which allows the synthesis of complex structured information security systems in conditions of partial uncertainty.

Keywords: information security, information security systems, Saati method, structural-parametric synthesis, low power nuclear power plant.

References

1. Atomnye stancii maloj moshhnosti: novoe napravlenie razvitiya jenergetiki : T. 2 /pod red. akad. RAN A. A. Sarkisova. — M. : Akadem-Print, 2015. — 387 s. : ISBN 978-5-906324-04-7
2. Lindsay.M. Krall, Allison M. Macfarlane, Rodney C. Ewing Nuclear waste from small modular reactors / Edited by Eric J. Schelter, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA; received June 26, 2021; May 31, 2022. <https://doi.org/10.1073/pnas.211183311>
3. Anishhenko, A.V. Seti Petri-Markova i ih primeneniye dlja modelirovaniya processov realizacii ugroz bezopasnosti informacii v informacionnyh sistemah: [monografija]/ A.V. Anishhenko, Ju. K. Jazov. Voronezh: Kvarta, 2020. 173 s.
4. Atakishhev O.I. Kollegial'nye metagrammatiki dlja modelirovaniya dinamichno izmenjaemyh programm sozdaniya sistem informacionnoj bezopasnosti / O.I. Atakishhev, I.L. Borisenkov, V.G. Gribunin, Ja.D. Smirnov // Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij. — 2020. — № 4(190). — S. 29-43.
5. Gorodeckij V.I., Jusupov R.M. Iskusstvennyj intellekt: metafora, nauka i informacionnaja tehnologija // Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie. 2020. T. 21. № 5. S. 282-293.
6. Smirnov D.V., Atakishhev O.I., Lysachev M.N., Atakishhev E.I., Atakishhev K.E., Movchan V.O. Osobenosti primeneniya metagrammatik dlja modelirovaniya sloznostrukturirovannyh protsessov funkcionirovaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya tehnologicheskimi protsessami atomnykh electrostanciy // Izvestiya insituta injenernoy fiziki, 2022. №4 (66). C.72-78.
7. Kulakova A.O., Maksimova T.G. Ispolzovaniye metoda analiza ierarhiy dlja obosnovaniya vybora stzenariya razvitiya proyekta / Инновации. 2019. — №2
8. Umnikov E.V., Atakishhev O.I., Grachev V.A. Primeneniye metoda analiza ierarhiy Saati dlja otzhenki effektivnosti systemy zaschity informacii virtualnogo poligona // Izvestiya insituta injenernoy fiziki, 2022. №1 (63). C.98-104.
9. Gorodeckij V.I., Jusupov R.M. Iskusstvennyj intellekt – nauka i informacionnaja tehnologija: nastojashhee i budushhee // V sbornike: Materialy obshhih plenarnyh zasedanij 13-j mul'tikonferencii po problemam upravleniya. 13-ja mul'tikonferencija po problemam upravleniya, vkljuchajushhaja pjat' konferencij. Sankt-Peterburg, 2020. S. 10-21.
10. Nefedov A.S., Shakirov V.A., Ignatyeva S.M. Mnogokriterialnyi vybor struktury generiruyushih moshnostey lokalnyh energosystem na osnove modifitsirovannogo metoda analiza ierarhiy. — iPolytech. — 2022. — T.26. — №3. — C.451-464.
11. Dorofeev, A. V. Conducting Cyber Exercises Based on the Information Security Threat Model / A. V. Dorofeev, A. S. Markov // CEUR Workshop Proceedings, Yalta, Crimea, 20–22 сентября 2021 года. — Yalta, Crimea, 2021. — P. 1-10.
12. Barabanov, A. On Systematics of the Information Security of Software Supply Chains / A. Barabanov, A. Markov, V. Tsirllov // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 1294. — P. 115-129. — DOI 10.1007/978-3-030-63322-6_9.
13. Multi-objective Configuration of a Secured Distributed Cloud Data Storage / A.I. Avetisyan, L. E. García-Hernández, A. Tchernykh, V. Miranda-López [et al.] // Communications in Computer and Information Science. — 2020. — Vol. 1087. — P. 78-93. — DOI 10.1007/978-3-030-41005-6_6.
14. Kostogryzov, A. I. Analysis of the impact of information security on the performance of decision management process / A. I. Kostogryzov // CEUR Workshop Proceedings : BIT 2021 — Selected Papers of 11th International Scientific and Technical Conference on Secure Information Technologies, Moscow, 06–07 апреля 2021 года. Vol. 3035. — Moscow: CEUR, 2021. — P. 66-75.
15. Probability, Combinatorics and Control / N. A. Makhutov, M. M. Gadenin, D. O. Reznikov [et al.]. — London : InTech, 2020. — 322 p.

