

УДК 004.91

В. А. Додонов

Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

Методология системного проектирования и разработки автоматизированных систем обработки информации и управления

Рассмотрены вопросы системного подхода к проектированию и конструированию сложных технических систем. Предложена итерационная схема конструирования, в рамках которой выделены основные задачи, решаемые на каждом из этапов. Приведено описание решающих процедур по принятию проектного решения.

***Ключевые слова:** система, системный подход, конструирование, проектирование, альтернатива, выбор, оценка.*

Введение

Среди сложных технических систем (СТС) особое место занимают автоматизированные системы обработки информации и управления (АСОИУ), к классу которых относятся современные бортовые информационно-управляющие системы, радиолокационные и электронно-оптические системы и комплексы обнаружения и целеуказания, территориальные автоматизированные системы воздушного, морского и наземного наблюдения и др. [1].

В общем случае АСОИУ представляют собой совокупность сложных многофункциональных комплексов радиоэлектронных, радиотехнических, электронно-оптических и цифровых вычислительных средств. Создание таких систем, состоящих из подсистем и устройств на разнородных физических принципах функционирования, представляет собой комплексную научно-техническую проблему, связанную с проведением разноплановых прикладных исследований в области проектирования, разработки, всех видов испытаний и применения системы по прямому назначению.

В работе [1] рассмотрены особенности АСОИУ как объекта проектирования, выполнен анализ общих принципов системного подхода к их проектированию. Предложена итерационная логическая схема проектирования, в рамках которой выделены три основных класса задач, решаемых на каждом из этапов: построение (генерирование) вариантов системы; задачи анализа, связанные с изучением свойств и поведения системы; задачи синтеза, сводящиеся к выбору варианта сис-

© В. А. Додонов

темы, исходя из заданных ее свойств. Приведено описание решающих процедур, выполняемых в пределах каждого этапа.

Настоящая работа посвящена развитию системного подхода к проектированию и разработке (конструированию) АСОИУ как сложных технических систем.

Основные определения

Проектирование и разработка — это совокупность процессов, переводящих требования в установленные характеристики или нормативно-техническую документацию (НТД) на продукцию, процесс или систему. Термины проектирование и разработка иногда используются как синонимы, а иногда — для определения различных стадий процесса проектирования и разработки в целом.

Проектирование — целенаправленная последовательность действий по созданию описания объекта проектирования, достаточного для его изготовления и эксплуатации в заданных условиях. Для сложных систем характерна своеобразная организация проектирования в две стадии: макропроектирование (внешнее проектирование), в процессе которого решаются функционально-структурные вопросы системы в целом, и микропроектирование (внутреннее проектирование), связанное с разработкой элементов системы как физических единиц оборудования [2]. Проектирование СТС — процесс преобразования входной информации об объекте, методах и опыте проектирования объектов аналогичного назначения в соответствии с ГОСТом в проект СТС. С этой точки зрения проектирование системы сводится к последовательной формализации проектных решений на различных стадиях жизненного цикла (ЖЦ) системы: планирования и анализа требований, технического и рабочего проектирования, внедрения и эксплуатации ИС [3].

Масштабы разрабатываемых систем определяют состав и количество участников процесса проектирования. При большом объеме и жестких сроках выполнения проектных работ в разработке системы может принимать участие несколько проектных коллективов (организаций-разработчиков). В этом случае выделяется головная организация, которая координирует деятельность всех организаций-соисполнителей.

При проектировании СТС предполагается использование разработчиками определенной технологии проектирования, соответствующей масштабу и особенностям разрабатываемого проекта. Технология проектирования СТС — это совокупность методологии и средств проектирования СТС, а также методов и средств его организации (управление процессом создания и модернизации проекта СТС). В основе технологии проектирования лежит технологический процесс, который определяет действия, их последовательность, требуемые состав исполнителей, средства и ресурсы.

Технологический процесс проектирования СТС в целом делится на совокупность последовательно-параллельных, связанных и соподчиненных цепочек действий, каждое из которых может иметь свой предмет. Таким образом, технология проектирования задается регламентированной последовательностью технологических операций, выполняемых на основе того или иного метода, в результате чего становится ясным, не только что должно быть сделано для создания проекта, но и как, кем и в какой последовательности.

Предметом любой выбираемой технологии проектирования должно служить отражение взаимосвязанных процессов проектирования на всех стадиях ЖЦ СТС. Основу технологии проектирования СТС составляет методология, которая определяет сущность, основные отличительные технологические особенности. Методология проектирования предполагает наличие некоторой концепции, принципов проектирования, реализуемых набором методов, которые, в свою очередь, должны поддерживаться некоторыми средствами.

Организация проектирования предполагает определение методов взаимодействия проектировщиков между собой и с заказчиком в процессе создания проекта СТС, которые могут также поддерживаться набором специфических средств. Проект СТС — проектно-конструкторская и технологическая документация, в которой представлено описание проектных решений по созданию и эксплуатации СТС в конкретной программно-технической среде.

Макропроектирование — это этап проектирования объекта как сложной иерархической системы, состоящий в рассмотрении его как части системы более высокого уровня. Результатом этапа является исходный вариант тактико-технического задания (ТТЗ) на проектирование (разработку) объекта, которое может уточняться и корректироваться в процессе внутреннего проектирования (разработки) объекта.

Внешнее проектирование направлено на: проработку общей идеи системы, ее исследование с помощью теоретических средств, разработанных в соответствующей технической науке; определение основных качественных и количественных характеристик создаваемого изделия в виде описания его технических функций и потребительских качеств; получение необходимых исходных данных для осуществления внутреннего проектирования и разработки новых технических решений, обеспечивающих повышение технического уровня новой модели или поколения техники.

Внешнее проектирование является основной составной частью ТТЗ на разработку изделия и начинается с формулировки проблемы, которая включает в себя по крайней мере три основных раздела: определение целей создания системы и круга решаемых ею задач; оценка действующих на систему факторов и определение их характеристик; выбор показателей эффективности системы.

Внутреннее проектирование (микропроектирование) связано с созданием рабочих чертежей (технического и рабочего проектов), которые служат основными документами для изготовления технической системы на производстве. Внутреннее проектирование — этап проектирования (разработки) объекта как сложной иерархической системы, выполняемый на основании внешнего проектирования и состоящий в рассмотрении его как самостоятельной системы.

В общем случае под жизненным циклом технического объекта (изделия) понимают последовательность этапов существования объекта от начала его создания до момента исчезновения. На каждом этапе объект имеет относительно стабильный набор характеристик. Разные классы объектов могут иметь несколько различающийся набор этапов жизненного цикла. Наиболее типичный состав этапов ЖЦ следующий:

- 1) определение функциональных и потребительских качеств объекта, что со-

ответствует составлению ТЗ;

2) выбор функциональной структуры, принципа действия и технического решения, что соответствует разработке технического предложения или (и) технического проекта;

3) рабочее проектирование, связанное с расчетом и оптимизацией параметров объекта, выбором и разработкой технологии изготовления, составлением проектной документации;

4) изготовление, контроль и испытание объекта;

5) транспортировка и хранение объекта;

6) эксплуатация, диагностика неисправностей и ремонт объекта;

7) утилизация объекта в результате его физического или морального старения.

Наибольшее число задач технического творчества возникает на этапах 1, 2; характерны такие задачи и для этапов 4, 6, 7.

Жизненный цикл СТС — это непрерывный процесс, начинающийся с момента принятия решения о необходимости создания СТС и заканчивающийся в момент полного ее изъятия из эксплуатации. В общем случае жизненный цикл любой СТС состоит из нескольких основных этапов: анализа и проектирования, разработки, внедрения, эксплуатации, модернизации в процессе эксплуатации и списания (снятия с эксплуатации). Жизненный цикл СТС состоит из следующих фаз: предпроектной фазы, разработки проекта СТС, реализации проекта СТС, функционирования СТС.

Содержанием «Предпроектной фазы» является внешнее проектирование (макропроектирование) СТС на основе проектных требований. Основным результатом фазы является исходное описание АСОИУ в виде ТЗ на ее разработку.

Содержанием фазы «Разработка проекта СТС» является внутреннее проектирование (микропроектирование) СТС по ТЗ. Основным результатом фазы является описание СТС в виде проектной, конструкторской, эксплуатационной документации.

Содержанием фазы «Реализация проекта СТС» является изготовление СТС и ввод в эксплуатацию. Основным результатом фазы является подтверждение готовности СТС к эксплуатации.

Содержанием фазы «Функционирование СТС» является эксплуатация и сопровождение системы. Основным результатом фазы — достижение цели создания системы.

Проектирование необходимо отличать от конструирования (разработки) системы. Для проектировочной деятельности исходным является социальный заказ, т.е. потребность в создании определенных объектов, вызванная либо «разрывами» в практике их изготовления, либо конкуренцией, либо потребностями развивающейся социальной практики и т.п. Продукт проектировочной деятельности в отличие от конструкторской выражается в особой знаковой форме — в виде текстов, чертежей, графиков, расчетов, моделей в памяти ЭВМ и т.д.

Конструирование техническое — процесс создания технического объекта с определенными в ТЗ полезными свойствами. Результат конструкторской деятельности должен быть обязательно материализован в виде опытного (эксперимен-

тального) образца, с помощью которого уточняются расчеты, приводимые в проекте, и конструктивно-технические характеристики проектируемой СТС.

Проблемы, возникающие при проектировании АСОИУ

АСОИУ как объект конструирования (разработки) представляет собой СТС (технический объект, изделие) с такими свойствами, как [4–6]:

- целенаправленность — система создается для определенных конкретных целей;
- целостность — единая система связанных между собой элементов;
- членимость (декомпозиция);
- иерархичность — выделение элементов по составляющим системы;
- многоаспектность — расчет совокупности параметров во многих аспектах его природы;
- развиваемость.

При конструировании (разработке) СТС возникают проблемы, относящиеся не только к свойствам их составных частей (элементов, подсистем), но также и к закономерностям функционирования объекта в целом (общесистемные проблемы). Появляется широкий круг специфических задач, таких как определение общей структуры системы, организация взаимодействия между подсистемами и элементами, учет влияния внешней среды, выбор оптимальных режимов функционирования, оптимальное управление системой и т.д.

Проектирование АСОИУ — сложный многошаговый, многокритериальный итерационный процесс, осуществляемый, как правило, большими коллективами людей под руководством опытных специалистов (главных конструкторов). При этом о проблемах и трудностях, возникающих при проектировании и разработке АСОИУ, можно составить представление по перечислению работ, выполняемых на разных его этапах и стадиях.

Процесс проектирования АСОИУ или ее крупных подсистем (модулей) удобно представить состоящим из двух взаимосвязанных и взаимообусловленных этапов:

- 1) внешнего (системного) проектирования — обоснование исходных данных для проектирования системы;
- 2) внутреннего проектирования — разработка системы в соответствии со сформулированными исходными данными.

Работы, выполняемые на этапе внутреннего проектирования, разделяются на стадии, оговоренные НТД — ГОСТами, отраслевыми стандартами, стандартами предприятий-разработчиков, — которая регламентирует также виды и комплектность проектной продукции.

На этапе внешнего проектирования на основе требований заказчика к эксплуатационным, экономическим и тактическим характеристикам и параметрам определяется «идеология» системы, т.е. общие принципы построения АСОИУ, критерии качества ее функционирования, проверяется степень согласования этих критериев с целями функционирования АСОИУ, определяется перечень входных и выходных сигналов системы, диапазон и точность их представления, составля-

ется далее перечень задач, решением которых достигаются цели функционирования и исследуются возможности их технической реализации.

На этом же этапе определяется состав системы, взаимосвязи между составляющими ее подсистемами (модулями), режимы работы системы и временные диаграммы ее работы в различных режимах, требования к техническим характеристикам подсистем, требования к системе математического, программного и информационного обеспечения, к персоналу, обслуживающему систему.

Этап внешнего проектирования заканчивается разработкой частных ТЗ на отдельные подсистемы АСОИУ и, возможно, принятием решения о необходимости разработки новой или уникальной аппаратуры или проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР) для определения возможности использования в АСОИУ новых информационных технологий и перспективных технических решений.

Общей методики внешнего проектирования АСОИУ вследствие многообразия областей их применения, а также неформального характера решаемых проблем пока не существует. Для обоснования решений и требований ТЗ широко используются методы системного анализа, исследования операций, математического моделирования с применением ЭВМ, имитационно-моделирующие комплексы.

Методология системного проектирования и разработки АСОИУ

Предлагаемая ниже схема системного проектирования и разработки АСОИУ представляет собой систему действий (технологических операций) проектировщика и разработчика по созданию опытного (экспериментального) образца системы.

Схема реализует следующие основные положения системного подхода к процессу проектирования и конструкторскому процессу [2–5]:

- разработка проекта идет от общего к частному, а не наоборот;
- проектировщику и конструктору следует братья за решение частных задач, только проработав общие задачи;
- при разработке частных задач необходимо учитывать технические решения, принятые на более ранних этапах проектирования;
- новые технические решения появляются в результате творческого процесса, носящего итерационный характер последовательных приближений к цели;
- получение рационального технического решения достигается рассмотрением максимального числа вариантов и их углубленным анализом;
- при принятии решения требования оптимального функционирования технических средств системы преобладают над другими, например, экономическими;
- при проектировании необходимо производить инженерные расчеты;
- экономическая оценка технических средств системы всегда является важным стимулом получения рациональных решений, но может быть сделана не раньше, чем появятся варианты;
- при проектировании необходимо максимально использовать известные технические решения, представляющие собой обобщение громадного опыта и традиций предшествующего поколения разработчиков;

— для оценки принимаемых решений разработчик должен учитывать весь комплекс критериев, заключенных в таких показателях качества технических средств как функционирование, надежность, технологичность, стандартизация и унификация, а также эргономические, эстетические и экономические показатели;

— патентно-правовые показатели — необходимые критерии оценки новых конкурентно-способных технических решений;

— при проектировании новых технических средств следует задумываться об их ликвидации после истечения срока службы.

Технологический цикл разработки АСОИУ включает в себя две стадии: стадию проектирования (внешнее проектирование) и стадию разработки или конструирования системы (внутреннее проектирование).

Стадия проектирования (исследование и обоснование разработки образца АСОИУ) включает: проработки, выполняемые заказчиком и промышленностью по формированию исходных требований к проектируемой АСОИУ; разработку ТЗ на проведение НИР; выполнение научных исследований по обоснованию необходимости и созданию АСОИУ с разработкой технического предложения.

Техническое предложение разрабатывается с целью уточнения требований ТЗ на основе предварительной оптимизации различных вариантов решения задач. Техническое предложение (аванпроект) содержит тактико-технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности разработки АСОИУ. На этом этапе разрабатывается проект ТЗ на ОКР.

Комплекс ОКР по созданию АСОИУ составляет содержание стадии разработки опытного образца изделия. После разработки рабочей конструкторской (РКД) и технической документации (ТД) на АСОИУ, изготовления и испытаний ее опытного образца организуется промышленное производство.

Высокая эффективность разрабатываемых АСОИУ обеспечивается принятием правильных решений на всех стадиях. Допущенные просчеты на одной из стадий сказываются на предыдущих. Особенно высока ответственность за принятие решений на первоначальных стадиях ЖЦ изделия, где формируется его технический облик, основные характеристики, конструкция и т.п.

Началу организации проектных работ и открытию заказа на ОКР по созданию АСОИУ предшествуют исследования возможностей, изыскания путей и обоснование необходимости разработки опытного образца техники, что составляет содержание начальной стадии ее жизненного цикла. Комплекс работ, выполняемых на этой стадии, направлен на формирование уровня качества АСОИУ, соответствующего, по данным отечественной и зарубежной информации, современным достижениям научно-технического прогресса и тенденциям развития АСОИУ рассматриваемого класса.

Стадия «Исследование и обоснование разработки образца АСОИУ» включает этапы: проработки заказчика и промышленности; научно-исследовательские работы по созданию АСОИУ; разработка технического предложения.

Проработки заказчика и промышленности имеют целью: проведение работ в соответствии с исходными руководящими документами, фундаментальными и поисковыми НИР, отечественной и зарубежной информацией о достижениях науки и техники, тенденциями их развития; формирование исходных требований к

образцу (составным частям образца) АСОИУ и комплектуемому имуществу, материалам и приборам (КИМП); разработку и выдачу ТЗ на выполнение НИР, Технического предложения, ОКР; рассмотрение, утверждение и выдачу ТЗ на выполнение НИР, ОКР по созданию КИМП.

Основными задачами, определяющими содержание и характер выполняемых на этой стадии НИР, можно считать: проведение исследований в области прогнозирования и перспектив развития АСОИУ; проведение исследований по машинному проектированию; проведение исследований по стандартизации, унификации и технологии производства АСОИУ; разработку на базе фундаментальных исследований ТТЗ для последующего проведения ОКР; изыскание принципов и путей создания опытного образца системы; исследование вопросов применения АСОИУ по назначению; разработку проекта ТЗ на ОКР и проектов нормативно-технической документации и другой ТД по результатам исследований; разработку ТЗ на техническое предложение и другие НИР.

Первоначальный этап стадии разработки АСОИУ начинается с ОКР по созданию опытного образца системы и ее составных частей. Организация работ и открытие заказа осуществляются на основании ТТЗ, договора, калькуляции ориентировочной сметной стоимости, а также в соответствии с производственно-тематическим планом предприятия-исполнителя ОКР.

Этап завершается разработкой проектной документации (эскизного, технического проекта), РКД и ТД. НИР и ОКР должны сопровождаться проведением патентных исследований, изучением и анализом отечественных и зарубежных технических решений, защищенных патентами (авторскими свидетельствами), что является важнейшим критерием качества и научно-технического уровня выполнения этих работ.

По окончании изготовления опытного образца составных частей АСОИУ выполняются предварительные испытания с корректировкой по их результатам РКД и ТД.

Межведомственные (приемочные) испытания опытных образцов составных частей АСОИУ проводятся после доработок, устранения дефектов и недостатков, выявленных в процессе предварительных испытаний. Решение о выполнении составных частей опытного образца системы принимается при положительных результатах приемочных испытаний, и после доработки (корректировки) РКД и ТД.

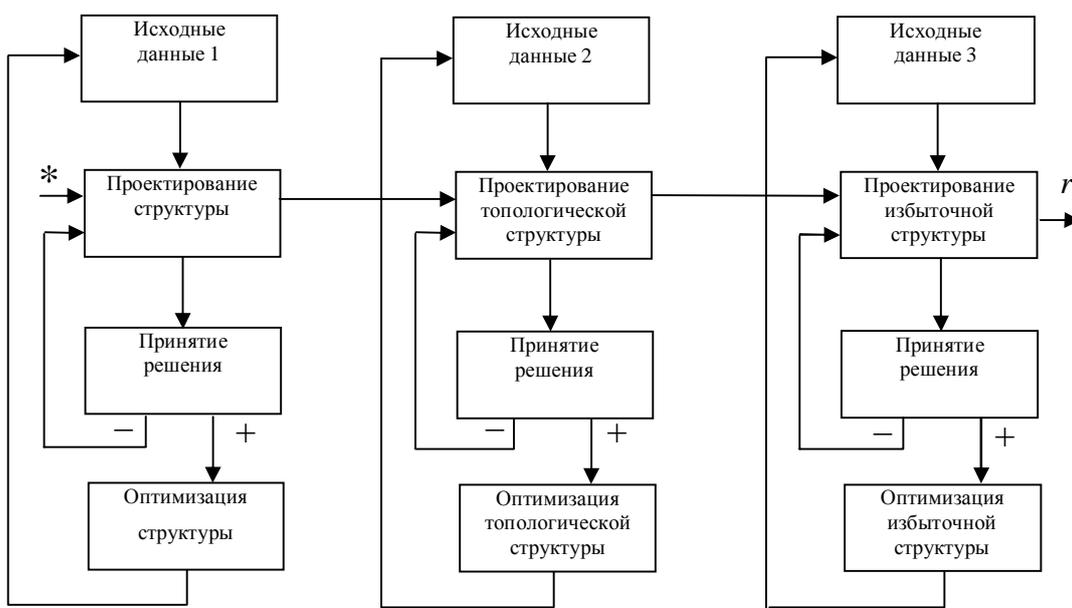
В процессе изготовления опытного образца системы ее элементы настраиваются, налаживаются и подвергаются испытаниям в лабораторных условиях и на стендовом оборудовании. Оценка специальных, технических и эксплуатационных характеристик АСОИУ и установление их соответствия требованиям ТЗ выполняются при проведении предварительных испытаний ее опытного образца. Этими испытаниями определяется готовность опытного образца к проведению приемочных (государственных) испытаний.

Предварительные испытания могут проводиться на полигонах, лабораторно-испытательных базах (центрах) заказчика или предприятию промышленности, имеющих испытательное оборудование, аппаратуру и другие материально-технические средства, предусмотренные программой испытаний.

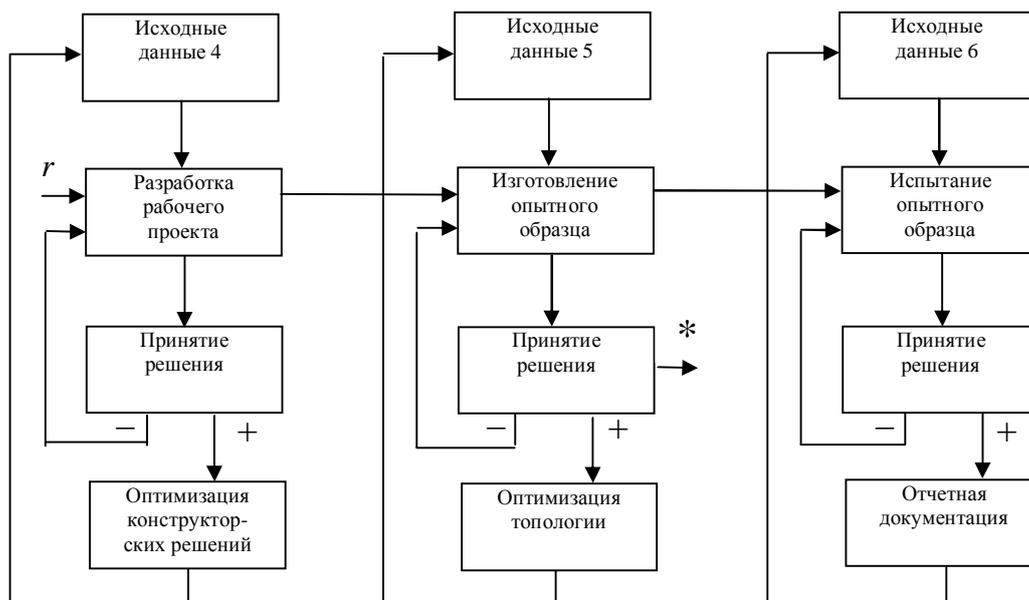
Государственные испытания опытного образца системы проводятся с целью проверки и подтверждения соответствия основных характеристик системы требо-

ваниям ТЗ в условиях, максимально приближенных к условиям их применения по назначению. По результатам госиспытаний принимается решение о возможности принятия АСОИУ в эксплуатацию с постановкой на промышленное производство или о ее доработке.

Структура технологического цикла проектирования и разработки опытного образца АСОИУ представлена на рис. 1.



А — стадия проектирования системы



Б — стадия конструирования (разработки) системы

Рис. 1. Схема технологического цикла проектирования и разработки системы

На схеме отражены две стадии создания системы: стадия проектирования и стадия разработки (конструирования) АСОИУ.

Процедуры, выполняемые на стадии проектирования АСОИУ

Стадия проектирования АСОИУ включает процедурные «стволы» 1–3.

Ствол (контур) 1 — проектирование структуры системы. *Исходные данные* 1: функциональная структура, алгоритмы управления и функционирования, ресурсы, базы данных (БД), традиции и опыт — база знаний (БЗ), цели и ограничения. *Проектные процедуры*: 1) элементное отображение алгоритмов; 2) синтез структуры в базе функциональных устройств; 3) синтез принципиальных схем типовых устройств; 4) синтез структуры в базе принципиальных схем устройств; 5) расчет параметров и оценка ограничений. *Принятие решения*: «–» — изменить: а) элементную базу; б) структуру устройств; в) состав функций системы; ТЗ. Прекратить проектирование. Обратная связь — повторить процесс (цикл) проектирования; «+» — оптимизация структуры системы по заданным критериям и ограничениям. Обратная связь — уточнить исходные данные.

Ствол (контур) 2 — проектирование топологической структуры системы. *Исходные данные* 2: требования к топологии системы; условия размещения; критерии и ограничения; ресурсы; БЗ и БД. *Проектные процедуры*: 1) синтез топологической не избыточной структуры; 2) дополнение структуры устройствами связи и согласования; 3) расчет параметров и оценка запасов по ограничениям: массогабаритные показатели, надежность, живучесть и др. *Принятие решения*: «–» — изменить: а) элементную базу; б) упростить алгоритм; в) перераспределить функции между оператором и автоматикой; г) изменить состав функций системы; д) изменить ТЗ; е) прекратить проектирование. Обратная связь — повторить процесс (цикл) проектирования; «+» — оптимизация топологической не избыточной структуры системы по заданным критериям и ограничениям.

Ствол (контур) 3 — проектирование (синтез) избыточной структуры системы. *Исходные данные* 3: критерии и ограничения; категоричность; влияние отказов элементов; ресурсы; БЗ и БД. *Проектные процедуры*: 1) синтез избыточной структуры; 2) дополнение структуры кворумными и согласующими элементами и устройствами; 3) расчет параметров, критериев и оценка запасов по ограничениям: надежности, живучести, числу операторов по управлению и обслуживанию и др. *Принятие решения*: «–» — а) перераспределить избыточность; б) изменить состав функций системы; в) упростить алгоритмы; г) прекратить проектирование. Обратная связь — повторить процесс (цикл) проектирования; «+» — оптимизация избыточной структуры. Обратная связь — уточнить исходные данные.

Процедуры, выполняемые на стадии разработки (конструирования) системы

Стадия разработки (конструирования) системы включает процедурные «стволы» 4–6.

Ствол (контур) 4 — разработка рабочего проекта. *Исходные данные* 4: критерии, ограничения; ресурсы; параметры; БД и БЗ. *Конструкторские процедуры*: 1) разработка РД на опытный образец системы в согласованном объеме; 2) уточне-

ние алгоритмов, структуры, схем, состава элементов; 3) расчет параметров и критериев системы по результатам рабочего проектирования и оценка по ограничениям. *Принятие решения:* «←» — а) изменить состав элементов; б) уточнить алгоритмы; в) уточнить параметры; г) изменить схемы; д) уточнить ограничения. *Обратная связь* — повторить цикл конструирования; «+» — оптимизация конструкторских решений. *Обратная связь* — уточнить исходные данные.

Ствол (контур) 5 — изготовление опытного образца. *Исходные данные 5:* технологическая оснастка; критерии и ограничения; ресурсы; БД и БЗ (опыт, традиции). *Процедуры:* 1) изготовление опытного образца в согласованном объеме; 2) настройка аппаратуры и сдача по техническим условиям; 3) оценка соответствия опытного образца требованиям ТТЗ. *Принятие решения:* «←» — а) доработать опытный образец — обратная связь; б) повторить цикл проектирования по принятому решению о доработке образца; «+» — оптимизация технологии. Обратная связь — уточнить исходные данные.

Ствол (контур) 6 — испытания опытного образца системы. *Исходные данные 6:* испытательное оборудование (стандартное и нестандартное); измерительная аппаратура; ресурсы; БД и БЗ (опыт, традиции, НТД). *Процедуры:* 1) испытания опытного образца; 2) определение характеристик и параметров; 3) оценка соответствия ТТЗ. *Принятие решения:* «←» — повторить цикл испытаний — обратная связь; «+» — а) описание результатов, отчетная документация; б) накопление опыта работы (БЗ и БД); в) предложения по модернизации образца; г) конец (завершение) работ.

Организация разработки (конструирования) системы

Современный разработчик решает задачу проектирования АСОИУ эвристическими методами в непосредственном взаимодействии с ЭВМ в рамках широко применяемых диалоговых систем, с использованием принципа комбинаторики. С помощью ЭВМ проводится выбор рационального проектного решения из множества вариантов. Система эвристических методов, содержащая множество правил, рекомендаций и программ, позволяет принять решение в процессе проектирования системы. Процесс принятия решения состоит из следующих основных пяти этапов: постановки задачи, поиска решения, принятия решения, выполнения решения, оценки полученного результата.

Структура процессов принятия решения представлена на рис. 2.

При разработке АСОИУ перечисленные этапы имеют следующий смысл.

Постановка задачи — формирование требований к системе. На этом этапе разрабатывается расширенное ТЗ, которое представляет собой документ, устанавливающий основное назначение и показатели качества изделия, технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к изделию (стадия проектирования — ТЗ и техническое предложение).

Поиск решения — подбор вариантов конструкции, удовлетворяющих сформулированным на первом этапе требованиям, или разработка нового варианта (стадия проектирования — эскизный проект).

Принятие решения — выбор предпочтительного варианта из отобранных по критерию качества, который оговаривается в постановке задачи (стадия проекти-

рования — технический проект).

Выполнение решения — разработка конструкторской документации на выбранный вариант конструкции АСОИУ, изготовление опытного образца (стадия проектирования — рабочий проект).

Оценка полученного результата — сравнение показателей и параметров разработанной системы с требованиями ТЗ.

Наиболее ответственными этапами в процессе проектирования АСОИУ являются поиск и принятие решения.

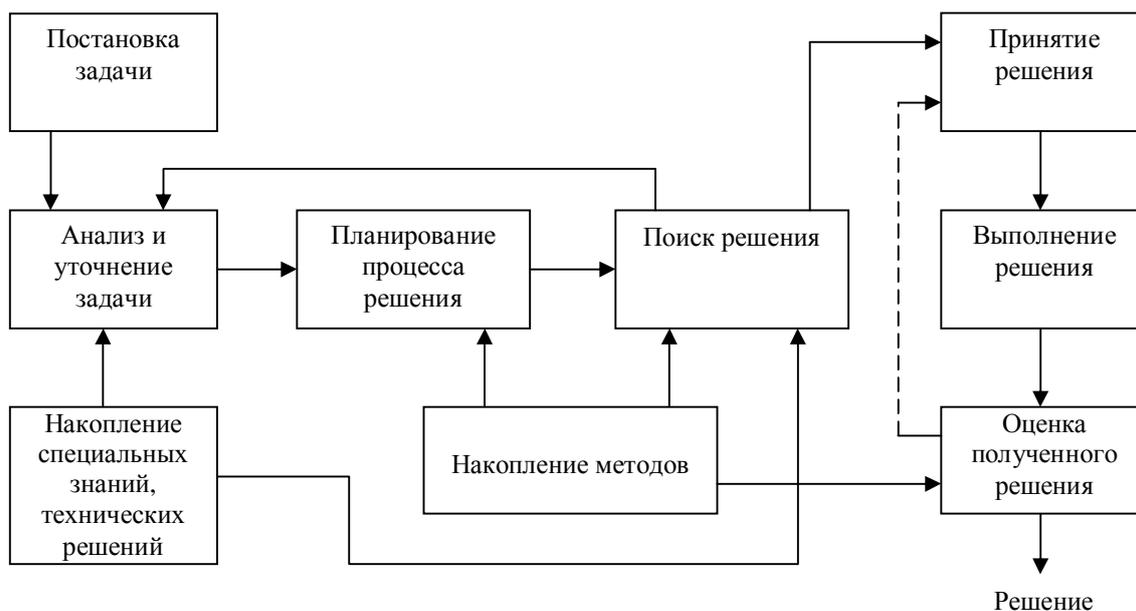


Рис. 2. Структура процессов принятия решения

Следует отметить, что главной задачей процесса конструирования является создание высокоэффективной АСОИУ. В процессе проектирования (разработки) системы необходимо учитывать множество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых технических требований, предъявляемых к конструкции отдельных устройств и АСОИУ в целом. Такими требованиями являются: назначение и область применения АСОИУ; заданные электрические характеристики (рабочие частоты, быстродействие, мощность, точность, помехоустойчивость и др.); условия эксплуатации (диапазоны рабочих температур, влажность, пыль, удары, вибрации и т.д.); конструкционные параметры (масса, габариты, надежность, живучесть, тепловые режимы и т.д.); технико-экономические характеристики (стоимость, технологичность, унификация и стандартизация); организационно-производственные факторы (сроки разработки системы, серийность и др.); наличие и уровень элементной базы.

НИР и ОКР по созданию АСОИУ должны сопровождаться проведением патентных исследований, изучением и анализом отечественных и зарубежных технических решений, защищенных патентами (авторскими свидетельствами), что

является важнейшим критерием качества и научно-технического уровня выполнения этих работ.

Создание АСОИУ требует различного вида поддержки проектно-конструкторского процесса: информационной, аналитической и экспертной.

Информационная поддержка проектно-конструкторского процесса. В качестве элементов необходимой информационной поддержки проектно-конструкторского процесса выступают: каталоги известных технических решений и их элементов; различные справочники по физическим эффектам, методам и способам преобразования вещества, энергии и информации; сборники апробированных правил синтеза технических решений для систем различных видов, методов анализа вариантов технических решений и методов принятия решений на разных стадиях проектирования; описание рекомендуемых правил расчета тактико-технических и технико-экономических показателей новых технических средств и их элементов; обзоры по системам-прототипам; материалы патентных исследований; научно-технические отчеты; нормативная и нормативно-техническая информация; публикации в зарубежной и отечественной печати; системы информационных обязательств.

Аналитическая поддержка проектно-конструкторского процесса. В качестве элементов аналитической поддержки проектно-конструкторского процесса выступают: аналитические расчеты показателей эффективности, тактико-технических характеристик и параметров АСОИУ; математическое и имитационное моделирование особых условий и режимов; математическое моделирование функционирования подсистем и АСОИУ; методы обработки информации.

Экспертная поддержка проектно-конструкторского процесса. В качестве элементов экспертной поддержки выступают: традиции и опыт; сочетание результатов аналитических расчетов, математического, полунатурного и натурального моделирования и испытаний; экспертные оценки научно-технического уровня; сравнительные характеристики прототипов и проектируемой системы; прогноз развития систем в мировой практике; оценка полученного результата — сравнение показателей и параметров разрабатываемой системы с ТЗ.

Увеличение объема информации, поступающей конструкторам, усложнение решаемых проектных задач, необходимость учета большого числа взаимосвязанных факторов и быстро меняющихся требований к проектируемому объекту требуют использовать компьютерные системы поддержки принятия решений (СППР). СППР являются человеко-машинными объектами, которые позволяют лицам, принимающим решения, использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем (задач).

К слабоструктурированным относятся задачи, которые содержат как количественные, так и качественные оценки проблемы, причем качественные имеют тенденцию доминировать. Неструктурированные проблемы имеют лишь качественное описание. Процедура принятия решений с помощью СППР представляет собой итеративный процесс взаимодействия конструктора и компьютера. СППР позволяют решать следующие задачи: генерирование возможных вариантов конструкторских решений; оценку этих вариантов и выбор наилучшего варианта;

обеспечение постоянного обмена информацией между конструкторами о принимаемых ими решениях и помощь в согласовании групповых решений; моделирование принимаемых решений (в тех случаях, когда это возможно); оценку соответствия выполнения принятых конструкторских решений намеченным целям.

С помощью СППР представляется возможность осуществлять поддержку деятельности конструктора системы по следующим направлениям.

Автоматизация проектирования: автоматизация выявления требований к АСОИУ как объекта проектирования (составление тактико-технических требований; формирование ТЗ; прогнозирование свойств АСОИУ); автоматизация проведения расчетов (расчета характеристик; проверочных расчетов); автоматизация синтеза (структурного синтеза; параметрического синтеза; построения «деревьев» решений); автоматизация анализа (математической модели АСОИУ; работоспособности модели АСОИУ); автоматизация формализации описания ОП; автоматизация обработки исходных данных; автоматизация генерации документации; автоматизация постановки задачи.

Автоматизация планирования: автоматизация составления плана работ; автоматизация генерации графика работ; автоматизация плана работ.

Информационная поддержка деятельности конструктора: предоставление (набора подсистем-прототипов АСОИУ; каталога типовых элементов; набора стандартов; набора методов для процедур); выдача рекомендаций по этапам.

Автоматизация контроля и управления: контроль действий; автоматизация управления ресурсами; контроль выполнения плана; автоматизация документооборота.

Автоматизация принятия решений: оценка решений на различных этапах; выбор направления (стратегии); выбор метода творчества; оценка качества на различных этапах; поддержка принятия решения.

Декомпозиция задач проектирования АСОИУ

Одним из основных приемов, используемых при проектировании АСОИУ по «шкагам», является декомпозиция [6–8]. Путем декомпозиции осуществляется сведение единой сложной слабо связанной задачи проектирования АСОИУ к множеству локальных подзадач, где локальность понимается в смысле тенденции подзадач к сепарабельности по переменным, то есть поведение каждой подзадачи почти полностью определяется подмножеством переменных исходной задачи проектирования (оптимизации), в то время как остальные переменные оказывают на нее весьма ограниченное влияние.

Можно выделить три основных принципа выделения (декомпозиции) локальных подсистем.

1. В основе иерархической структуры S_{Σ} системы должны лежать иерархическая структура целей Z_{Σ} функционирования АСОИУ.

2. Выделяемые подсистемы P_i должны иметь свои цели Z_i , подчиняющиеся общей цели Z_{Σ} , то есть:

$$Z_{\Sigma} = \bigcap_{i \in I} Z_i(P_i),$$

где Z_{Σ} — цель АСОИ; $Z_i(P_i), i \in [1 : I]$ — цели подсистем нижнего уровня.

В свою очередь, для каждой i -й цели Z_i имеет место

$$Z_i = \bigcap_{j=1}^Y Z_{ij},$$

то есть она представляет собой пересечение некоторого непустого множества целей $Z_{ij} = (Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{ij})$, где I и Y — некоторые натуральные числа.

3. Выделяемые подсистемы должны являться определенной частью управления АСОИУ, выход которых служит входом для следующей части, то есть должна обеспечиваться целостность структуры управления.

При проектировании АСОИУ иерархическую структуру целей можно построить с помощью двух групп методов [8].

Первую группу составляют методы целевого или целенаправленного подхода, методы декомпозиции или дезагрегации, метод «дерева целей». Это методы построения структуры целей «сверху». Вторую группу составляют методы морфологического подхода (или метод Цвики), лингвистического или семиотического подхода, тезаурусного подхода или метода «языка системы», терминального подхода, метода композиции и др. Это методы построения структуры целей «снизу».

Наиболее удобным представляется описывать иерархию целей АСОИУ в терминах графов [9]. Прадерево G называется иерархией над множеством объектов Z_{Σ} , если: его вершины являются некоторыми подмножествами множества Z_{Σ} и при этом корнем G является Z_{Σ} ; множества $Z_{jk}, k \in [1 : k]$ на концах дуг, исходящих из вершин Z_{jk} , удовлетворяют условиям: $\bigcup_{i=1} Z_{ji} = Z_j, Z_{jl} = \bigcap Z_{js} = \emptyset, l, s \in [1 : k]$: висячими вершинами прадеревя G являются объекты множества Z_{Σ} .

При этом вершина (множества) Z_i принадлежит r -му уровню иерархии, если путь от корня прадеревя G до Z_i содержит r дуг.

Таким образом, дерево целей (задач) АСОИУ может быть построено на основе использования логической функции ИЛИ и отражает структуру всех задач, решение которых необходимо для достижения глобальной цели Z_{Σ} .

По мере разукрупнения задач на каждом уровне прадеревя G образуются независимые друг от друга группы задач, замыкающиеся (объединяемые) на одну цель (задачу) верхнего уровня (если дерево разворачивается сверху вниз).

Рассмотрение АСОИУ, целостная структура которой не исключает, а наоборот, предполагает относительную самостоятельность ее частей (подсистем, каналов, приборов), позволяет выделить в них собственные локальные цели подсистем Z_j , подчиненные главной цели Z_{Σ} ; в каналах выделить собственные цели Z_{jk} ,

подчиненные цели Z_j и т.д. Для образования «системы» любого уровня необходимо объединить множество «систем» низшего уровня, принадлежащих только данной высшей «системе».

Изложенный подход к разработке АСОИУ обладает универсальностью и может быть применен для рассмотрения задач системного проектирования других классов СТС. Описанная выше методология системного проектирования АСОИУ позволяет объективно подготовить проектирование новых технических систем, как традиционными методами, так и с использованием средств вычислительной техники — компьютерных систем поддержки принятия решений.

1. Путьятин В.Г., Валетчик В.А., Додонов В.А. Системный подход к проектированию автоматизированных систем обработки информации и управления // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2007. — Т. 9, № 1. — С. 56–72.

2. Окунев Ю.Б., Плотников В.Г. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи. — М.: Связь, 1976. — 184 с.

3. Овчинников В.Г. Методология проектирования автоматизированных информационных систем: основы системного подхода. — М.: Компания Спутник+, 2005. — 285 с.

4. Автоматизация поискового проектирования; Под ред. А.И. Половинкина. — М.: Радио и связь, 1981. — 256 с.

5. Бусленко Н.П., Калашиников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. — М.: Советское радио, 1973. — 450 с.

6. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Мир, 1973. — 344 с.

7. Левин Г.М., Танаев В.С. Декомпозиционные методы оптимизации проектных решений. — Минск: Наука и техника, 1978. — 240 с.

8. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. — М.: Наука, 1982. — 286 с.

9. Зыков А.А. Теория конечных графов. — Новосибирск: Наука, 1969. — 543 с.

Поступила в редакцию 05.02.2007