

УДК 623.09

В.А. ФРОЛОВ, кандидат
социологических наук

В.Г. СОСУНОВ, кандидат
технических наук

И.В. ЛОГИНОВ, кандидат
технических наук

К ВОПРОСУ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕКОНФИГУРАЦИЕЙ АДАПТИВНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВВСТ

В статье предложен подход к обоснованию интеллектуальных механизмов поддержки принятия решений при управлении реконфигурацией адаптивных многокомпонентными ВВСТ, обеспечивающий их эффективное долговременное развитие в условиях неопределенности. Применение интеллектуальных методов поддержки принятия решений предоставляет возможность повысить обоснованность выбора эффективных альтернатив планов и программ развития систем ВВСТ за счет снижения неопределенности исходных данных о их состоянии.

Ключевые слова: поддержка принятия решений; адаптивные системы; интеллектуальные методы; многокомпонентные ВВСТ; сопровождение жизненного цикла.

Введение

Развитие и техническое совершенствование образцов ВВСТ привело к существенному увеличению их структурной и функциональной сложности – формированию многокомпонентных систем ВВСТ [1]. Примерами таких многокомпонентных систем являются автоматизированные системы управления, комплексные системы безопасности, распределенные ситуационные центры, облачные системы хранения и обработки данных, телекоммуникационные системы. Они могут включать в себя десятки подсистем с сотнями разнородных компонентов, находящихся к тому же на разных стадиях жизненного цикла. Широкое внедрение инфокоммуникационных технологий позволяет говорить о наличии класса таких систем ВВСТ – адаптивных многокомпонентных систем ВВСТ (далее систем ВВСТ), организованных по принципу распределенных инфокоммуникационных сред.

Для таких систем ВВСТ характерно то, что с течением времени состав и структура, перечень выполняемых ими функций перестает удовлетворять

предъявляемым требованиям [2]. Таким образом, пригодность систем ВВСТ к выполнению задач по назначению с течением времени уменьшается. Решение данной проблемы достигается управляемой целенаправленной реконфигурацией, то есть изменением состава, структуры и функций систем ВВСТ путем их модернизации и структурно-параметрической оптимизации. Применение адаптивных способов организации систем ВВСТ позволяет обеспечить большую широту применения, однако скорость изменения обстановки требует применения дополнительных компенсирующих мер.

Примером систем ВВСТ рассматриваемого класса является интегрированная система безопасности (ИСБ) военных и государственных объектов, включающая более 70 подсистем, в которой одновременно могут идти процессы модернизации и структурной перестройки по 10-15 направлениям. Для их развития и совершенствования планируется параллельное с эксплуатацией выполнение НИОКР по всем функциональным компонентам систем ВВСТ.

1. Тенденции изменения характера реконфигурации сложных систем

В настоящее время ускорение научно-технического прогресса и увеличение структурной сложности ВВСТ рассматриваемого класса приводит к тому, что характер их реконфигурации существенно изменяется. Современные тенденции развития адаптивных систем ВВСТ характеризуются:

- снижением длительности времени активного использования образцов в процессах жизненного цикла (и соответственно увеличением частоты модернизации) в среднем с 10-15 лет до 3-5 лет;
- увеличением структурной и функциональной сложности системы, количества компонентов в ее составе с 5-10 функций до 20-40 (и более);
- увеличением уровня глубины автоматизации и количества альтернатив ее реализации, которое приводит к повышению неопределенности требований и соответственно к снижению обоснованности технико-экономических эффектов на порядок;
- увеличением динамики изменения внешних условий в 2-5 раз по сравнению с периодом двадцатилетней давности, что непосредственно требует увеличения доли НИОКР в жизненном цикле систем ВВСТ.

Основные показатели систем ВВСТ (коэффициент готовности, коэффициент сохранения технической эффективности, пропускная

способность) в современных условиях изменяют свое поведение в сторону большей интенсивности деградации (с учетом соответствия реальным ситуациям применения) [2-4]. Вероятность достижения цели операции в терминах [2] также снижается. Такое поведение базовых показателей эффективности проиллюстрируем на модели типовой многокомпонентной системы.

Реконфигурируемая система ВВСТ включает в свой состав несколько образцов ВВСТ (функциональных компонентов): $S = \{s_i, \dots, s_n\}$ [5]. Из-за изменения условий применения (например, технологических процессов объекта) пригодность образца ВВСТ s_i уменьшается (рисунок 1). При обнаружении падения пригодности выше критической $k_i < k^{\text{крит}}$ выполняется восстановление уровня пригодности $k_i = k^{\text{восст}}$ за время $t_{\text{восст}}$ путем мероприятий реконфигурации (модернизации).

Коэффициент готовности системы ВВСТ S может быть определен с некоторыми допущениями как средневзвешенное значение коэффициентов готовности компонентов: $K = \sum_{i=1}^n a_i \frac{k^{\text{восст}} + k^{\text{мин}}}{2}$, где $k^{\text{мин}}$ – минимальный уровень, до которого снижается пригодность образца ВВСТ за время обнаружения падения пригодности ниже критической $t_{\text{об}}$ и время нахождения в очереди на модернизацию.

Значение влияния современных тенденций развития систем ВВСТ поясняется рисунками 2-5. На рисунках обозначено: n – количество типов ВВСТ в системе; ε – уровень неопределенности требований; α – коэффициент важности образца ВВСТ в системе; μ – интенсивность модернизации компонентов системы ВВСТ.

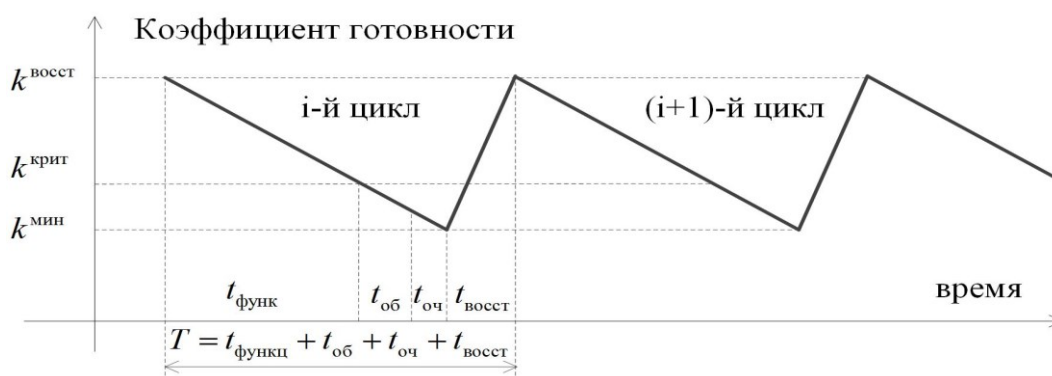


Рисунок 1 – Изменения коэффициента готовности образца ВВСТ во времени

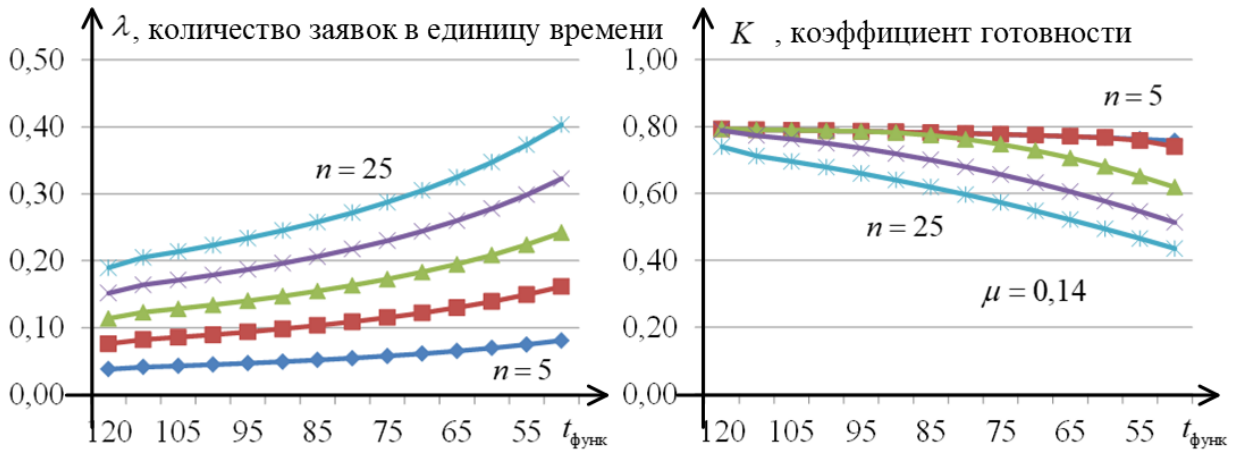


Рисунок 2 – Влияние эффекта снижения времени активного использования образцов ВВСТ

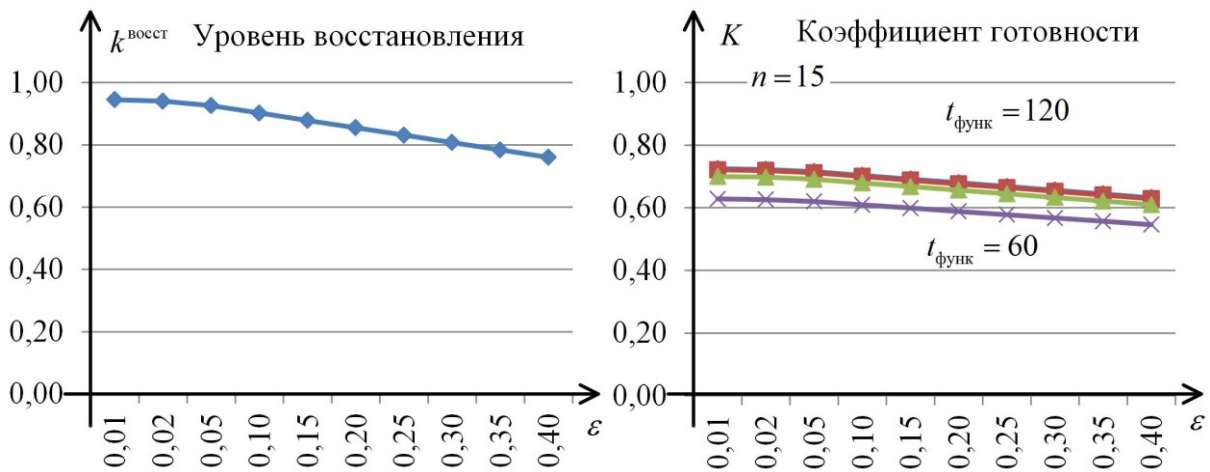


Рисунок 3 – Влияние эффекта повышения неопределенности требований к новым образцам ВВСТ

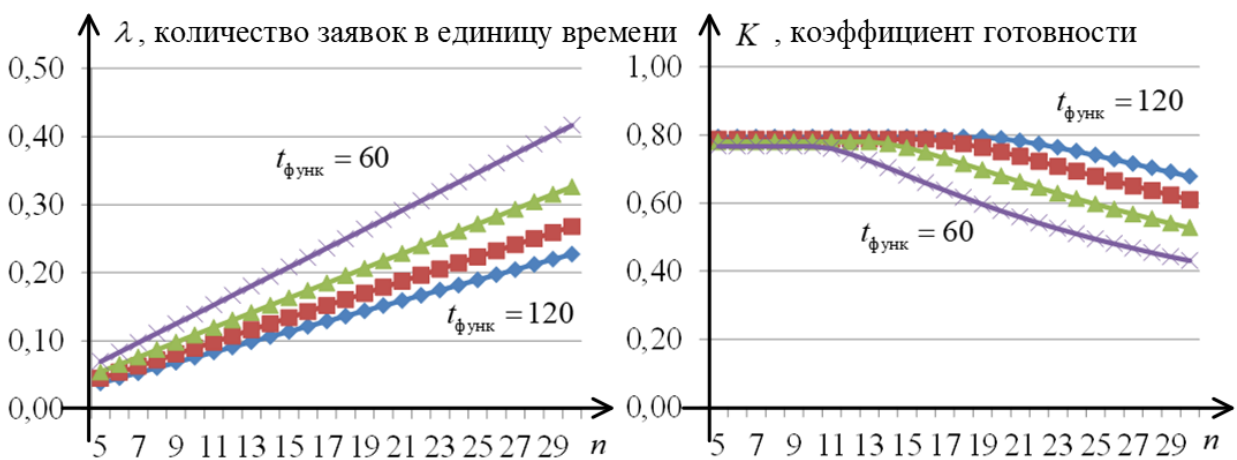


Рисунок 4 – Влияние эффекта увеличения структурной и функциональной сложности образцов ВВСТ

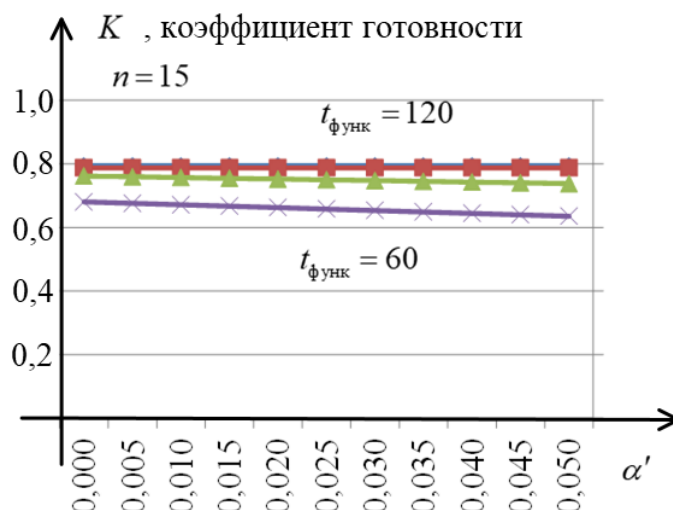


Рисунок 5 – Влияние эффекта увеличения динамики изменения внешних условий (увеличивает интенсивность изменения коэффициентов важности)

Складывающаяся ситуация приводит к следующим последствиям в области реконфигурации адаптивных систем ВВСТ – эффектам:

- увеличение длительности времени обнаружения необходимости факта реконфигурации;
- увеличение интенсивности поступления заявок на модернизацию;
- снижение уровня эффекта от реконфигурации.

Выявленные эффекты усиливаются в следующих типовых условиях применения систем ВВСТ:

- ограниченных возможностей по управлению модернизацией образцов ВВСТ из-за различных отношений принадлежности и подчиненности (взаимодействующие образцы ВВСТ в рамках адаптивной многокомпонентной системы эксплуатируются в общем случае разными подразделениями);
- разнородности применяемых компонентов (большая номенклатура технических и программных средств);
- неопределенности изменения внешних условий (источники и моменты времени поступления заявок на модернизацию не определены);
- отсутствия типовых проектных решений (из-за новизны объектов);
- значимости рисков реализации проектов модернизации и создания новых компонентов (высокая вероятность не получить необходимого решения проблемы по техническим, организационным и ресурсным ограничениям).

Пример: внедрение дополнительных подсистем в ИСБ военных объектов (контроля жизнедеятельности, видеоаналитики, отслеживания местоположения) приводит к линейному росту потребности в ресурсах администрирования и технического обслуживания, что наряду с уменьшением сроков службы новых систем требует выделенных подразделений по техническому сопровождению ИСБ (анализ, проектирование, закупки, интеграция).

Такая ситуация приводит в условиях применения существующих подходов к управлению реконфигурацией:

– к резкому снижению пригодности систем (коэффициента готовности, эффективной пропускной способности, показателя сохранения технической эффективности, коэффициента безопасности, вероятности достижения цели);

– либо к безграничному росту потребностей в ресурсах на реконфигурацию (сопровождение жизненного цикла).

При этом развитие сферы поддержки жизненного цикла многокомпонентных ВВСТ (снижение сроков проектирования, разработки, внедрения, ресурсоемкости, трудоемкости) не компенсируют снижения пригодности.

Механизмы долговременного управления развитием систем ВВСТ в условиях неопределенности описаны в работах Ю.В. Анищенко, В.И. Бабенкова, А.И. Буравлева, С.Ф. Викулова, В.Л. Гладышевского, И.Б. Гусевой, П.И. Далекиной, Б.И. Доценко, И.Е. Казакова, К.В. Ковырина, М.Н. Козина, А.В. Колесника, В.Н. Кузьмина, Г.А. Лавринова, О.П. Скоробогатова, Э.В. Коровина, А.В. Чарушникова и др.

Среди подходов к управлению системной динамикой в части реконфигурации следует отметить следующие направления: разработка методов управления самими процессами реконфигурации [6]; разработка методов управления структурной динамикой [7]; совершенствование моделей проектирования реконфигурируемых систем¹.

Непрерывное изменение состава и структуры систем ВВСТ наблюдается в условиях длительных процедур согласования противоречивых нечетких требований к инфокоммуникационным функциям. Известный аппарат принятия решений при реконфигурации позволяет решать задачу выбора нового пригодного состояния адаптивной технической системы в условиях неопределенности только на стадии внешнего

¹ Ковалев С.П. Теоретико-категориальные модели проектирования больших информационно-управляющих систем: дисс... докт. физ.-мат. наук. М., 2013.

проектирования, а задачу анализа эффективности – только после формирования новой системы требований. В общем случае это приводит к снижению обоснованности принимаемых решений (выбираемых альтернатив) на реконфигурацию технической системы ВВСТ, а соответственно, и готовности систем к решению задач по назначению. Таким образом, можно отметить, что известный научный аппарат не обеспечивает должного учета условий неопределенности реконфигурации в условиях ограниченных ресурсов. Это обосновывает необходимость решения проблемы выбора альтернатив планов реконфигураций технических систем в условиях неопределенности воздействия внешних факторов и нечеткости описания требований к их возможностям.

2. Управление реконфигурацией многокомпонентных систем

Нелинейность взаимосвязи между управляющими воздействиями по реконфигурации систем ВВСТ (например, ИСБ военных объектов) и изменением ее потенциальных возможностей по целевому применению обуславливают ее отнесение к классу сложных организационно-технических систем. В общем случае [8] для управления реконфигурацией многокомпонентных систем может быть использована модель, представленная на рисунке 6. Модель рассмотрена на примере объектовой ИСБ [9]. В процессе управления реконфигурацией IPS_i на i -м цикле (при изменении внешних условий, системы угроз, защищаемого объекта) система управления MS_i выполняет мониторинг состояния ИСБ, а также окружающей среды с использованием методов мониторинга и диагностики ms_i^m . По результатам мониторинга строится оперативная диагностическая модель \hat{S}_i . В рамках модели на основе анализа изменений внешней среды модифицируется система требований к ИСБ $sv^{mp}(y, z, t)$.

По результатам оценки состояния ИСБ (на основе \hat{S}_i) система управления MS_i выполняет анализ сценариев развития с учетом реконфигурации. При этом формируется множество альтернатив $A_i = \{A_{ij}\}$ реконфигурации. Оценка динамики развития и эффектов модернизации ИСБ реализуется с использованием модели оценки эффективности \hat{S}_i методами поддержки принятия решений ms_i^{pl} . Результатом их применения является упорядоченный набор альтернатив $A_i = \{A_{ij}\}$ по целевому критерию. Далее разрабатывается набор управляющих воздействий по переводу ИСБ в новое состояние IPS_{i+1} .

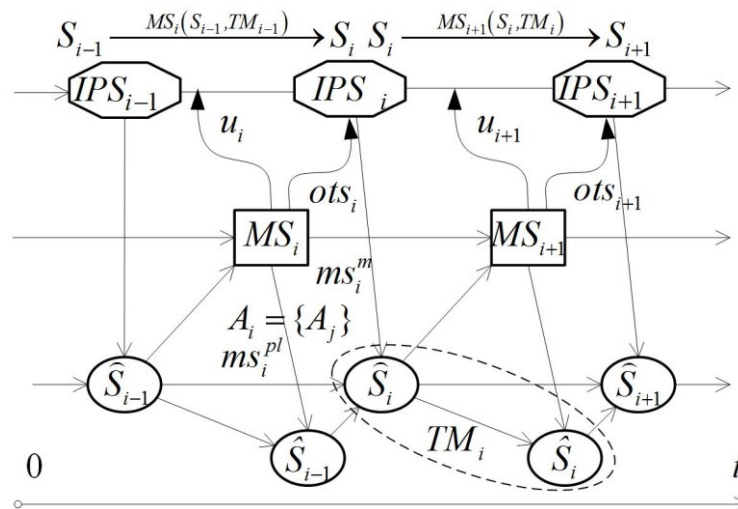


Рисунок 6 – Модель управления процессом реконфигурации многокомпонентной системой ВВСТ

Управляющие воздействия u_i трансформируют как технический u_{sm} , так и организационно-технический ots компоненты систем ВВСТ [10].

В качестве управления реконфигурацией может рассматриваться детерминированная стратегия управления g . Она задается выражением $g: MS \rightarrow U$, определяющей управление $u(y) \subseteq U$ в условиях, когда внешние воздействия на ИСБ находятся в состоянии $y \in Y$. В результате формируются управления двух типов (рисунок 7):

– параметрическое управление реконфигурацией, которое реализует минимизацию отклонения функционирования системы ВВСТ от установленных требований по противодействию угрозам в соответствии с динамикой изменения внешних условий:

$$u(y, z, t) = \underset{y \in Y}{\operatorname{argmin}} \int_{t_1}^{t_2} \Phi (sv^{mp}(y, z, t), sv(ms, t)); R \leq R^{\text{доп}}, \quad (1)$$

где Φ – решающее правило оценивания эффекта противодействия угрозам защищаемому объекту; $sv^{mp}(y, z, t)$ – динамическая система требований.

– структурно-функциональное управление (соответствием возможностей по противодействию опасных ситуаций) ots , которое минимизирует отклонения реальных показателей пригодности от установленных требований на некоторый промежуток времени:

$$ots(y, z, t) = \underset{y \in Y}{\operatorname{argmin}} \int_{t_1}^{t_2} \Phi_{ots} (sv^{mp}(y, z), sv(ms, t)); R \leq R^{\text{доп}}. \quad (2)$$

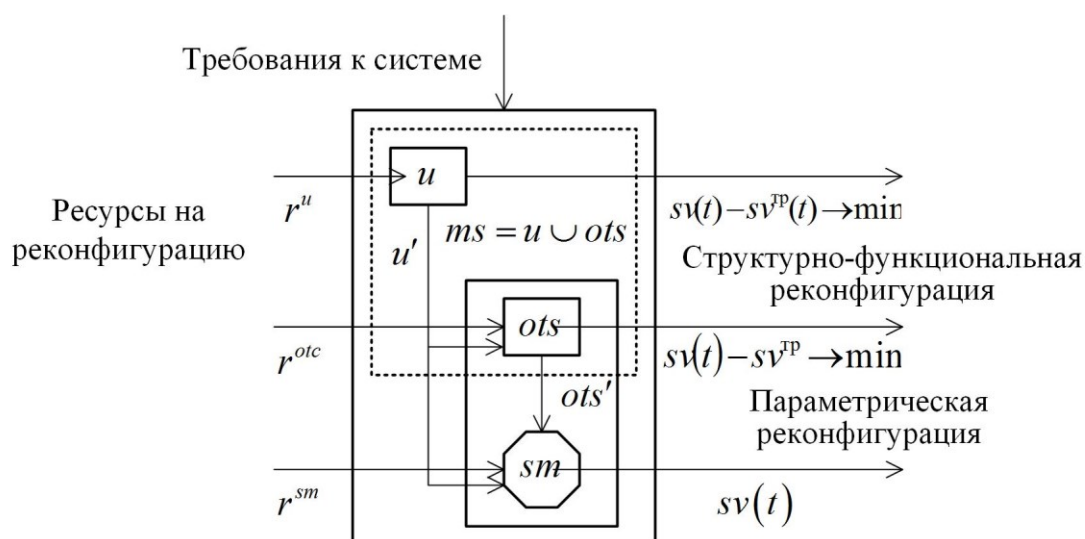


Рисунок 7 – Уровни управления процессом реконфигурации ВВСТ

3. Комплексный подход к принятию решений на реконфигурацию в условиях неопределенности

Для решения проблемы реконфигурации систем ВВСТ предлагается комплексный подход к принятию решений на реконфигурацию в условиях неопределенности на основе интегрального критерия принятия решения на реконфигурации, объединяющего критерий выбора момента реконфигурации на основе многофакторной диагностической модели из перестраиваемой системы мониторинга и критерий выбора альтернативы реконфигурации на основе максимизации интегральной ожидаемой полезности. Применение подхода реализуется в рамках поддержки жизненного цикла ВВСТ.

Для применения критерия в рамках процессов управления реконфигурацией предлагается семейство методов, решающих задачи мониторинга и анализа функционирования ВВСТ:

- метод идентификации состояния систем ВВСТ на основе ретроспективной и текущей информации, базирующийся на способах и приемах оценки взвешенного графа состояний ее компонентов, позволяющий объединять диагностические данные о состоянии объекта и внешней среды в условиях неопределенности;

– метод прогнозной оценки пригодности альтернатив ВВСТ при неопределенности изменения системных требований, базирующийся на многопараметрическом оценивании с несогласованными разнородными требованиями состояния компонентов инфокоммуникационных сред, позволяющий учитывающим неопределенность моментов времени принятия решения на реконфигурации;

– метод принятия решений на структурно-функциональную оптимизацию систем при неполноте изменяемой системы требований, базирующийся на способах и приемах стохастической оптимизации распределения ресурсов модернизации, позволяющий повысить плановость реализации мероприятий реконфигурации.

Применение представленного подхода может быть пояснено на примере интегрированной системы безопасности. Основа системной динамики ИСБ [11; 12]:

– внешняя среда: изменение модели нарушителей, изменение их технической оснащенности;

– внутренние факторы: изменение лимитов финансирования, технический прогресс.

Изменение внешней среды приводят к проявлению всех выделенных в работе эффектов: снижению длительности использования компонентов, увеличению сложности, повышению неопределенности требований и увеличению динамики внешних условий. Целевой показатель функционирования интегрированной системы безопасности – коэффициент безопасности. По своей физической сути коэффициент безопасности может рассматриваться как аналог коэффициента готовности (коэффициента сохранения технической эффективности).

Рассмотрим характерную ситуацию: количество компонентов в ИСБ увеличивается в 1,5 раза; настолько же снижается длительность использования компонентов. Это приводит к увеличению в 2,25 раза количества необходимых ресурсов на функционирование системы, либо к снижению коэффициента безопасности на 25% за счет увеличения интенсивности заявок на реконфигурацию компонентов. Суммарный эффект от применения интегрального критерия для рассматриваемой ситуации управления реконфигурируемой интегрированной системой безопасности составляет 8-12% от значения коэффициента безопасности за счет более раннего выявления моментов реконфигурации,

формирования оптимальных планов в условиях неопределенности. Если рассмотреть эффект в объемах сэкономленных ресурсов, то он составляет около 27-41%.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что применение интеллектуальных методов поддержки принятия решений позволяет в общем случае повысить обоснованность выбора эффективных альтернатив реконфигурации систем ВВСТ за счет снижения неопределенности исходных данных о состоянии внешней среды.

Выводы и перспективы исследования

В статье представлена характеристика адаптивных многокомпонентных ВВСТ. Предложен подход к обоснованию интеллектуальных механизмов поддержки принятия решений при управлении системами ВВСТ, обеспечивающий эффективное долговременное развитие адаптивных систем ВВСТ в условиях неопределенности. Применение интеллектуальных методов поддержки принятия решений предоставляет возможность повысить обоснованность выбора эффективных альтернатив планов и программ развития ВВСТ за счет снижения неопределенности исходных данных о состоянии системы вооружения и военно-технической обстановки. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании механизмов поддержки жизненного цикла многокомпонентных системы ВВСТ.

Список использованных источников

1. Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследования операций. М.: Военный финансово-экономический факультет, 1981. – 260 с.
2. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. – 504 с.
3. Чарушников А.В., Кузьмин В.Н., Дрецинский В.А. Инновационный методический подход к моделированию и оцениванию эффективности космических систем // Инновации. 2015. №9(205). – С. 7-11.
4. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. Ч.1,2 / Под ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. – 520 с.
5. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. М.: Машиностроение, 1995. – 240 с.
6. Павлов А.Н. Методологические основы решения проблемы планирования структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов // Известия вузов. Приборостроение. 2012. Т.55. №11. – С. 7-12.
7. Охтилев М.Ю., Мустафин Н.Г., Миллер В.Е., Соколов Б.В. Концепция проактивного управления сложными объектами: теоретические и технологические основы // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т.57. №11. – С. 7-15.
8. Zou Bowen, Yang Ming, Yoshikawa Hidekazu, Lu Honghing. Evaluation of physical protection systems using an integrated platform for analysis and design // IEEE Transactions on systems, mans and cybernetics systems. 2017. Vol.47. №11. – P. 2945-2955.
9. Еременко В.Т., Рытов М.Ю., Голембиовская О.М., Рязанцев П.Н. Комплексные системы защиты информации предприятия. Орел: ФГБОУ ВО ОГУ, 2016. – 116 с.
10. Гришаков В.Г., Логинов И.В. Управление динамической реконфигурацией ИТ-инфраструктуры в меняющихся условиях // Информационные системы и технологии. 2016. №3(95). – С. 13-22.
11. Garcia M.L. The design and evaluation of physical protection systems. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001. – 336 p.
12. Рыжова В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности. СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 157 с.