

КОМПЛЕКСНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ*

Б. В. Соколов, Е. М. Зайчик, А. В. Иконникова, С. А. ПОТРЯСАЕВ

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178

<spiiran@mail.iias.spb.su>; <sokol@iias.spb.su>
<www.spiiras-grom.ru>

УДК 681.51.001.57

Соколов Б. В., Зайчик Е. М., Иконникова А. В., Потрясаев С. А. **Комплексное планирование модернизации информационных систем: методологические и методические основы** // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 1. — СПб.: Наука, 2006.

Аннотация. *Одной из отличительных особенностей современных сложных технических объектов (СТО) является изменение их параметров и структур, вызванных объективными и субъективными факторами на различных фазах жизненного цикла СТО. Данная статья посвящена разработке принципов, методов и алгоритмов решения задач комплексного планирования модернизации СТО (информационных систем). Данные методологические и методические основы исследования задач базируются на разрабатываемой авторами теории управления структурной динамикой СТО.* — Библ. 19 назв.

UDC 681.51.001.57

Sokolov B. V., Zaychik E. M., Ikonnikova A. V., Potryasaev S. A. **Comprehensive planning for modernization of information systems: methodological and technical bases** // SPIIRAS Proceedings. Issue 3, vol. 1. — SPb.: Nauka, 2006.

Abstract. *One of the main features of modern complex technical object (CTO) is the variability of their parameters and structures as caused by objective and subjective factors at different phases of the CTO life cycle. The aim of this investigation is to develop principles, methods and algorithms for the tasks decision of comprehensive planning for modernization of the CTO (information systems). These methodological and technical bases are founded on the theory of CTS structure dynamics control developed by authors of this investigation.* — Bibl. 19 items.

1. Введение

В современных условиях динамично изменяющейся внешней среды особое значение придается оперативному оцениванию, анализу состояния организации, умению в условиях жестких временных ограничений проводить модернизацию информационной системы с минимальными затратами.

Далее под информационной системой (ИС) будем понимать систему, состоящую из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующую информационную технологию выполнения установленных функций. Любая ИС предназначена на обеспечение эффективного функционирования современных организационно-технических комплексов различного целевого назначения [1, 2]. Одной из разновидностей указанных комплексов является бизнес-система. Бизнес-система (БС) — это связанное множество бизнес-процессов, целью которых является выпуск продукции (товаров или услуг) и

*Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты № 05–07–90088, № 05–08–18117, № 06–07–89242), Института системного анализа РАН (проект 2.5), CRDF (проект № RUM2–1554–ST–05), а также при финансовой поддержке за счет грантов Санкт-Петербурга в сфере научной и научно-технической деятельности.

получение прибыли. Таким образом, любая БС, в первую очередь, ориентирована на конечные результаты своей деятельности и предъявляет определенные требования к качеству ИС [1, 2].

Под модернизацией ИС в дальнейшем понимается такой этап эксплуатации, на котором производится изменение серийных изделий данной системы, направленное на расширение ее возможностей по целевому применению, снижению затрат на эксплуатацию, повышению технико-экономических показателей [3].

Существуют различные пути перехода от «старой» (существующей) ИС к «новой» (модернизированной) ИС. Выделим два из них [3].

1. Приобретение и внедрение ИС организацией сразу в полном объеме.
2. Создание организацией ИС или какого-либо ее компонента собственными силами «с нуля».

У каждого из перечисленных подходов есть свои преимущества и недостатки.

Капиталовложения, для случая создания ИС своими силами «с нуля», будут меньше по отношению к варианту приобретения ИС целиком. Достаточно ясно, что темп создания ИС своими силами будет ниже, чем при развертывании приобретенной целиком готовой системы. В свою очередь, последняя система гораздо быстрее сможет обеспечить потребности организации в ресурсах обработки информации. Однако при приобретении готовой ИС целиком сразу же потребуются почти в полном объеме необходимые для этого средства.

Из вышеизложенного следует, что на практике для решения задачи модернизации ИС приемлемым может оказаться третий, «срединный» или «плавный», путь, в рамках которого часть работ по обновлению аппаратно-программных средств ИС выполняется своими силами, а часть работ — с использованием сторонних организаций.

В основе плавной модернизации ИС лежит технология реинжиниринга, которая учитывает необходимость совместной эксплуатации элементов «старой» и «новой» ИС, многоструктурность ИС и динамику изменения этих структур на всех этапах жизненного цикла ИС [4–8].

В этих условиях для повышения уровня работоспособности и возможностей ИС на всех этапах ее жизненного цикла необходимо осуществлять планирование модернизации ИС. При этом, как показывает предварительный анализ, указанное планирование следует проводить комплексно. При таком планировании надо связывать между собой как процессы функционирования БС, так и непосредственно процессы модернизации и функционирования самой ИС.

При таком планировании появляется возможность на конструктивном уровне непосредственно исследовать взаимосвязь бизнес-процессов (БП) с вариантами структурной динамики ИС.

2. Особенности задачи комплексного планирования модернизации и функционирования ИС

Руководствуясь основополагающими концепциями и принципами системного подхода, будем в дальнейшем исследуемую в статье задачу **комплексного планирования модернизации и функционирования ИС** рассматривать не изолировано, а в рамках более общей проблемы управления структурной динамикой сложной технической системы (СТС) на различных этапах ее жизненного цикла [3]. Далее под жизненным циклом (ЖЦ) СТС будем понимать после-

довательность фаз развития указанной системы от момента формирования ее облика до момента времени снятия СТС с эксплуатации (либо модернизации СТС или перехода на новое поколение СТС). В агрегированном виде эта последовательность включает следующие этапы (фазы): исследование — проектирование — создание — внедрение (замена СТС старого поколения на СТС нового поколения) — эксплуатация — совершенствование — снятие с эксплуатации. Первые четыре этапа (фазы) образуют так называемый реализационный период ЖЦ СТС, а остальные — период полезной жизни системы.

Предлагаемое в данной статье рассмотрение вопросов **комплексного планирования модернизации и функционирования ИС** в общем контексте **управления ее структурной динамикой** позволяет, во-первых, непосредственно связать те общие цели, на достижение которых ориентировано функционирование СТС (в нашем случае ИС), с теми целями, которые реализуются в ходе управления структурами СТС, во-вторых, обоснованно определить и выбрать соответствующие последовательности решаемых задач и выполняемых операций (действий), связанных со структурной динамикой (другими словами, синтезировать технологию управления СТС), и, в-третьих, осознанно находить компромиссные решения при распределении ограниченных ресурсов, выделяемых на управление структурной динамикой.

Говоря о возможных классах задач управления структурной динамикой СТС на различных этапах ее ЖЦ, следует, прежде всего, исходить из так называемого **функционально-структурного подхода** (ФСП) к описанию объектов любой природы (в том числе и СТС) [3, 4, 5].

ФСП, в общем случае, представляет собой совокупность философских концепций, объективных закономерностей развития систем, научных положений и выводов, определяющих стратегию и методы анализа и синтеза антропогенных систем, к которым, в частности, относится СТС [3].

Характерными особенностями ФСП являются [3, 9, 10]:

- учет диалектической взаимосвязи функций и структуры объектов при определяющей роли функции по отношению к структуре;
- целостный подход к анализу и синтезу многоуровневых систем;
- учет вещественно-энергетических и информационных связей между элементами системы;
- учет взаимосвязи исследуемой (создаваемой) системы с внешней средой.

Взаимоотношения функций и структур СТС в процессе ее развития характеризуются не только единством, но и противоречиями между ними. При этом разрешение указанных противоречий может осуществляться различными альтернативными путями — от полного отказа от старой структуры (структур), переставшей соответствовать новому содержанию (новым функциям), до использования старой структуры (структур), несмотря на существенно изменившиеся функции. Управление структурной динамикой СТС в этом случае предназначено для целенаправленного формирования оптимальной последовательности действий, которая должна обеспечить наилучшее разрешение (с точки зрения лица, принимающего решение) диалектического противоречия между функциями и соответствующими структурами на каждом из этапов ЖЦ СТС.

При этом на ранних этапах ЖЦ СТС должны быть синтезированы такие взаимосвязанные множества функций и структур, а также внесены такой уровень избыточности в указанные множества, при которых на этапе применения СТС по целевому назначению имела бы возможность гибко реагировать на все

расчетные и нерасчетные нештатные ситуации, вызывающие деградацию и реконфигурацию ее структур.

Исследуя процессы управления структурной динамикой СТС, будем в дальнейшем исходить из того, что данные процессы применительно к указанной системе имеют, во-первых, многоэтапный и многоуровневый характер и, во-вторых, сама управленческая деятельность предполагает реализацию взаимосвязанной последовательности актов принятия решений, осуществляемых как в автоматическом, так и в автоматизированных режимах (в последнем случае, например с участием лиц, принимающих решения (ЛПР), лиц обосновывающих рассматриваемые решения (ЛОР) [11]).

На рис. 1 представлена агрегированная структура жизненного цикла ИС, которая подлежит модернизации [3].

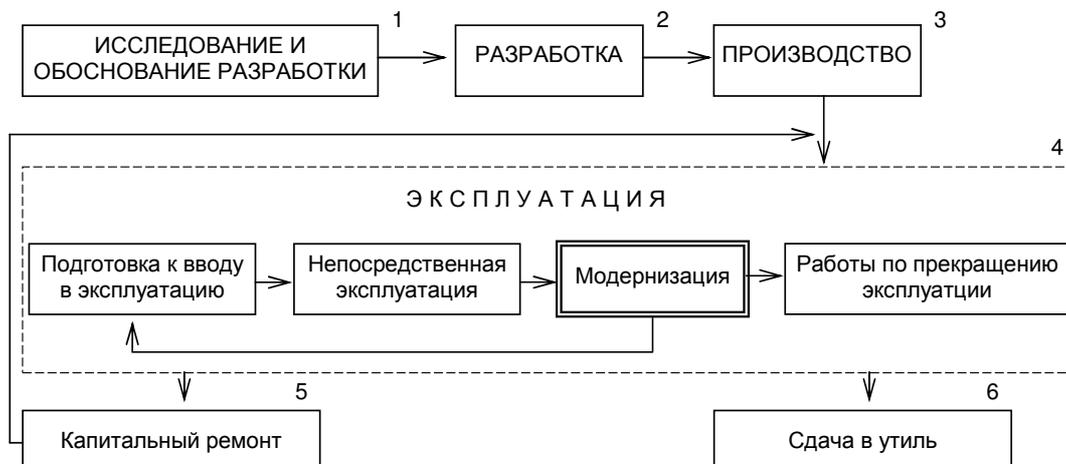


Рис. 1. Агрегированная структура жизненного цикла ИС.

Необходимо отметить, что данные виды работ могут изменяться в зависимости от типа ИС, которая представлена к модернизации. Прежде чем проводить исследования по выявлению удачности конструкции принятых к эксплуатации ИС и планировать в дальнейшем их модернизацию, необходимо уметь определять, как влияет на способность к развитию ИС в целом способность к развитию элементов и подсистем системы.

Проведенный системный анализ процессов модернизации ИС показал, что данный процесс может быть успешно реализован только в том случае, когда он тщательно спланирован и базируется на современных технологиях реинжиниринга.

Технология реинжиниринга в настоящее время широко используется для решения задач модернизации унаследованных ИС, которые играют важную роль в обеспечении эффективности соответствующих бизнес-процессов организации. В процессе реинжиниринга должен производиться анализ состояния унаследованной (модернизируемой) информационной системы (УИС, МИС), пересмотр и изменение ее архитектуры, модернизация существующих и создание новых программно-технических и информационных компонентов [1–3]. Основными преимуществами технологии реинжиниринга по сравнению с разработкой и внедрением новой ИС «с нуля» являются снижение рисков, сокращение расходов и уменьшение временных затрат на переход и адаптацию к ИС, обладающей новым или добавленным качеством [10].

Основные проблемы и факторы, сдерживающие распространение и эффективное использование реинжиниринга, связаны с его начальной стадией — построением представлений унаследованной ИС [1–3, 10], базирующихся на соответствующем модельно-алгоритмическом описании данной предметной области. Главная цель построения представлений унаследованной ИС — получение совокупности данных обо всех компонентах архитектуры системы, оценка их состояния и определение направлений реинжиниринга. Существующие стандарты качества ИС, а также ведущиеся разработки в области аудита ИС, определяют только общие качественные показатели, которые слабо связаны с архитектурой системы и не могут быть напрямую использованы для количественной оценки ее состояния, а также оценки результатов реинжиниринга [1, 2].

В связи с вышеизложенным проведем дальнейшую детализацию содержательной постановки задачи комплексного планирования модернизации ИС. Для этого, в первую очередь, остановимся на основных особенностях данной задачи. Первая и, пожалуй, главная особенность задачи планирования модернизации ИС состоит в том, что переход от «старой» ИС к «новой» (модернизированной) ИС не может быть проведен мгновенно. Это, на практике, приводит к тому, что на достаточно длительном интервале времени (периоде модернизации ИС) происходит совместная эксплуатация элементов и подсистем «старой» и «новой» ИС. Однако, в этих условиях, показатели качества и эффективности бизнес-процессов, поддерживаемых данными ИС, не должны ухудшаться. Таким образом, всякое изменение и развитие той или иной подсистемы (структуры) ИС объективно осуществляется одновременно с решением оперативных (текущих) задач, стоящих перед соответствующей БС. Поэтому возникает необходимость совместной постановки задач комплексного планирования модернизации и функционирования ИС.

Вторая особенность исследуемой задачи связана со сложностью и многоаспектностью ИС. В самом деле, любая современная ИС характеризуется множеством структур, среди которых принято выделять следующие структуры [9]:

- структура целей, функции и задачи ИС;
- структура технологии функционирования ИС;
- техническая структура;
- топологическая структура;
- организационная структура;
- структура программно-математического, информационного обеспечения.

Перечисленные структуры являются инвариантными для любого класса ИС и должны учитываться в первую очередь при системном исследовании данных объектов. Однако, в ряде случаев, наряду с указанными базовыми структурами могут вводиться производные структуры, к которым относятся:

- структура электрических и монтажных соединений отдельных элементов и подсистем ИС, технических средств управления и связи, обеспечивающих систем;
- структура технического обслуживания и ремонта соответствующих элементов и подсистем ИС;
- структура систем связи и передачи данных между территориально распределенными элементами и подсистемами, входящими в состав БС;
- структура системы защиты ИС (и БС в целом) от внешних воздействий.

Следующая особенность задач планирования модернизации ИС состоит в том, что все перечисленные структуры на различных этапах ее жизненного цикла (ЖЦ), в том числе и на этапе модернизации, под действием субъективных и

объективных причин, **постоянно изменяются**, другими словами, наблюдается структурная динамика (табл. 1), о которой подробно говорилось в [5–8]. Предполагается, что ИС является сложной многоуровневой организационно-технической системой, имеющей, например, N уровней ($j = 1, \dots, N$). На каждом ее уровне для описания структурной динамики ИС вводятся многоструктурные макросостояния $S_0^{(j)}, S_1^{(j)}, \dots, S_k^{(j)}$. Еще одна особенность рассматриваемой задачи модернизации ИС заключается в существенной неопределенности условий, в которых будет происходить реализация программ модернизации и функционирования унаследованной ИС.

Таблица 1

Варианты структурной динамики ИС

Варианты многоструктурных состояний	j -й уровень ИС				Графики изменения структурных состояний ИС
	$s_0^{(j)}$	$s_1^{(j)}$...	$s_k^{(j)}$	
Типы структур					
Топологическая структура			...		
Технологическая структура			...		
Техническая структура			...		
Структура программно-математического обеспечения			...		
Структура информационного обеспечения			...		
Организационная структура			...		

Говоря собственно о процедуре **комплексного планирования модернизации и функционирования ИС** будем предполагать, что она представляет собой целенаправленный, организованный и непрерывный процесс выделения различных элементов и аспектов ИС, определения их состояния и взаимодействия в данное время, прогнозирования их развития на некоторый период времени в будущем, а также составление и программирования набора действий и планов, направленных на достижение желаемых результатов. Планирование как этап принятия решений обладает целым рядом специфических черт, среди которых можно выделить следующие [4, 5, 10, 12–14]:

– планирование — это процесс принятия предварительного решения об облике организации и механизмах ее функционирования, обеспечивающих на заданном интервале времени достижение поставленных целей;

– результатом планирования является система взаимосвязанных решений, распределенных как в пространстве, так и во времени, оказывающих влияние друг на друга; при этом, в силу общности ресурсов, используемых для выработки и поддержки программных траекторий, функция планирования непосредственно связана с функцией регулирования;

– процесс планирования постоянно приближается к завершению, но никогда не достигает его по двум причинам: во-первых, существует возможность бесконечно пересматривать ранее принятые решения, хотя из-за необходимости предпринимать конкретные действия по достижению поставленных целей требуется все-таки рано или поздно остановиться на каком-то варианте решения; во-вторых, планирование осуществляется в течение определенного промежутка времени, в ходе которого может измениться как сама организация, так и внешняя среда, поэтому сформированные планы нуждаются в постоянной корректировке;

– планирование направлено на предотвращение ошибочных действий и уменьшение неиспользованных возможностей.

В общем случае при планировании приходится решать следующие классы задач [4]:

1) определение целей и задач, стоящих перед ИС, т.е. определение состояний, желательных для данной организации, и определение времени, к которому должны быть достигнуты данные цели и задачи;

2) определение средств достижения этих целей и задач;

3) определение ресурсов и источников получения ресурсов для реализации планов, а также разработка принципов, методов и методик распределения ресурсов между элементами и подсистемами ИС;

4) разработка (синтез) облика ИС (и, прежде всего, ее основных структур), а также механизмов (алгоритмов) ее функционирования, обеспечивающих непрерывность комплексного процессов планирования и реализации плановых решений.

Процесс планирования является сам сложной системой. Эта система имеет назначение, функции, потоки, структуру, желаемый результат. При этом процесс планирования должен быть тоже спланирован. Любой план имеет три общие компоненты: начальное состояние, цель (или конечное состояние) и средства (ресурсы), обеспечивающие связь этих состояний.

К настоящему времени сформировалось три подхода (три философии, концепции) планирования [4]: сатисфакционное (инкрементальное), формальное и системное планирование. Формальное планирование делает акцент на предсказании развития обстановки (в терминах математических моделей), сатисфакционное — на реакции ИС на воздействия внешней среды, при системном планировании стремятся способствовать взаимодействию ИС с внешней средой. При системном планировании проблемы не решаются, а скорее, разрешаются и постоянно переопределяются через процесс обучения. Поэтому в данном случае процесс планирования трактуется не как дискретная деятельность, а как непрерывно развивающийся адаптивный процесс. В работах данный вид планирования назван адаптационным. При этом адаптация планов проводится на основе апостериорной, текущей и априорной информации (адаптация к «прошлому», «настоящему», «будущему»). К настоящему времени в рамках перечисленных выше концепций планирования были разработаны многочисленные теории планирования для различных предметных областей.

Исходя из выше изложенного, можно сделать следующие промежуточные выводы.

1. Задача планирования модернизации ИС должна решаться совместно с задачей планирования функционирования ИС в целях обеспечения текущей деятельности соответствующей БС. При этом само планирование должно осуществляться комплексно и затрагивать все основные элементы и подсистемы существующей и создаваемой ИС [3, 9]. Это означает, что в процессе выбора программ модернизации облика данной системы каждый раз требуется обоснованно определять, в каком месте и в какое время должна быть произведена замена того или иного элемента структуры (структур) существующей ИС на новый, перспективный элемент. Кроме того, требуется проводить оценивание того, как влияют изменения структур ИС на процесс функционирования БС. Для этого должна использоваться соответствующая система показателей эффективности и качества планирования модернизации (функционирования) ИС. К числу таких показателей мы будем в первую очередь относить [3, 4, 5, 9, 10, 11–15]:

- показатели эффективности применения ИС, которые включают в себя показатели ее целевых возможностей и показатели устойчивости функционирования;

- показатели технической эффективности, к которым, в первую очередь, можно отнести пропускную способность, показатели оперативности реализации технологии управления ИС, эксплуатационные показатели (например, ремонтно-пригодность), эргономические и социально-психологические показатели;

- показатели экономической эффективности и ресурсосберегаемости (например, показатели полных затрат на модернизацию и функционирование ИС, время полной окупаемости системы, показатели расхода (сбережения) ресурсов всех видов, полноты их использования на всех этапах ЖЦ ИС);

- показатели, характеризующие эффективность адаптации и самоорганизации ИС на этапе ее модернизации и функционирования (показатели структурной и функциональной избыточности, показатели гибкости (адаптируемости) структур ИС, показатели сложности указанных структур);

- показатели, характеризующие длительность реализационного периода ИС (время проектирования модернизации ИС) и периода полезной жизни до следующей модернизации (время эксплуатации);

- показатели эффективности управления функционированием и модернизацией ИС (в том числе показатели обоснованности принимаемых решений).

2. Совместное решение задач комплексного планирования модернизации и функционирования ИС наряду с заданием перечисленных показателей предполагает:

- построение соответствующего полимодельного комплекса, описывающего все основные аспекты исследуемых процессов;

- разработку комбинированных методов, алгоритмов и методик многокритериального полимодельного синтеза программ управления модернизацией и функционированием существующей и внедряемой ИС.

Масштабность и сложность исследуемых задач требует обоснованного выбора соответствующей методологии их решения. По нашему мнению она должна базироваться на методологиях обобщенного системного анализа и современной теории управления [12, 13, 15].

В рамках данных методологий на основе гармоничного сочетания фор

мально-математических и логико-эвристических методов осуществляется конструктивное решение разнородных и разно уровневых задач анализа и синтеза ИС на различных этапах их жизненного цикла.

3. Содержание предлагаемого подхода

Решение проблемы управления структурной динамикой (УСД) СТС (в нашем случае ИС) предполагает исследование следующих трех классов задач, которые включают в себя: задачи анализа структурной динамики СТС, задачи оценивания (наблюдения) структурных состояний и структурной динамики СТС, задачи синтеза оптимальных программ УСД СТС в различных условиях обстановки [5–8, 16–18].

Ранее были разработаны методологические и методические основы теории УСД [5, 7, 17]. В свою очередь, данные методологические основы базировались на результатах, полученных к настоящему времени в обобщенном системном анализе и современной теории управления СТС с перестраиваемыми структурами, и нашли свое конкретное отражение в соответствующих принципах. К ним относятся: принцип программно-целевого управления, принцип внешнего дополнения, принцип необходимого разнообразия, принципы полимодельности и многокритериальности, принцип новых задач. Динамическая интерпретация процессов УСД СТС позволила при ее анализе во всей полноте использовать результаты, ранее полученные в теории устойчивости и чувствительности динамических систем.

При полимодельном описании процессов УСД СТС использовались технологии комплексного моделирования и концепции, положенные в основу построения соответствующих имитационных систем. Имитационная система (ИмС), при этом, рассматривалась как специально организованный программно-алгоритмический комплекс, включающий в себя [5, 15]: *имитационные модели (иерархию моделей), аналитические модели (иерархию моделей), дающих упрощенное (агрегированное) описание изучаемых объектов, информационную подсистему, включающую в себя базы данных (а в перспективе и базы знаний), систему управления и сопряжения, обеспечивающую всех компонент ИмС и работу лицом, принимающим решение (ЛПР) в интерактивном режиме.*

Перечисленные компоненты ИмС были положены в основу созданного комплекса прототипов программ, предназначенных для автоматизированного решения задач управления структурной динамикой ИС. В ходе проведенных исследований были предложены следующие основные фазы и этапы решения задачи выбора оптимальных программ управления структурной динамикой СТС. В соответствии с разработанной обобщенной процедурой решения данной задачи **на первой фазе** должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний СТС или, говоря другими словами, должен проводиться структурно-функциональный синтез нового облика модернизируемой ИС, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке. В указанной ситуации задачи, решаемые **на первой фазе**, сводятся к задачам структурно-функционального синтеза СТС.

Обобщенный алгоритм структурно-функционального синтеза облика СТС должен включать в себя следующие основные этапы (шаги).

Шаг 1. Формирование, анализ и интерпретация исходных данных, используемых при генерировании (синтезе) многоструктурных макросостояний СТС,

построение или коррекция описания моделей, используемых при структурно-функциональном синтезе облика СТС.

Шаг 2. Планирование процесса решения задачи генерирования (синтеза) многоструктурных макросостояний СТС. Определение затрат времени и других ресурсов, необходимых для решения рассматриваемой задачи.

Шаг 3. Построение и аппроксимация множества достижимости (МД) динамической системы, с помощью которого неявно задаются варианты облика СТС (варианты многоструктурных макросостояний СТС).

Шаг 4. Ортогональное проектирование на МД множества, с помощью которого задаются требования, предъявляемые к новому облику СТС.

Шаг 5. Формирование и интерпретация выходных результатов, представление их в удобном для последующего использования виде (например, для разработки адаптивных планов развития СТС и соответствующих регулирующих воздействий, обеспечивающих реализацию данных планов с требуемой степенью устойчивости).

На второй фазе проводится выбор конкретного варианта многоструктурного макросостояния СТС с одновременным синтезом (построением) адаптивных планов (программ) управления переходом СТС из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние. При этом рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие СТС, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления СТС в промежуточных макросостояниях.

На второй фазе исследования задачи выбора оптимальных программ УСД СТС приходится решать целую совокупность частных задач многоуровневой и многоэтапной оптимизации. Обобщенный алгоритм решения данных задач должен включать следующие этапы (шаги) [5–8, 17, 18].

Шаг 1. В интерактивном режиме осуществляется автоматизированная подготовка, контроль, анализ и ввод всей исходной информации, необходимой для решения задачи управления структурной динамикой СТС. При этом одновременно проводится адаптация параметров и структур ранее построенных моделей, алгоритмов и соответствующих вычислительных модулей специального программно-математического и информационного обеспечения (СПМО и ИО) имитационной системы к прошлому и текущему состоянию внешней среды, объектов управления и управляющих подсистем, входящих в состав функционирующей и синтезируемой СТС. При отсутствии требуемых исходных данных происходит либо их генерация с использованием соответствующих имитационных моделей, входящих в состав ИмС, либо на основе экспертного опроса.

Шаг 2. Планирование проведения комплексного моделирования процессов адаптивного управления функционированием и развитием СТС в текущей и прогнозируемой обстановке, планирование проведения вычислительных экспериментов в ИмС, определение состава и структуры моделей, методов и алгоритмов решения частных задач моделирования, расчет времени, необходимого для решения указанных задач.

Шаг 3. Генерирование, на основе проведения комплексного моделирования, допустимых вариантов функционирования СТС в исходном, промежуточных и требуемых многоструктурных макросостояниях, вывод результатов моделирования ЛПР, предварительный интерактивный структурно-функциональный анализ указанных результатов моделирования; формирование классов эквивалентных многоструктурных макросостояний СТС.

Шаг 4. Автоматизированный ввод допустимых вариантов функционирования СТС, проверка корректности заданной системы ограничений, окончательный выбор необходимого уровня агрегирования при описании моделей УСД СТС, вычислительной схемы и плана вычислительных экспериментов по поиску оптимальных программ УСД СТС.

Шаг 5. Поиск оптимальных программ управления структурной динамикой СТС, при которых обеспечивался переход из заданного в синтезируемое многоструктурное макросостояние СТС, устойчивое управление функционированием СТС в промежуточных многоструктурных макросостояниях.

Шаг 6. Имитация условий реализации оптимального плана управления переходом СТС из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние при наличии возмущающих воздействий и с учетом различных вариантов их компенсации на основе методов и алгоритмов оперативного управления.

Шаг 7. Структурная и параметрическая адаптация плана, СПМО и информационного обеспечения ИмС к возможным (прогнозируемым на имитационных моделях) состояниям объекта управления (ОУ), управляющей подсистемы (УП), внешней среды. В ходе указанной адаптации, кроме того, вводится необходимый уровень структурной избыточности СТС, обеспечивающий на этапе реализации плана компенсацию не предусмотренных в плане возмущающих воздействий.

После проведения требуемого числа вычислительных экспериментов осуществляется оценивание устойчивости сформированного адаптивного плана УСД СТС.

Шаг 8. Вывод полученных результатов комплексного адаптивного планирования применения СТС, их интерпретация и коррекция ЛПР.

Одно из главных достоинств предлагаемого метода поиска оптимальных программ УСД СТС состоит в том, что в ходе формирования вектора программных управлений в финальный момент времени мы, наряду с оптимальным планом, одновременно получаем и то искомое многоструктурное макросостояние, находясь в котором СТС сможет выполнять поставленные перед ней задачи в складывающейся (прогнозируемой) обстановке с требуемой степенью устойчивости.

В настоящее время разработаны комбинированные методы и алгоритмы решения задач выбора оптимальных программ УСД СТС в централизованном и децентрализованном режимах ее функционирования. В качестве базового комбинированного метода предложено использовать сочетание метода ветвей и границ и метода последовательных приближений. Теоретическое обоснование данного метода основано на доказанной теореме о свойствах релаксированной задачи выбора оптимальной программы УСД СТС. Особенности реализации предлагаемого комбинированного метода исследованы при решении различных прикладных задач [5–8, 16–18]. В ходе выполненных исследований были также проведены классификация и анализ возмущающих факторов, оказывающих влияние на функционирование сложной технической системы, предложены пути учета возмущающих факторов в моделях УСД. Наиболее перспективным путем учета факторов неопределенности (возмущающих факторов) в моделях УСД СТС является путь, в рамках которого комплексно используются все адекватные способы и формы представления данных факторов. При этом комплексное исследование возможностей по управлению СТС, при достаточно широком их толковании, включает в себя как оценивание функционирования СТС в нормальных режимах, так и оценивание возможного поведения системы в

экстремальных ситуациях, в том числе и оценивание «возможностей» возникновения возмущающих воздействий, разрушающих систему. В этом случае исследование функционирования СТС должно включать в себя следующие этапы [5]:

1) выявление всех возможных вариантов сценариев изменения внешней обстановки, в которых может применяться СТС, включая экстремальные ситуации и воздействия, могущие вызвать катастрофические последствия, связанные с этими ситуациями;

2) анализ поведения СТС 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 нечетких множеств;

3) те же действия, что и в пункте 2 для всех основных экстремальных ситуаций, нахождение гарантированных оценок результатов функционирования СТС в этих ситуациях;

4) нахождение обобщенных (интегральных) оценок эффективности управления структурной динамикой СТС.

При исследовании различных классов задач УСД СТС были предложены алгоритмы параметрической и структурной адаптации соответствующих моделей, основанные на методах нечеткой кластеризации и анализа иерархий, методах аналитико-имитационного моделирования. Кроме того, для проверки конструктивности использования предлагаемого подхода к решению рассматриваемых задач осуществлялась разработка прототипа программного обеспечения процессов поиска управления структурной динамикой СТС различного целевого назначения [5, 7, 18].

Работоспособность **созданного** программного комплекса была проверена на примере решения задач планирования развития (планирования модернизации) системой сотовой связи [19]. Для этого использовался специально созданный программный комплекс (ПК) «ОНЕГА», который поддерживает объектный подход к процессу автоматизации проектирования, имеющий главной целью — разработку проекта сети, обеспечивающего минимальные капиталовложения при удовлетворении потребности подвижных абонентов в течение всего жизненного цикла рассматриваемой системы. Созданное программно-математическое обеспечение включает комплекс программных модулей автоматизации процессов проектирования сетей сотовой радиосвязи, оценки качества проектных решений и степени достижения заданных требований на основе оптимизации параметров сети с использованием геоинформационных технологий при участии экспертов по планированию сети. ПК «ОНЕГА» обеспечивает повышение оперативности и обоснованности решений, принимаемых при проектировании, развитии и эксплуатации сотовых сетей связи, а также оптимизацию структурно-топологических и технических характеристик системы.

4. Заключение

К настоящему времени разработаны методологические и методические основы теории управления структурной динамикой СТС, которая может найти широкое применение на практике. Данная прикладная теория имеет междисциплинарный характер и базируется на результатах, полученных в таких областях научных знаний, как классическая теория управления, исследование операций, искусственный интеллект, теория систем и системный анализ. Предложенная

динамическая интерпретация процессов управления структурной динамикой СТС позволяет строго математически описать и всесторонне исследовать ранее никем не формализованные сложные организационно-технические проблемы, имеющие большую практическую значимость. Предлагаемое рассмотрение вопросов **комплексного планирования модернизации и функционирования ИС** в общем контексте **управления ее структурной динамикой** позволяет, в о - п е р в ы х , непосредственно связать те общие цели, на достижение которых ориентировано функционирование ИС, с теми целями, которые реализуются в ходе управления структурами ИС, в о - в т о р ы х , обоснованно определить и выбрать соответствующие последовательности решаемых задач и выполняемых операций (действий), связанных со структурной динамикой (другими словами, синтезировать технологию управления ИС), и, в - т р е т ь и х , осознанно находить компромиссные решения при распределении ограниченных ресурсов, выделяемых на управление структурной динамикой.

Литература

1. Ойхман Е. Г. Реинжиниринг бизнеса: Реинжиниринг организаций и информационных технологий. М.: Финансы и статистика, 1997. 336 с.
2. Шенников С. Ю. Реинжиниринг бизнес-процессов. Экспертное моделирование, управление, планирование и оценка. М.: Ось-89, 2004. 288 с.
3. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем. М.: Радио и связь, 1985. 328 с.
4. Акофф Р. Л. Планирование в больших экономических системах. М.: Мир, 1972. 224 с.
5. Соколов Б. В. Комплексное планирование операций и управление структурами в АСУ активными подвижными объектами. М.: МО, 1992. 232 с.
6. Калинин В. Н., Соколов Б. В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 1995. № 1. С. 56–61.
7. Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. № 5. С. 103–117.
8. Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 2004. № 6. С. 5–16.
9. Цвиркун А. Д., Акинфиев В. К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем (синтез и планирование развития). М.: Наука, 1993. 160 с.
10. Методы организации адаптивного планирования и управления в экономико-производственных системах / Забровский В. А., Копейченко Ю. В., Скурихин В. И. и др. Киев: Наукова думка, 1980. 272 с.
11. Морозов В. П., Дымарский Я. С. Элементы теории управления ГАП: Математическое обеспечение. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984. 333 с.
12. Васильев С. Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5–22; № 2. С. 5–21.
13. Моисеев Н. Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1974. 526 с.
14. Охтилев М. Ю. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 1999. 161 с.
15. Методологические вопросы построения имитационных систем: Обзор / Емельянов С. В., Калашников В. В., Лутков В. И. и др. / Под науч. ред. Д. М. Гвишиани, С. В. Емельянова. М.: МЦНТИ, 1973. 87 с.
16. Калинин В. Н. О теории управления активными подвижными объектами // Изв. вузов. Приборостроение. 1981. Т. 23, № 6. С. 26–31.
17. Соколов Б. А., Курносков А. Н. Модель и алгоритм оперативного перераспределения функций управления между техническими комплексами // Изв. вузов. Приборостроение. 2000. Т. 43, № 8. С. 66–72.
18. Arkhipov A. V., Ivanov D. A., Sokolov B. V. Intelligent Supply Chain Planning in 'Virtual Organi-

- zation' // Proceedings of PRO-VE'04 5th IFIP Working Conference on Virtual Enterprises, France, Toulouse, August, 22–27, 2004. Vol.8, Part 8. P. 215–224.
19. *Соколов Б. В., Зайчик Е. М.* Модернизации существующих автоматизированных систем на основе мобильных и геоинформационных технологий // Международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы», РФ, Санкт-Петербург, 25–27 сентября, 2005: Труды семинара. С. 144–148.