

Мистров Л.Е., Павлов В.А. Постановка задачи проектирования информационных систем [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2014. – № 2(18). Режим доступа [http://iea.gostinfo.ru/files/2014\\_02/2014\\_02\\_08.pdf](http://iea.gostinfo.ru/files/2014_02/2014_02_08.pdf)

УДК 519.856

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Мистров Л.Е.**, профессор Центрального филиала ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия», доктор технических наук, доцент, г. Воронеж

**Павлов В.А.**, профессор военно-учебного научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж

*Предлагается постановка задачи разработки информационных систем для объективно существующей нечеткости и неопределенности исходных представлений о системе, их задачах, составе и способах функционирования на начальной стадии проектирования. Постановка основывается на методах анализа и синтеза сложных систем, исследования операций и принятия решений в условиях неопределенности, обеспечивающих реализацию системного принципа решения задачи «синтез через анализ».*

**Ключевые слова:** информационная система, проектирование, техническое задание, неопределенность, метод, нечеткость, принцип, критерий, декомпозиция, агрегирование.

UDC 519.856

## PROBLEM DEFINITION OF DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS

**Mistrov L.E.**, professor of the VO FGBOU Central branch «Russian state university of justice», Doctor of Engineering, associate professor, Voronezh

**Pavlov V.A.**, professor of the military-training Air Force scientific center «Military and air academy of the prof. N. E. of Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Candidate of Technical Sciences, the associate professor, Voronezh

*The problem definition of development of information systems for objectively existing illegibility and uncertainty of initial ideas of system, their tasks, structure and ways of functioning at an initial design stage is offered. Statement is based on methods of the analysis and synthesis of difficult systems, researches of operations and the decision-making in the conditions of uncertainty providing realization of the system principle of the solution of a task “synthesis through the analysis”.*

**Keywords:** information system, design, specification, uncertainty, method, illegibility, principle, criterion, decomposition, aggregation.

1. **Введение.** Современный этап развития общественных отношений характеризуется возрастанием социально-экономической напряженности, связанной с возникновением и развитием конфликтов различного типа организационно-технических систем и требует познания сущности, содержания и особенностей развития различной сложности и целевой направленности систем, особенно их информационных систем (ИС), предназначенных для решения разнообразных информационных задач. Это обусловлено тем, что ИС в современном мире приобрели глобальное распространение и доминирующую роль во всех сферах человеческой деятельности. Для них характерны широкий диапазон реализуемых возможностей, тенденции к самоорганизации и большой объем перерабатываемой информации.

ИС представляет совокупность объединенных общностью цели подсистем управления и исполнения, обеспечивающих выполнение системой поставленных задач с заданным качеством. Их функционирование, как правило, направлено на разрешение ресурсных конфликтов: разные цели, ограничения и ресурсы и имеет целью разрешение различного типа конфликтов их надсистем – целевых организационно-технических систем в различных условиях обстановки. От результатов их функционирования зависит процесс развития, жизнедеятельности и гибели любой организационно-технической системы. На начальной стадии жизненного цикла ИС задача проектирования состоит в обосновании облика системы (принципов построения, функционирования, основных характеристик и параметров), достаточного для разработки технического задания (ТЗ) на разработку.

Характерным при решении задачи проектирования ИС является нечеткость и неопределенность исходных представлений о системе, её задачах, составе и функционировании, что затрудняет возможность

применения известных методов проектирования систем [2, 3] и выдвигает на первый план необходимость более широкого и последовательного применения методов анализа сложных систем [3, 6], исследования операций [4, 5] и принятия решений [7].

Цель настоящей статьи – разработка общей постановки для решения задачи проектирования ИС, их декомпозиции и агрегатирования с учетом особенностей, существующих на начальной стадии жизненного цикла системы.

**2. Общая постановка задачи проектирования.** В общем (широком смысле) постановка задачи проектирования ИС состоит в определении среди её допустимых вариантов предпочтительного варианта. Различают содержательную и формальную постановки задачи проектирования. Общая содержательная постановка задачи проектирования ИС в широком смысле должна включать:

- формулировку целей, для достижения которых создается ИС, определение условий её целевого применения;
- формирование множества допустимых (удовлетворяющих заданным ограничениям) вариантов ИС;
- выбор из допустимых вариантов ИС предпочтительного варианта, который максимально удовлетворяет заданным целям.

В таком виде постановка задачи фактически перекрывает весь диапазон применения возможных методов проектирования ИС и в настоящее время практически не формализуется. В целях обеспечения процесса формализации постановка задачи решается только применительно к выбору предпочтительного варианта. Реализацию перехода от содержательной постановки задачи к формальной возможно осуществить на основе анализа содержания понятий «предпочтительность» и «выбор». В основном решение задач выбора базируется на математической процедуре попарного сравнения вариантов ИС. Достоинствами такой процедуры являются наглядность, ясность физического содержания и возможность сравнительно простой

формализации. Этим объясняется широкое использование процедуры попарного сравнения при проектировании различного рода технических и организационно-технических систем. Теоретическая и практическая конструктивность процедуры попарного сравнения альтернатив даёт основание использовать её и для выбора предпочтительных вариантов ИС.

Основой реализации попарного сравнения вариантов или процедуры выбора служит аппарат бинарных отношений. С его помощью предпочтительность может находиться с позиции принципов [8] рациональности и удовлетворения. Исходя из первого принципа предпочтительными являются те варианты ИС, которые лучшие по определённому отношению предпочтения, а второго – отбираются только те варианты, которые не хуже некоторых данных, заранее определенных вариантов.

Исходя из содержательного анализа характеристик, условий функционирования ИС и её задачи проектирования осуществляется на основе анализа ТЗ заказчика обоснование и выбор основного принципа предпочтительности, несмотря на то, что преимущественно при проектировании ИС используется рациональности [9]. В соответствии с этим принципом и осуществим разработку в общем виде математической постановки задачи проектирования ИС.

С этой целью через  $R$  определим бинарное отношение предпочтения на некотором множестве допустимых вариантов ИС  $V_D$ . будем считать, что имеется некоторый вариант  $v' \in V_D$ , который является не менее предпочтительным некоторого другого  $v'' \in V_D$  (определим его, через  $v^{opt}$ ). Как правило, таких вариантов  $v^{opt}$  несколько, множество которых  $\{v^{opt}\} = V^{opt}$  составляет ядро отношения  $R$  – его обозначим  $Max\langle V_D, R \rangle$ . Тогда общая математическая постановка задачи проектирования ИС будет иметь вид:

$$V_D = Max\langle V_D, R \rangle, \quad (1)$$

т.е. задача поиска ядра отношения  $R$  на  $V_D$  базируется на основе принципа рациональности, математически формализуемого с использованием принципа максимального элемента.

При проектировании ИС, в основном,  $R$  задается вследствие неопределенности ТЗ и некорректности характеристик на начальном этапе проектирования, не на множестве  $V_D$ , а на множестве их оценок эффективности [3], что может привести к неправильному формированию предпочтительных вариантов.

Анализ формулировки задачи (1) показывает, что приведенная постановка задачи проектирования ИС принадлежит к обратным оптимизационным математическим задачам. Исходя из этого, для нее должны выполняться требования корректности по Адамару [6]: обязательность существования задачи, его единственность и устойчивость применительно к небольшим изменениям параметров задачи.

Найдем свойства  $V_D$  и  $R$ , при которых задача (1) будет являться корректной. Необходимость существования смысла задачи проектирования ИС обуславливает требования не пустоты  $V_D$ , которое должно содержать хотя бы два варианта ИС, т.е.  $V_D \neq \emptyset$  и  $V^{opt} \subseteq V_D$ . Помимо этого, в результате завершения разработки проекта ИС мощность ядра  $V^{opt}=1$ , так как тактико-технические требования (ТТТ) и способы её функционирования должны соответствовать конкретным типам ИС.

В общем случае, свойства  $R$  должны отражать естественные взаимосвязи между элементами  $V_D$ . Исходя из того, что процедура сравнения варианта ИС с самим собой не имеет физического смысла,  $R$  должно являться антирефлексивным. Одновременно  $R$  должно также являться транзитивным, так как если первый вариант ИС предпочтительнее некоторого другого, а тот предпочтительнее третьего варианта, то первый вариант будет являться предпочтительным относительно третьего. Для антирефлексивного и транзитивного свойств отношения  $R$  предпочтения характерно свойство

ацикличности [6] – это при  $V_D \neq \emptyset$  является необходимым и достаточным условием непустоты ядра  $\text{Max}\langle V_D, R \rangle$ . Вследствие этого, при  $V_D \neq \emptyset$  и  $R$  антирефлексивно и транзитивно, можно заключить о существовании решения задачи (1).

Для задачи проектирования ИС характерно наличие множества неопределенных факторов, основными из которых как функции причин, их вызывающих, являются следующие:

- вытекающие из не до конца определенного на этапе формирования ТЗ заказчиком выполняемых задач ИС;
- связанные с неполнотой знания условий целевого применения ИС;
- появляющиеся из-за недостаточного уровня знаний специалистов проектирования и развития технических средств для реализации аппарата проектирования;
- связанные с нечетким представлением условий (организационных, экономических, технологических и др.) реализации требований к ИС.

Неясность представления на начальных этапах проектирования задач ИС (неопределенность целей [4]) типична при проектировании любой системы. Специалисты проектирования никогда точно не знают целей заказчика, а заказчик, в свою очередь, не может их сформулировать достаточно однозначно. Неопределенность целей затрудняет структуризацию задачи проектирования. Поэтому на начальных этапах проектирования ИС доминируют её качественные, описательные характеристики. На последующих этапах проектирования, когда облик ИС уже определен, задача может быть структурирована – это позволяет осуществить формализацию математической постановки задачи. Для данного типа неопределенности отсутствуют формальные методы учета, так как она представляет множество представлений заказчика о выполняемых задачах ИС, опосредственно влияя на другие виды неопределенностей. Её наличие в (1) приводит к появлению многозначности при формировании отношения  $R=(R_1, \dots, R_I)$ :

$$V^{opt} = \text{Max} \langle V_D, (R_1, \dots, R_l) \rangle. \quad (2)$$

При условии, что  $R_i \cap R_j \neq \emptyset$ , решение (2) возможно определить относительно просто, так как  $V^{opt} \subseteq \bigcap_{i \in I} R_i$ , иначе требуется привлечение методов решения многокритериальных задач [7].

В общем случае, неопределенность условий функционирования ИС характеризуется, как правило, наличием ошибок прогнозирования её характеристик, обусловленных сравнительно большим циклом (10...15 лет) создания ИС и конкурентного противодействия. Соответствующие активные действия конкурентов на разработку ИС также могут привести к изменению структуры и характеристик её элементов управления, совершенствование средств и способов их применения. Помимо этого, ошибки прогнозирования обликочных параметров ИС приводят к возрастанию неопределенности её контрдействий. Это позволяет неопределенность условий функционирования ИС условно разделить на независимую и зависимую от облика ИС неопределенности. Первую из них можно отнести к «природной» неопределенности [4, 7], влияние которой приводит к погрешности в задаче проектирования ИС количественного определения  $R$ . Применение критериев Сэвиджа, Вальда, Лапласа или Гурвица, основанных на той или иной степени риска  $\chi$  субъекта проектирования позволяет парировать «природную» неопределенность. Это обеспечивает преобразование постановки задачи проектирования ИС к следующему виду:

$$V^{opt}(\chi) = \text{Max} \langle V_D, R(\chi) \rangle. \quad (3)$$

Неопределенность как функция облика ИС является, как правило, реакцией конкурентов. Её конкретный вид априори указать невозможно, но возможно спрогнозировать некоторое множество таких реакций. Это приводит к многозначности  $R$  и постановки задачи проектирования ИС и неопределенность условий её целевого применения, вызванная противодействием конкурентов, одинаково влияют на постановку задачи проектирования ИС, приводя её к виду (2). Аналогичный факт известен в

теории исследования операций [4].

Постановка задачи проектирования ИС при противодействии конкурентов может изменяться в зависимости от информированности конкурента и специалистов проектирования о принятых противоположной стороной стратегиях действий или решениях:

- каждая из конкурирующих сторон не обладает никакой информации об облике противоположной стороны. Это приводит к риску принятия того решения за конкурирующую сторону, преобразуя постановку задачи к виду (3);

- специалисты проектирования обладают информацией о возможных реакциях конкурирующей стороны на разработку ИС. В этом случае решение задачи проектирования находится аналогично, как и для определенных «природных» неопределенностей;

- конкурирующей стороной априорно установлен облик ИС – исходя из этого у специалистов проектирования, с учетом того, что время реакции сравнимо с циклом создания ИС, появилась возможность его выбирая управлять реакцией конкурирующей стороны. Вследствие этого задача (1) приобретает рефлексивный характер, а её постановка преобразуется к виду:

$$V^{opt} = \text{Max} \langle V_D, R(V^{opt}) \rangle. \quad (4)$$

В процессе разработки ИС специалисты проектирования используют, соответствующие накопленному опыту создания аналогичного назначения систем и достигнутому уровню развития их методологии исследований, базу знаний и технические средства проведения исследований. Известные математические постановки задач разработки ИС не позволяют в полной мере учитывать множество, в первую очередь, неформализуемых, факторов. Математические модели соответствуют процессам функционирования различного предназначения систем, а для используемых в них исходных данных характерен ряд погрешностей. Исходя и этого, на результаты проектирования ИС возможно воздействие неопределенностей, эквивалентным по своему влиянию «природным» неопределенностям.



К «природной» неопределенности может быть отнесена также неопределенность условий реализации тактико-технических требований (ТТТ) к ИС, являющаяся следствием недостаточности знаний о тенденциях развития технологий, элементной базы, ограниченного финансирования разработки средств и комплексов специального назначения др.

Постановка задачи проектирования ИС при наличии таких неопределенностей сводится к (3).

Различный вид неопределенностей приводит к необходимости использовать для их разрешения разные принципы – на практике, в основном, находят широкое применение принципы гарантированного результата и последовательного разрешения неопределенности [7].

Принцип гарантированного результата для задачи разработки ИС реализуется в постановке задачи выбором отношения  $R$  и формулируется следующим образом: при априори известной информации о тех или иных неопределенных факторах решение задачи должно искажаться при наихудших для ИС их значениях.

Принцип последовательного разрешения неопределенностей предполагает поэтапное решение задачи проектирования ИС по мере конкретизации представлений об облике ИС и её окружении и реализуется, в отличие от принципа гарантированного результата, не в постановке задачи разработки ИС, а при непосредственном её решении через информационную и организационную структуру специалистов проектирования. Это позволяет сократить множество  $V_D$  за счет исключения неконкурентоспособных вариантов на этапах проектирования, а также последовательно разрешить существенные для рассматриваемого этапа неопределенности.

Незнание или отсутствие у некоторых неопределенностей вероятностных характеристик не позволяет использовать для задачи проектирования ИС методов статистического поиска оптимальных решений и предъявлять высокие требования к точности исследований. Исходя из этого, вместо нахождения одного оптимального варианта облика ИС

формируется некоторое подмножество приемлемых, в границах которого определяется предпочтительный вариант, максимально привлекая к решению задачи заказчика и разработчиков комплексов и технических систем специального назначения. Поэтому при проектировании ИС концепция поиска оптимального решения должна быть заменена на концепцию поиска наиболее обоснованного решения.

**3. Декомпозиция и агрегирование задачи проектирования информационных систем.** При решении задачи проектирования ИС возникает ряд трудностей, обусловленных:

- большой мощностью множества вариантов ИС  $V_D$ , а также большой размерностью и многовариантностью вектора её параметров  $v \in V_D$ ;
- сложностью количественной проверки отношения  $R$  на множестве  $V_D$ ;
- невозможностью построения «универсального» отношения  $R$ , пригодного для нахождения предпочтительных вариантов ИС по всем аспектам, уровням и на всех этапах проектирования [1].

Для преодоления этих трудностей проводится декомпозиция задачи проектирования ИС на частные задачи, образующие в совокупности многоуровневую иерархическую систему, и последующее агрегирование (свертывание, обобщение) их решений в общее.

Декомпозиция и агрегирование задачи проектирования ИС может проводиться по аспектам и по уровням проектирования [1]. Первая из них основывается на установлении отношения иерархии между парами аспектов проектирования: «аспект целевого применения – технический аспект» и «организационно-функциональный аспект – системотехнический аспект». Декомпозиция по уровням проектирования основывается на воспроизведении в иерархической структуре системы частных задач проектирования иерархической структуры ИС.

При декомпозиции и агрегировании задачи проектирования ИС в контексте «аспект целевого применения – технический аспект» множество

допустимых вариантов  $V_D$  представляется в виде пересечения двух подмножеств: множества вариантов ИС, допустимых с позиции целевого применения  $V_D^{\text{Ц}}$  и множества вариантов, допустимых с позиции технической реализуемости  $V_D^{\text{T}}$ , то есть  $V_D = V_D^{\text{Ц}} \cap V_D^{\text{T}}$ ,  $V_D^{\text{Ц}} \subseteq V_D^{\text{T}}$ . Отношение предпочтения  $R$  также разделяется на два отношения, которые обозначим соответственно  $R^{\text{Ц}} \subseteq V_D^{\text{Ц}}$  и  $R^{\text{T}} \subseteq V_D^{\text{T}}$ . Такое разделение множеств обусловлено несколькими причинами. Во-первых, принципиально отличаются предметные области исследований специалистов по целевому применению ИС и специалистов по разработке элементов. Соответственно, отличаются и применяемые ими модели и методики. Во-вторых, специалисты по целевому применению ИС более полно представляют цели заказчика, задачи ИС, условия её целевого применения. Поэтому именно от них должно исходить задание по формированию множества  $V_D$ . С другой стороны, специалисты по разработке элементов более детально знают о возможностях разработчика, существующих технологиях, элементной базе, обладают опытом реальных разработок ИС. Это позволяет им в отличие от специалистов по целевому применению ИС более обоснованно с учетом технической реализуемости сформировать множество  $V_D$ . В-третьих, модели и методики специалистов по целевому применению ИС малочувствительны к ряду технических характеристик входящих в её состав средств и комплексов различного назначения. Вследствие этого ядро, полученное по отношению  $R^{\text{Ц}}$  на множестве  $V_D^{\text{T}}$ , будет содержать большое число предпочтительных вариантов ИС, подлежащих дальнейшему анализу. Как правило, специалисты по целевому применению ИС оперируют небольшим числом принципиально различающихся её допустимых вариантов (концепций), описываемых ограниченным набором наиболее существенных параметров. Поэтому на множестве  $V_D^{\text{T}}$  каждая концепция ИС представляется классом эквивалентности по отношению  $R^{\text{Ц}}$ . И, наконец, в-четвертых, проработка вопросов технической реализуемости концепций ИС и дальнейшая

детализация её облика приводят к увеличению размерности вектора  $v$ , усилению мощности  $V_D^T$  и, соответственно, к увеличению трудоемкости процедуры выбора. Поэтому отношение  $R^T$  должно быть сравнительно простым, чтобы обеспечить быстрый отсев неконкурентоспособных вариантов из множества  $V_D^T$ .

Декомпозиция и агрегирование задачи проектирования ИС в контексте «аспект целевого применения – технический аспект» (при ведущем подпроцессе проектирования «целевое применение») приводит к постановке двух взаимосвязанных задач проектирования:

$$\begin{aligned} V^{opt} = V^{II\ opt} = \text{Max} \langle V_D^{II}, R^{II} \rangle, & \quad V_D^{II} = f^{II}(V^{T\ opt}), \\ V^{T\ opt} = \text{Max} \langle V_D^T, R^T \rangle, & \quad V_D^T = f^{II(-1)}(V_D^{II}), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $f^{II}$  – функция агрегирования, а  $f^{II(-1)}$  – функция декомпозиции задачи проектирования ИС.

При ведущем подпроцессе «технический аспект» постановка задачи (5) примет другой вид:

$$\begin{aligned} V^{opt'} = V^{opt'} = \text{Max} \langle V_D^{T'}, R^T \rangle, & \quad V_D^{T'} = f^T(V^{II\ opt'}), \\ V^{II\ opt'} = \text{Max} \langle V_D^{II'}, \rangle, & \quad V_D^{II'} = f^{T(-1)}(V_D^{T'}), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $f^T$  и  $f^{T(-1)}$  – соответственно функции декомпозиции и агрегирования задачи проектирования ИС при ведущем подпроцессе «технический аспект».

Функции  $f$  и  $f^{-1}$  в постановках задачи (5) и (6) не имеют аналитического вида. Поэтому процедуры декомпозиции и агрегирования осуществляются специалистами проектирования эвристически. Их взаимосвязь обуславливает необходимые информационные связи между специалистами по целевому применению ИС и по её техническому аспекту. В ходе проектирования ИС специалисты по целевому применению, не вдаваясь в детали, формируют множество концепций ИС, характеризующих лишь в общих чертах возможные принципиально отличающиеся варианты её облика. Для этого используется прогнозная информация о технической реализуемости наиболее

существенных характеристик ИС, содержащаяся в исходных данных проектирования, а также информация о разработанных ранее и/или разрабатываемых ИС аналогичного или близкого назначения, содержащаяся в базе знаний. Далее эти варианты передаются специалистам по техническому аспекту. Одновременно к ним поступают данные по используемому отношению  $R^{\Pi}$ , условиям целевого применения ИС, ограничениям. Определенные специалистами по целевому применению характеристики ИС становятся для специалистов по техническому аспекту требованиями, подлежащими технической реализации. Получив необходимую информацию, специалисты по техническому аспекту на основе проработок технического облика концепций ИС, формируют множество допустимых вариантов  $V_D^T$  и выбирают из них по отношению  $R^T$  предпочтительные. Эти варианты передаются специалистам по целевому применению, причем в целях устранения избыточности в описании облика ИС её технические характеристики обобщаются с использованием функции агрегирования  $f$ .

Специалисты по целевому применению и специалисты по техническому аспекту должны одинаково понимать, что такое предпочтительный вариант ИС. Поэтому их постановки задач должны быть определенным образом согласованы: результаты решения частной задачи верхнего уровня иерархии являются директивной информацией для частной задачи нижнего уровня иерархии, обобщенные результаты решения последней являются исходными данными для первой. Математически условие согласованности постановок задач проектирования ИС в контексте «аспект целевого применения – технический аспект» (при ведущем подпроцессе «целевое применение») формулируется следующим образом.

Определение. Задача  $V^{T\,opt} = \text{Max} \langle V_D^T, R^T \rangle$  называется  $f$  – согласованной с  $V^{\Pi\,opt} = \text{Max} \langle V_D^{\Pi}, R^{\Pi} \rangle$  задачей, если:

- 1)  $V_D^{\Pi} \in V_D^T$ ;

$$2) (\forall v^{II}, v^{III} | v^{II} R^{II} v^{III}) \wedge (\forall v^{T'} \in f^{II(-1)}(v^{III})) \Rightarrow (v^{T'} \in f^{II(-1)}(v^{II}) | v^{T'} R^T v^{T'}); \quad (7)$$

$$3) (v^{T'} R^T v^{T''} \wedge v^{T''} \bar{R}^T v^{T'}) \Rightarrow (f(v^{T'}) R^{II} f(v^{T''}) \wedge f(v^{T''}) \bar{R}^{II} f(v^{T'})).$$

$f$  – согласованность задач проектирования означает, что предпочтительный вариант ИС остается предпочтительным при переходе с аспекта целевого применения на технический аспект и обратно, то есть процедуры декомпозиции и агрегирования не должны изменять свойств внешней устойчивости ядер отношений  $R^{II}$  и  $R^T$ . Очевидно, что при этом функция агрегирования  $f$  должна быть гомоморфизмом задачи  $V^{T\,opt} = \text{Max} \langle V_D^T, R^T \rangle$  в задачу  $V^{II\,opt} = \text{Max} \langle V_D^{II}, R^{II} \rangle$ .

Аналогичное определение можно сформулировать для случая, когда ведущим подпроцессом проектирования является «технический аспект».

Декомпозиция и агрегирование задачи проектирования ИС в контексте «организационно-функциональный аспект – системотехнический аспект», используемые при этом постановки задач, требования по их  $f$  – согласованности, взаимодействие специалистов, в основном, такие же, как и в контексте «аспекте целевого применения – технический аспект». Их особенностью является частая смена в ходе проектирования ведущего подпроцесса с организационно-функционального на системотехнический и обратно.

В декомпозиции и агрегировании задачи проектирования ИС выделяются вертикальное и горизонтальное направления. В вертикальном направлении каждый из нижестоящих уровней проектирования соответствует всё более возрастающей степени детализации рассмотрения ИС. Однако это приводит к увеличению размерности задачи и обуславливает необходимость её разделения в горизонтальном направлении (в рамках одного уровня проектирования). В основе такого разделения лежит допущение о слабой взаимозависимости между определенным образом выбранными составными частями ИС. В результате появляется возможность решать частные задачи проектирования отдельных подсистем ИС независимо

друг от друга.

Рассмотрим постановку задачи проектирования ИС для вертикального направления её декомпозиции и агрегирования. Обозначим  $N$  число уровней проектирования. Наибольший номер  $i = N$  присвоим уровню внешнего проектирования. Тогда можно записать следующее рекуррентное соотношение:

$$V_i^{opt} = \text{Max} \langle V_{Di}, R_i \rangle, \quad V_{Di} = H_i [g_{i+1}^{-1}(V_{Di+1}), g_i(\text{Max} \langle V_{Di-1}, R_{i-1} \rangle)], \quad i = \overline{1, N}, \quad (8)$$

где  $g_i, g_i^{-1}$  – функции агрегирования и декомпозиции  $i$ -го уровня;

$H_i$  – функционал, обеспечивающий формирование множества допустимых вариантов ИС на  $i$ -ом уровне проектирования.

Как видно из (8) предпочтительные варианты ИС на  $i$ -ом уровне непосредственно обусловлены выборами на верхнем и нижнем системных уровнях проектирования, а в общем – на всех уровнях. Найти решение задачи (8) сразу невозможно. Это достигается путем многократного возвратно-поступательного (не итерационного) движения процесса проектирования по уровням проектирования.

Взаимодействие специалистов разных уровней проектирования осуществляется следующим образом. Представители верхних уровней передают на нижние уровни информацию директивного характера, содержащую данные о задачах, решаемых ИС, её составными частями, об условиях целевого применения ИС, ограничениях. Эта информация одновременно учитывает результаты прогноза достижимых характеристик ИС, поступающие с нижних уровней проектирования. Кроме того, представители верхнего уровня проектирования передают данные об используемом отношении предпочтения. На основании этой информации представители верхнего уровня проектирования прорабатывают с требуемой детализацией облик ИС, используя принятые на этих уровнях отношения предпочтения. Результаты выбора передаются на верхний уровень проектирования.

Для согласования задач проектирования ИС смежных уровней необходимо выполнение условий  $f$  – согласованности (7).

В горизонтальном направлении декомпозиции и агрегирования задачи проектирования ИС возможны два предельных случая:

- задачи данного уровня проектирования являются декомпозицией задачи верхнего смежного уровня проектирования;
- задачи данного уровня проектирования являются декомпозицией задачи верхнего не смежного уровня проектирования.

В первом случае при формировании множества  $V_{Di}$  результаты решения частных задач проектирования передаются с нижних уровней посредством функций агрегирования  $g_i^{(k_i)}$ ,  $k_i=1,2,\dots$  – номер частной задачи  $i$ -го уровня, во-вторых, после обобщения на верхнем  $(i+1)$ -ом уровне посредством функции декомпозиции  $g_{i+1}^{-1}$ . С учетом этого в (8) соотношение для  $V_{Di}$  будет иметь другой вид:

$$V_{Di} = H_i \{ g_{i+1}^{-1} [ H_{i+1} ( g_{i+2}^{-1} ( V_{Di+2} ), V g_{i+1}^{(l_i-1)} ( \text{Max} < V_{Di-1}^{(l_i-1)}, R_{Di-1}^{(l_i-1)} > ) ) ], \\ V g_1^{(k_i-1)} ( \text{Max} < V_{Di-1}^{(k_i-1)}, R_{Di-1}^{(k_i-1)} > ) \}, \quad l_{i-1} = \overline{1, L_{i-1}}, \quad k_{i-1} = \overline{1, K_{i-1}}, \quad (9)$$

где  $L_{i-1}$  – число задач проектирования  $(i-1)$ -го уровня, смежных с задачей проектирования  $(i+1)$ -го уровня;

$K_{i-1}$  – число задач проектирования  $(i-1)$ -го уровня, смежных с задачей проектирования  $i$ -го уровня.

Функции  $g_{i+1}^{(l_i-1)}$ ,  $g_1^{(k_i-1)}$  могут влиять друг на друга через общие или зависимые характеристики ИС. Это обуславливает специфику согласования задач проектирования в рамках горизонтального направления декомпозиции и агрегирования.

Определение. Задача  $V_i^{opt} = \text{Max} < V_{Di}, R_i >$  называется  $g$  – согласованной по совокупности с задачами  $V_{i-1}^{opt} = \text{Max} < V_{Di-1}^{(k_i-1)}, R_{i-1} >$ ,  $k_{i-1} = \overline{1, K_{i-1}}$ , если каждая из них является  $f$  – согласованной с задачей верхнего смежного уровня проектирования, где  $g$  – согласованность по совокупности означает



достижение компромисса между специалистами в представлениях о предпочтительных вариантах составных частей ИС данного уровня. Очевидно, что  $g$  – согласованность по совокупности может быть достигнута только путем возвратно-поступательного движения процесса проектирования.

Взаимодействие специалистов по горизонтали может осуществляться непосредственно путем обмена результатами решения частных задач проектирования или опосредованно, через специалистов верхнего уровня путем корректировки директивной информации, передаваемой ими на нижние уровни проектирования.

Таким образом, предложенный в статье методический подход позволяет для объективно существующей нечеткости и неопределенности исходных представлений о системе, её задачах, составе и способах функционирования сформировать на основе методов синтеза и анализа сложных систем, исследования операций и принятия решений в неопределенности, общий подход к разработке общей постановки задачи проектирования ИС различного целевого назначения.

### **Список использованных источников и литературы**

1. Мистров Л.Е. Основы методологии автоматизированного проектирования организационно-технических систем / Л.Е. Мистров // Автоматизация и современные технологии. – 2005. – № 6. – С. 3-13.
2. Вязгин В.А. Математические методы автоматизированного проектирования / В.А. Вязгин, В.В. Федоров. – М.: Высшая школа, 1989.
3. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.: Наука, 1982.
4. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. – М.: Наука, 1971.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
6. Юдин Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Д.Б. Юдин. – М.: Наука, 1989.
7. Федулов А.А. Введение в теорию статистически ненадежных решений / А.А. Федулов, Ю.Г. Федулов, В.Н. Цыгичко. – М.: Статистика, 1979.

8. Айзерман М.А. Проблемы логического обоснования в общей теории выбора / М.А. Айзерман, А.В. Малишевский. – М.: ИПУ РАН, 1980.

9. Бомбин А.М. Синтез сложной системы в условиях конфликта / А.М. Бомбин // Теория конфликта и ее приложения: Материалы III-ей Всероссийской научно-технической конференции. – Воронеж: Научная книга, 2004. – С. 93-96.

© Мистров Л.Е., 2014

© Павлов В.А., 2014