

управляемости информационными ресурсами остается открытым множество концептуальных проблем, связанных с управлением их структурной динамикой при различных сценариях деградации перечисленных систем, проблем комплексного оценивания и прогнозирования рисков возникновения нештатных и критических ситуаций, рисков выбора и реализации соответствующих управленческих решений и т. п. [1].

Учет этих и целого ряда других специфических особенностей процессов управления сложными техническими объектами в чрезвычайных и катастрофических ситуациях требует разработки *принципиально новых моделей, методов и алгоритмов многокритериального оценивания, анализа и выбора структур КАИС для повышения оперативности, обоснованности и устойчивости управления реконфигурацией указанных систем.*

### Проблемы моделирования управляемой реконфигурации КАИС

В ходе моделирования управляемой реконфигурации КАИС будем учитывать следующие *предположения.*

Анализ структурной динамики КАИС показывает, что, как правило, *структуры КАИС не изменяются непрерывно, а являются постоянными на некоторых временных интервалах (первое предположение).* В дальнейшем будем предполагать, что заданный интервал времени  $T = (t_0, t_f]$ , на котором проводится УСД КАИС, можно разбить на некоторое число  $L$  подынтервалов  $T = \{(t_0, t_1], (t_1, t_2], \dots, (t_{k-1}, t_k], \dots, (t_{L-1}, t_L = t_f)\}$  постоянства структуры КАИС. В каждом подынтервале  $T_k = (t_{k-1}, t_k]$  КАИС находится в неизменном состоянии  $S_{v_k} \in S$ .

Необходимо отметить, что решение задачи УСД КАИС (в частности, управления реконфигурацией КАИС) даже с учетом указанного предположения представляет собой исключительно сложную проблему. Вместе с тем следует подчеркнуть, что создание управляемой реконфигурации КАИС ведется из предположения (**второе предположение**), что катастрофа в отличие от отказа (события возможного, прогнозируемого, вероятного) – это событие возможное, но невероятное, либо вероятность которого мала и не может быть обоснованно оценена в процессе проектирования.

Природа неопределённости возмущающих факторов может носить стохастическую и не стохастическую природу. Наиболее перспективным путём учёта факторов неопределённости (возмущающих факторов) в моделях управляемой реконфигурации КАИС является путь, в котором комплексно используются все адекватные способы и формы представления данных факторов. При этом комплексное исследование возможностей по управлению реконфигурацией КАИС включает в себя как оценивание функционирования КАИС в нормальных режимах, так и оценивание возможного поведения системы в экстремальных ситуациях, приводящих к катастрофическим последствиям.

В этом случае исследование управляемой реконфигурации КАИС должно включать в себя следующие направления [1–7]: выявление всех возможных вариантов сценариев изменения внешней обстановки, в которых может применяться КАИС, включая экстремальные ситуации и воздействия, могущие вызвать катастрофические последствия, связанные с этими ситуациями; анализ поведения КАИС в обычных условиях функционирования на основе априорной вероятностной информации (если такая имеется); проведение имитационного моделирования, обработки экспертной информации с использованием теории субъективной информации и теории нечётких множеств и мер, теории возможностей; формирование гибких способов применения функциональных элементов (ФЭ) и подсистем КАИС на временных интервалах структурного постоянства для решения задач приёма поступающей информации, хранения, обработки и передачи полученной информации, формирования управляющих воздействий; планирование и управление системой объектов обслуживания, других ФЭ; нахождение гаранти-

рованных оценок результатов функционирования КАИС для всех основных экстремальных ситуаций; нахождение обобщённых (интегральных) оценок эффективности управления реконfigurацией КАИС.

Особенность постановки задачи управления реконfigurацией КАИС в первую очередь связана с тем, что *совокупность частных показателей*  $F(S_v) = (F_1(S_v), F_2(S_v), \dots, F_H(S_v))$ , характеризующих различные свойства КАИС, может быть *декомпозирована на две группы показателей (третье предположение)*:

- структурно-топологические показатели;
- структурно-функциональные показатели.

Следует отметить, что многокритериальная неопределенность рассматриваемой задачи реконfigurации КАИС обуславливает необходимость использования соответствующих методов решения задач многокритериального выбора. Основу таких методов составляет доопределение (уточнение) задачи путем привлечения дополнительной качественной и количественной информации о свойствах критериальных функций, об альтернативах, о принципах оптимальности и т.п., что позволит построить результирующее отношение предпочтения (интегральный показатель информационно-технологических возможностей КАИС).

Помимо указанных особенностей при исследовании структурной динамики КАИС (в частности, реконfigurации КАИС) важным и неотъемлемым условием изучения возможностей КАИС является проведение анализа и оценивания архитектуры структурных состояний КАИС. Один из возможных подходов к изучению структурных состояний КАИС – таксономия структур, базирующаяся на таких понятиях, как «*однородность–неоднородность*», «*равноценность–неравноценность*», «*монотонность–немонотонность*». При данном подходе можно считать, что информационная система (ИС) однородна, если все включенные в нее ФЭ идентичны, и неоднородна при неидентичности ФЭ. Другим критерием оценки архитектуры ИС может быть равноценность и неравноценность структурного построения. Так архитектура ИС равноценна, если потеря одного из ФЭ ИС равнозначна потере любого другого. И наоборот, архитектура ИС неравноценна, если отдельные ФЭ имеют большую ценность по отношению к другим ФЭ. Для изучения этого свойства КАИС требуется исследовать критичность входящих в ее состав ФЭ.

Кроме того, структурные модели функционирования большинства ИС корректно описываются блок-схемами, деревьями отказов и событий, графами связности, многоуровневыми сетями и т.п. Однако данные структурные модели ИС могут описывать функционирование только монотонных систем. В монотонных моделях невозможно учитывать логически сложные и противоречивые связи и отношения между ФЭ, например, которые в одних структурных состояниях системы увеличивают, а в других – уменьшают показатель эффективности ее функционирования. Также монотонные модели не представляют системы, в которых одновременно функционируют элементы, часть из которых обеспечивает увеличение, например, надежности или безопасности, а другая часть является причиной возникновения отказов или аварий, т.е. оказывает противоположное, вредное влияние на безопасность системы в целом.

Приведенные особенности требуют разработки методологических основ исследования однородных и неоднородных, монотонных и немонотонных, равноценных и неравноценных КАИС.

Кроме указанных проблем, при решении задачи управления реконfigurацией КАИС, даже в условиях введенных предположений, возникают частные проблемы, вызванные следующими обстоятельствами.

**Во-первых**, неизвестна последовательность измененных состояний КАИС  $S_0 \rightarrow S_{v_1} \rightarrow \dots \rightarrow S_{v_L}$ , вызванных деструктивными воздействиями различной природы.

**Во-вторых**, заранее неизвестно множество промежуточных состояний  $\{S_{v_k}\} \subseteq S$ , входящих в указанную последовательность в реальных условиях.

И, **наконец**, неизвестна длительность интервалов постоянства структур КАИС.

### **Предлагаемый подход к решению задачи управления реконfigurацией КАИС**

Для преодоления создавшихся трудностей предлагается применить агрегативно-декомпозиционный подход к решению задачи управления реконfigurацией КАИС, включающий в себя следующие *этапы*.

**Этап 1.** Разработка методологических основ исследования монотонных и немонотонных, однородных и неоднородных КАИС на основе концепции генома структурного построения объектов, логико-вероятностного и нечетко-возможностного подходов, а также разработка способов представления, анализа топологических свойств и оценивания структурных состояний КАИС с использованием концепции генома структуры системы [5, 7].

**Этап 2.** С учетом результатов этапа 1 и специфических особенностей задачи формирования управляющих воздействий реконfigurации КАИС реализуются следующие шаги:

**Шаг 1.** Многокритериальный анализ и определение критичных ФЭ КАИС, отказ которых приводит к изменению структурного состояния системы [3].

**Шаг 2.** Построение оптимистических и пессимистических сценариев (траекторий) структурной динамики КАИС  $S^{Сцен}$ , вызванных отказами критичных ФЭ [4, 7].

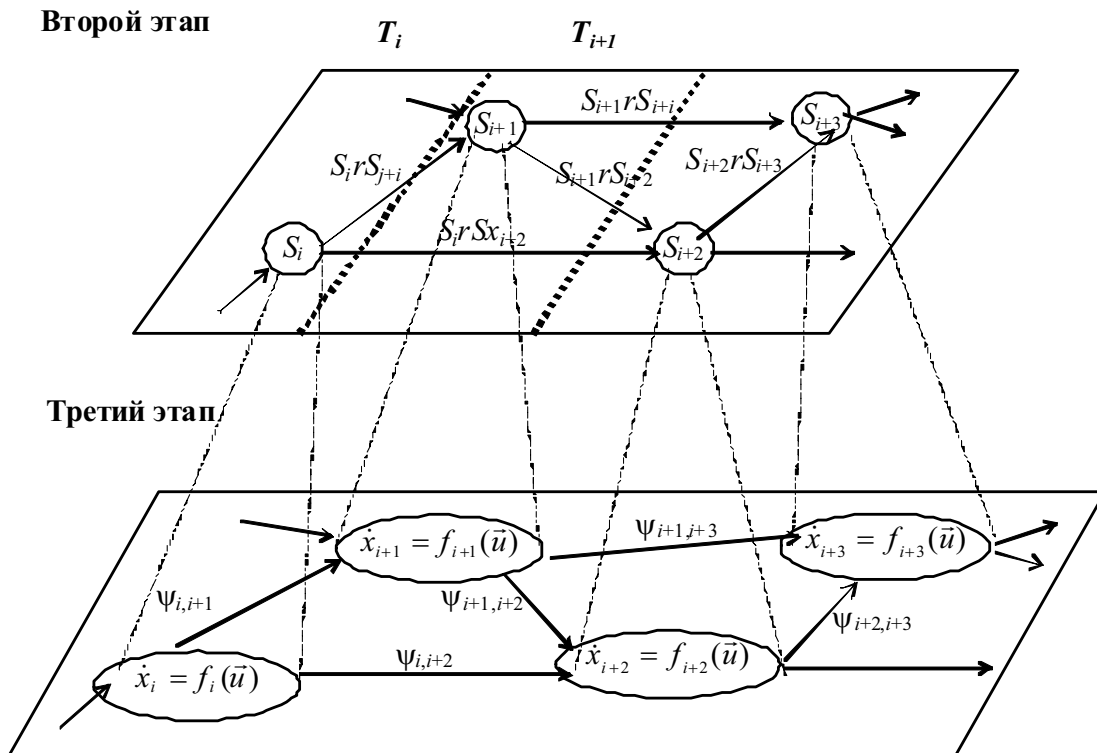
**Шаг 3.** На множестве  $S^{Сцен}$  построение с использованием набора структурно-топологических и структурно-функциональных показателей КАИС классов (кластеров) эквивалентных траекторий структурной динамики КАИС. Внутри каждого кластера эквивалентных траекторий структурной динамики осуществляется поиск типовой (эталонной) траектории КАИС. Формируется множество эталонных траекторий структурной динамики КАИС  $S^{Эталон} \subseteq S^{Сцен}$  [7].

*Проведение первого и второго этапов нацелено на учет особенностей функционирования КАИС и преодоление первых двух указанных частных проблем, связанных с решением задачи реконfigurации КАИС.*

**Этап 3.** На этом этапе для оптимистических и пессимистических эталонных сценариев структурной динамики КАИС решается задача разработки планов управляемой реконfigurации функционирования КАИС с использованием адаптивных моделей планирования операций обработки, приема–передачи и хранения информации для каждого участка структурного постоянства КАИС [6].

**Этап 4.** Аналитико-имитационное моделирование условий реализации планов реконfigurации КАИС с целью выявления эмерджентных свойств КАИС, не учтенных предлагаемой неформальной декомпозицией и агрегированием структурно-сложной системы. Специфические особенности использования имитационных моделей рассматриваемой задачи в первую очередь будут связаны со свойством монотонности КАИС. Для монотонных ИС в качестве имитируемых факторов реализации разработанных планов управляемой реконfigurации станут временные интервалы постоянства структурных состояний системы. В случае немонотонности ИС помимо указанных характеристик моделируемых процессов при многократных воспроизведениях следует учитывать случайные внешние воздействия на параметры, описывающие операции обработки, приема–передачи и хранения информации.

Графическая иллюстрация предлагаемого агрегативно-декомпозиционного подхода приведена на рисунке.



Графическая иллюстрация подхода

В результате проведения третьего и четвертого этапов предложенного подхода осуществляется преодоление приведенных (второй и третьей) частных проблем при решении задачи реконфигурации КАИС.

Как показывает проведённый анализ, задачи первого, второго и третьего этапов также являются достаточно сложными, но для рассматриваемой прикладной области принципиально разрешимыми.

### Выводы

Сформулированы и обоснованы общие и частные требования, предъявляемые к разработке новых моделей, методов и алгоритмов многокритериального оценивания, анализа и выбора структур КАИС для повышения оперативности, обоснованности и устойчивости управляемой реконфигурации указанных систем. Анализ данных требований позволил сформулировать основные направления исследования управляемой реконфигурации КАИС, выработать этапы агрегативно-декомпозиционного подхода к решению задачи управления реконфигурацией КАИС.

### Литература

1. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
2. Верзилин Д. Н., Охтилев М. Ю., Павлов А. Н., Соколов Б. В. Методологические и методические основы создания и применения катастрофоустойчивых информационных систем // Вторая Международная конференция «Системный анализ и инфор-

- мационные технологии» (САИТ-2007), г. Обнинск, 10–14 сентября, 2007: Труды конференции. Т. 2. С. 245–246.
3. **Зеленцов В. А., Павлов А. Н.** Многокритериальный анализ влияния отдельных элементов на работоспособность сложной системы // Информационно-управляющие системы. 2010, №6 (49), С. 7–12.
  4. **Осипенко С. А., Павлов А. Н., Соколов Б. В.** Динамическая реконфигурация информационных систем специального назначения // Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения. Материалы научной конференции в честь 20-летия ФГУП «Концерн “Системпром”». М.: ФГУП «Концерн “Системпром”», 2011. С. 43–44.
  5. **Осипенко С. А., Павлов А. Н.** Исследование безопасности сложных технических объектов // Известия вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. №1 1. С. 27–31.
  6. **Павлов А. Н.** Постановка и анализ возможных путей решения задачи реконфигурации катастрофоустойчивой информационной системы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. Т. 9. № 4. С. 15–21.
  7. **Павлов А. Н., Соколов Б. В.** Структурный анализ катастрофоустойчивой информационной системы // Труды СПИИРАН. Вып. № 8. СПб.: СПИИРАН, 2009. С. 128–151.