

УДК 004.414.2

Ю. Я. Самохвалов<sup>1</sup>, Е. М. Науменко<sup>2</sup>, О. И. Бурба<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ВИТИ НТУУ «КПИ»

ул. Московская, 45/1, 01015 Киев, Украина

<sup>2</sup>Институт проблем регистрации информации НАН Украины

ул. Н. Шпака, 2, 031113 Киев, Украина

<sup>3</sup>В/Ч А1906

## Формирование технического облика автоматизированных систем

*Рассмотрен один из возможных подходов к формализации процесса формирования технического облика автоматизированных систем, который позволяет структурировать этот процесс последовательностью взаимосвязанных технологических процедур и получить необходимые и достаточные исходные данные для обоснования требований к системе.*

**Ключевые слова:** *требования, технический облик, автоматизированная система, информационная технология, жизненный цикл, средства обработки информации, алгоритм, модель, граф.*

### Введение

В жизненном цикле любой автоматизированной системы (АС) стадия формирования требований является наиболее ответственной, поскольку от их полноты и обоснованности непосредственно зависит как эффективность системы, так и затраты на ее создание.

Согласно [1], информационной основой для формирования требований является концепция системы. Однако концепция системы, как информационная база для обоснования требований, малоинформативна. Поэтому с целью получения более информативных ее характеристик В.И. Скурихиным обоснована необходимость и доказана целесообразность проведения обличкового проектирования [2], результатом которого есть технический облик (далее — облик) системы, являющийся конкретным представлением ее концепции, и отображающий характерные черты создаваемой системы.

Вопросы формирования облика сложных систем рассматриваются в работах [3–6]. Однако в этих работах приведены только системно-концептуальные подходы к его построению. Поэтому на сегодняшний день процесс построения облика АС, как правило, находится в творческой плоскости и базируется на опыте и зна-

ниях разработчиков. В статье рассматривается один из возможных подходов к формализации этого процесса.

### Постановка задачи построения облика автоматизированных систем

В настоящее время еще нет общепринятого определения облика АС. Проведя обобщения формулировок обликов сложных систем, которые приведены в указанных работах и не претендуя на безапелляционную истину, облик АС, на наш взгляд, должен отражать структуру системы, принципы построения и алгоритмы ее функционирования, а также решения о составе видов обеспечения, которые в значительной мере определяют менеджмент на этапе разработки. Учитывая сказанное, облик АС, на определенном уровне абстрагирования, можно интерпретировать как ее технический вариант, который является результатом синтеза алгоритмов решения задач системы и возможностей средств обработки информации [2].

Задачи определения вариантов построения систем тесно связаны с задачами оптимизации их функционирования. Исходя из этого, задача построения облика АС заключается в выборе такого варианта построения системы, при котором достигается максимальная эффективность ее функционирования.

Введем следующие обозначения:

$S$  — множество задач АС;

$A$  — множество алгоритмов (вариантов) решения этих задач;

$C$  — множество средств обработки информации;

$C^*$  — система всех подмножеств множества  $C$ ;

$T$  — время, затрачиваемое на решение задач;

$T_{дон}$  — допустимое время решения;

$W$  — стоимость используемых средств обработки информации;

$Z = f(T, W)$  — функция затрат на решение задач.

Тогда, в общем случае, задача определения варианта построения системы заключается в нахождении отображения  $\mathfrak{R}$  задач системы на алгоритмы их решения и средства обработки информации

$$\mathfrak{R} : S \rightarrow (A \times C^*),$$

обеспечивающего  $Z \rightarrow \min$  при ограничении  $T \leq T_{дон}$ .

Под средствами обработки информации будем понимать средства  $C_1$  реализации функций задач и средства  $C_2$  обеспечения решения всей совокупности задач. При этом в качестве средств  $C_1$  могут выступать соответствующие информационные технологии (ИТ), а в качестве средств  $C_2$  — модели обработки информации как системообразующие элементы облика. Необходимо заметить, что поскольку ИТ и модели обработки информации представляют собой инкапсуляцию системно согласованных аппаратно-программных элементов, то это дает, во-

первых, возможность сократить размерность задачи построения облика АС, и, во-вторых, получить «готовые» частные решения относительно требований к системе.

Учитывая это положение, отображение  $\mathfrak{R}$  представим в виде

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_1 \circ \mathfrak{R}_2,$$

где  $\mathfrak{R}_1 : S \rightarrow (A \times C_1^*)$ ,  $\mathfrak{R}_2 : (\overline{A} \times \overline{C_1^*}) \rightarrow C_2$ ,  $\overline{A} \in A$ ,  $\overline{C_1^*} \in C_1^*$ .

Отображения  $\mathfrak{R}_1$  и  $\mathfrak{R}_2$  представляют две взаимосвязанные частные задачи: определения алгоритма решения всей совокупности задач с использованием соответствующих ИТ и моделей обработки информации, обеспечивающих реализацию данного алгоритма в системе.

### Определение алгоритма решения всей совокупности задач

Данная задача заключается в формировании множества всевозможных вариантов решения всей совокупности задач из  $A$  с использованием соответствующих ИТ и выбора из этого множества варианта с минимальными затратами.

*Формирование вариантов решения задач.* Каждая задача  $s_i \in A$  описывается функциональным алгоритмом ее решения, который отображает последовательность функциональных операций (функций)  $\Phi O_{id}$  ( $d = \overline{1, n_i}$ ) обработки информации. Затем для каждой функциональной операции  $\Phi O_{id}$  выбираются возможные средства ее реализации, в качестве которых могут выступать существующие ИТ. Выбор таких технологий осуществляется следующим образом.

Пусть  $\Phi O_{id}$  — функциональная операция задачи  $s_i$ ,  $IT = (it_1, it_2, \dots, it_m)$  — множество информационных технологий, а  $\Psi(\Phi O_{id})$  и  $\Psi(it_h)$  — функциональные действия (функции), которые выполняются операцией  $\Phi O_{id}$  и технологией  $it_h$  соответственно. Технология  $it_h$  считается такой, что может реализовать операцию  $\Phi O_{id}$ , тогда и только тогда, когда  $\Psi(\Phi O_{id}) \parallel \Psi(it_h)$ , где  $\parallel$  — знак логической эквивалентности функциональных действий. В результате для каждой операции  $\Phi O_{id}$  может быть выбрано некоторое множество  $IT_{id} = \{it_{id}^h \mid h = \overline{1, m_{id}}\}$  возможных ИТ, которые, в совокупности, образуют множество  $E_i = (IT_{i1} \times IT_{i2} \times \dots \times IT_{in_i})$  вариантов решения задачи  $s_i$ .

Далее определяются затраты  $z_{ij}$  на реализацию каждого варианта  $e_{ij} \in E_i$ . В качестве функции затрат будем рассматривать взвешенную свертку

$$z_{ij} = \lambda_t \cdot t_{ij} + \lambda_w \cdot w_{ij},$$

где  $t_{ij}$  — оценка времени решения задачи вариантом  $e_{ij}$  ( $\sum_{i,j} t_{ij} = 1$ );  $w_{ij}$  — оценка стоимости реализации этого варианта ( $\sum_{i,j} w_{ij} = 1$ );  $\lambda_t$  и  $\lambda_w$  — весовые коэффициенты

циенты показателей оперативности и стоимости, которые определяются исходя из функционального назначения создаваемой АС ( $\lambda_t + \lambda_w = 1$ ).

Для определения времени  $t_{ij}$  строится сетевой график реализации варианта  $e_{ij}$  и методом критического пути оценивается это время. В качестве работ в сетевом графике выступают операции обработки информации в выбранных ИТ.

Время  $t_{ijk}$  выполнения  $k$ -й операции варианта  $e_{ij}$  будем вычислять как

$$t_{ijk} = \sum_{l=1}^n v_l \cdot t_{ож}^{ijkl},$$

где  $t_{ож}^{ijkl}$  — ожидаемое время выполнения операции, которое определяется на основе оценок  $l$ -го эксперта;  $v_l$  — его весовой коэффициент ( $\sum_{l=1}^n v_l = 1$ );  $n$  — количество экспертов.

Ожидаемое время  $t_{ож}^{ijkl}$ , согласно [7], определяется по формуле

$$t_{ож}^{ijkl} = \frac{t'_{ijkl} + 4t^*_{ijkl} + t''_{ijkl}}{6},$$

где  $t'_{ijkl}$  — оптимистичная оценка времени;  $t^*_{ijkl}$  — оценка наиболее вероятного времени;  $t''_{ijkl}$  — пессимистичная оценка времени.

Оптимистичная оценка — это оценка минимального времени, необходимого для выполнения операции, за который она может быть выполнена только при наиболее благоприятных условиях. Оценка наиболее вероятного времени является оценкой такого времени, за которое операция будет выполнена с вероятностью 0,5. Пессимистичная оценка отвечает оценке максимального времени, которое необходимо для выполнения операции при исключительно неблагоприятных условиях.

Практика использования сетевого планирования показывает, что человек, как правило, способен более точно оценить минимальное (максимальное) время осуществления события, чем дать оценку наиболее вероятному времени. С целью повышения объективности такой оценки предлагается следующий подход.

Пусть  $t_{ijkl} = [t'_{ijkl}, t''_{ijkl}]$  — оценка времени выполнения  $k$ -й операции варианта  $e_{ij}$ , данная  $l$ -м экспертом. Поскольку каждое значение из интервала  $[t'_{ijkl}, t''_{ijkl}]$  является возможным временем выполнения этой операции, то вводится вероятность  $P(t)$  того, что к моменту времени  $t$  ( $t'_{ijkl} \leq t \leq t''_{ijkl}$ ) операция будет выполнена. Тогда в качестве наиболее вероятного времени  $t^*_{ijkl}$  будем рассматривать медиану распределения вероятности  $P(t)$  на заданном интервале.

Случайные величины, значения которых ограничены конечным интервалом, адекватно описываются бета-распределением. Учитывая это, вероятность  $P(t)$  будем вычислять как

$$P(t) = \frac{1}{B(t'_{ijkl} - 1, t''_{ijkl})} \int_0^t x^{t'_{ijkl}-2} (1-x)^{t''_{ijkl}-1} dx,$$

где  $B(t'_{ijkl} - 1, t''_{ijkl}) = \int_0^1 x^{t'_{ijkl}-2} (1-x)^{t''_{ijkl}-1} dx$  — бета-функция.

Стоимость  $w_{ij}$  реализации варианта  $e_{ij}$  определяется по формуле

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^{m_{ij}} \frac{w'_{ijk} + w''_{ijk}}{2},$$

где  $m_{ij}$  — количество операций варианта  $e_{ij}$ ;  $w'_{ijk} = \sum_{l=1}^n v_l \cdot w'_{ijkl}$ ;  $w''_{ijk} = \sum_{l=1}^n v_l \cdot w''_{ijkl}$ ;  $w'_{ijkl}, w''_{ijkl}$  — нижняя и верхняя оценка стоимости  $k$ -й операции, заданная  $l$ -м экспертом;  $v_l$  — его весовой коэффициент ( $\sum_{l=1}^n v_l = 1$ );  $n$  — количество экспертов.

В результате основные варианты  $e_{ij}$  решения задачи  $s_i$  можно представить графом  $G_i$ , вершинами которого являются операции  $o_{ijk}$  обработки информации с указанием времени  $t_{ijk}$  их выполнения и стоимости  $w_{ijk}$ , а дуги определяют порядок их реализации (рис. 1).

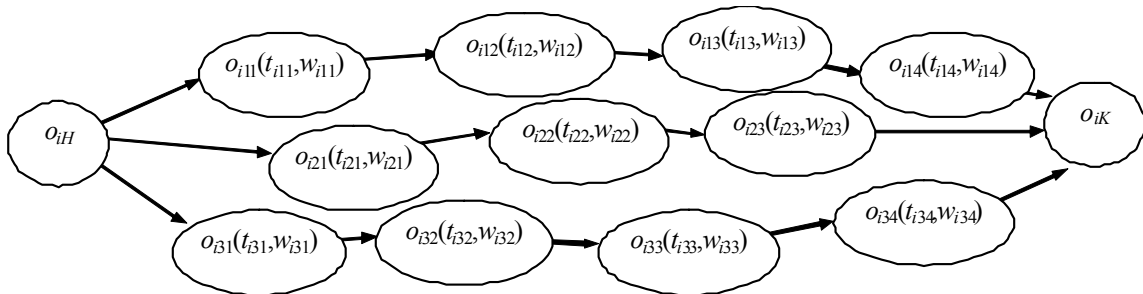


Рис. 1. Граф  $G_i$  основных вариантов решения задачи  $s_i$

На практике довольно часто встречаются ситуации, когда при решении одних задач используются как конечные, так и промежуточные результаты решения других задач. Такие результаты можно рассматривать как альтернативные источники информации, а их использование — как дополнительные варианты решения задач. Поэтому следующим шагом является определение таких источников информации и формирование дополнительных вариантов.

С этой целью операции  $o_{ijk}$  каждого варианта  $e_{ij}$  всех задач описываются агрегатами

$$D_{ijk} = o_{ijk}(V_{ijk}, t_{ijk}),$$

где  $V_{ijk} = (v_1^{ijk}, v_2^{ijk}, \dots, v_{n_j}^{ijk})$  и  $D_{ijk} = (d_1^{ijk}, d_2^{ijk}, \dots, d_{m_{ijk}}^{ijk})$  — векторы входных и исходных данных, элементы которых представляют соответствующие информационные рубрики;  $t_{ijk}$  — время выполнения операции.

Далее рассматриваются операции  $o_{ijk}$  и  $o_{i'j'k'}$  ( $i \neq i'$ ). Если среди векторов  $V_{ijk}$  и  $D_{i'j'k'}$  есть одинаковые компоненты (названия рубрик совпадают), и операция  $o_{i'j'k'}$  заканчивается раньше чем операция  $o_{ijk}$ , т.е.  $t_{i'j'k'} < t_{ijk}$ , то устанавливается связь от вершины-источника  $o_{i'j'k'}$  графа  $G_{i'}$  к вершине-потребителю  $o_{ijk}$  графа  $G_i$ . Эта связь определяет альтернативный источник информации для операции  $o_{ijk}$  и позволяет сформировать дополнительный вариант решения задачи  $s_i$ .

Формирование дополнительного варианта основывается на сепарации вершины-потребителя. Пусть  $o_{ijk}$  — вершина-потребитель в графе  $G_i$ , для которой вершина  $o_{ijl}$  является основным источником данных, и существует альтернативный источник информации — вершина  $o_{i'j'l'}$  в графе  $G_{i'}$ . Сепарация вершины  $o_{ijk}$  осуществляется путем введения в граф  $G_i$  новой вершины  $o_{ijq}$ , которая отображает операцию получения исходных данных из альтернативного источника информации. При этом эта вершина связывается с вершинами  $o_{i'j'l'}$ ,  $o_{ijl}$  и вершиной, которая предшествует вершине  $o_{ijl}$  (рис. 2).

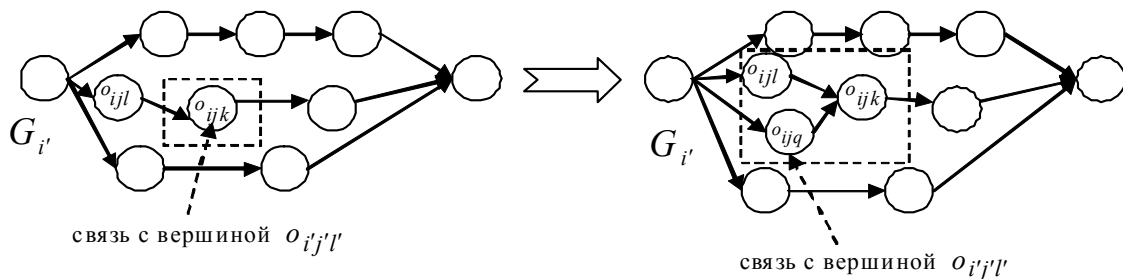


Рис. 2. Сепарация вершины-потребителя  $o_{ijk}$

Для сформированного таким образом дополнительного варианта  $e_{i'}$  решения задачи  $s_i$  аналогично определяются затраты на его реализацию. В результате основные и дополнительные варианты решения всей совокупности задач из  $A$  можно представить следующим графом (рис. 3).

*Выбор варианта с минимальными затратами.* Задача выбора варианта с минимальными затратами эквивалентна задаче поиска минимального пути в данном графе, которую можно сформулировать следующим образом.

Пусть  $S = \{s_i | i = \overline{1, N}\}$  — множество задач АС,  $E_i = \{e_{ij} | j = \overline{1, n_i}\}$  — множество вариантов решения  $i$ -й задачи, а  $M_{i'}$  =  $\|m_{j'j'}\|$  — матрица информационной связанности между вариантами  $e_{ij}$  и  $e_{i'j'}$  задач  $s_i$  и  $s_{i'}$  ( $i \neq i'$ ). Далее, пусть множество

$E_i$  представлено ориентированным графом  $G_i(X_i, Y_i)$ , в котором каждый путь определяет соответствующий вариант  $e_{ij}$  и затраты  $z_{ij}$  на его реализацию. Необходимо найти в каждом графе  $G_i$  такой путь  $e_i$ , чтобы общие затраты  $Z$  на реализацию их совокупности  $E = (e_1, e_2, \dots, e_N)$  были минимальными

$$Z = \min \sum_{i=1}^N z_i,$$

где  $z_i$  — затраты на реализацию варианта  $e_i$ .

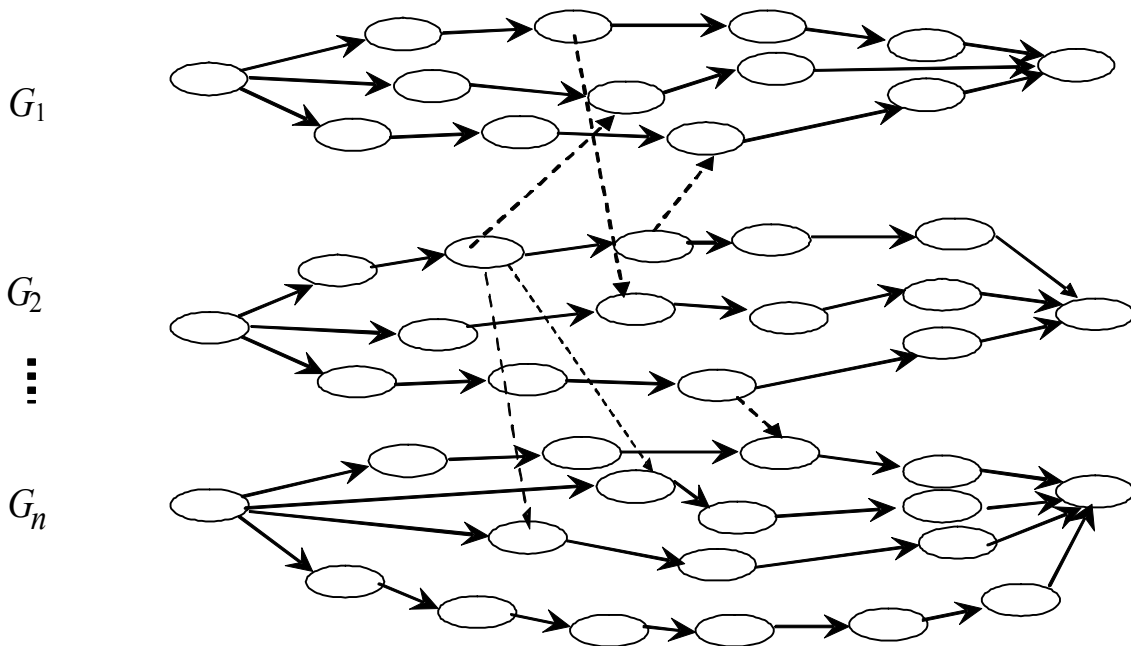


Рис. 3. Граф вариантов решения задач

При этом на выбор вариантов накладывается следующее ограничение. Если вариант  $e_{ij}$  задачи  $s_i$  имеет связь с вариантом  $e_{i'j'}$  задачи  $s_{i'}$ , то при выборе варианта  $e_{ij}$  выбирается также вариант  $e_{i'j'}$ , т.е., если  $m_{ij'} \neq 0$  &  $e_{ij} \in E$ , то  $e_{i'j'} \in E$ .

Учитывая структуру полученного графа и данное ограничение, поиск минимального пути в этом графе известными алгоритмами не представляется возможным. Поэтому эта задача сводится к классической путем приведения данного графа к стандартному виду, в котором вершинами будут варианты решения задач, а дуги будут указывать на их взаимосвязь с учетом данного ограничения. Построение графа  $G$  осуществляется следующим способом.

Пусть  $E_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in_i})$  — вектор вариантов решения  $i$ -й задачи.

Шаг 1. Упорядочиваются вектора  $E_i^T$  согласно номеров задач. Элементам векторов  $E_i^T$  отвечают вершины графа  $G$  (рис. 4).

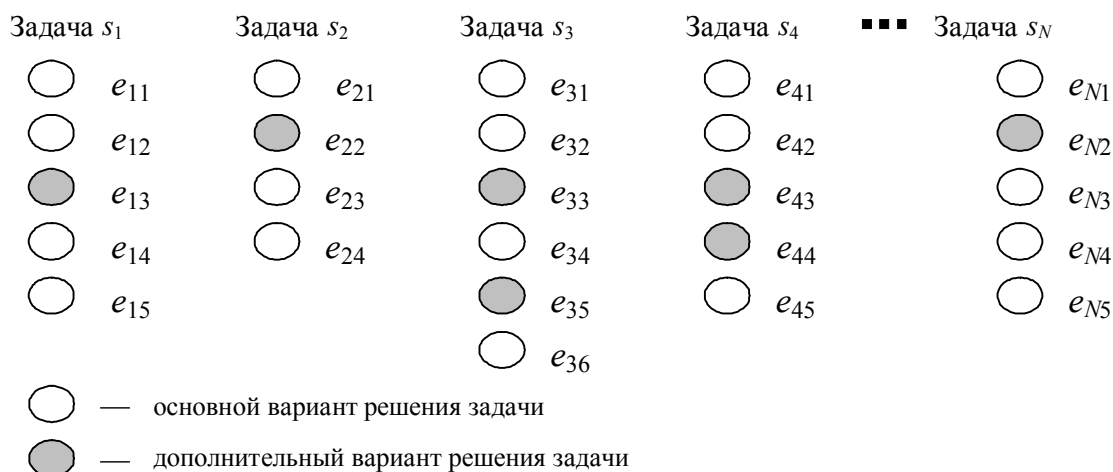


Рис. 4. Упорядочивание вариантов решения задач

Шаг 2. Рассматриваются смежные задачи  $s_i, s_{i+1}$  и на основе матрицы  $M_{ii+1}$  устанавливаются связи между их вариантами. Дополнительно устанавливаются связи между всеми вариантами  $e_{ij}$  задачи  $s_i$  и основными вариантами  $e_{(i+1)k}$  задачи  $s_{i+1}$ , а также между несвязанными дополнительными вариантами  $e_{(i+1)l'}$  задачи  $s_{i+1}$  и всеми основными вариантами  $e_{ij}$  задачи  $s_i$  (рис. 5). После этого выбирается следующая пара задач, и процесс повторяется.

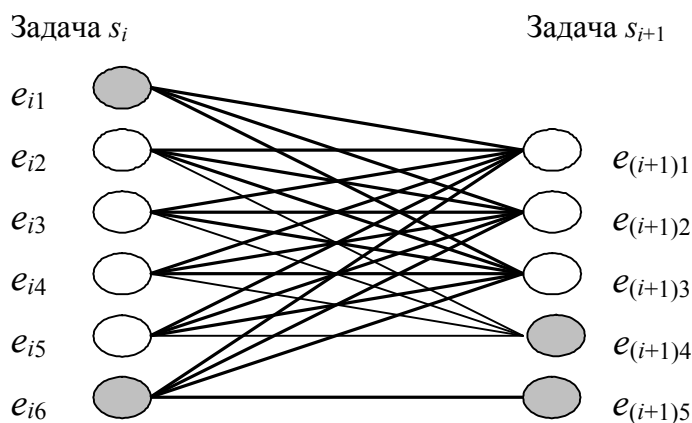


Рис. 5. Связывание вариантов решения смежных задач

Шаг 3. Построенный таким способом граф дополняется начальной и конечной вершинами, которые связываются со всеми вариантами задач  $s_1$  и  $s_N$  соответственно.

Шаг 4. Каждой дуге  $u_{ijkl}$ , которая соединяет варианты  $e_{ij}$  и  $e_{kl}$ , ставятся в соответствие затраты  $z_{ij}$  на реализацию варианта  $e_{ij}$ . Дуги, которые связывают на-



чальную вершину  $H$ , имеют нулевой вес, а дуги от вершин  $e_{Nj}$  к конечной вершине  $K$  — вес  $z_{Nj}$ .

В результате будет получен граф (рис. 6), в котором минимальный путь  $E = (e_1 \in E_1, e_2 \in E_2, \dots, e_N \in E_N)$  можно найти известными алгоритмами.

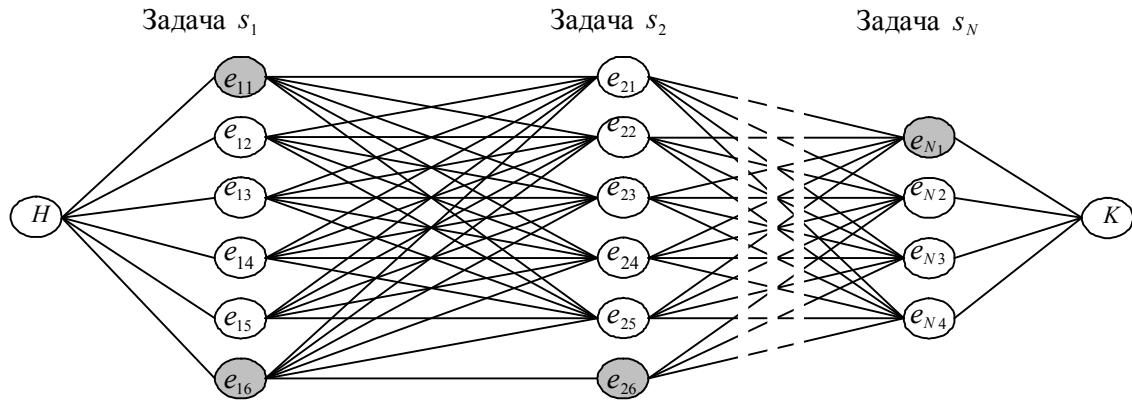


Рис. 6. Граф  $G$  вариантов решения задач

Этот путь и будет искомым алгоритмом решения всей совокупности задач системы.

### Определение моделей обработки информации

Под моделями обработки информации понимаются базовые модели обработки информации, которые обеспечивают реализацию алгоритма решения задач в структурных подразделениях объекта автоматизации — узлах АС. Задачу определения моделей обработки информации можно сформулировать следующим образом.

Пусть  $B = \{b_i \mid i = \overline{1, m}\}$  — множество базовых моделей обработки информации,  $U = \{u_j \mid j = \overline{1, n}\}$  — множество узлов системы, а  $V_j = \{v_{jl} \mid l = \overline{1, r_j}\}$  — множество требований к модели  $j$ -го узла. Далее, пусть  $Q(b_k) = (q_1(b_k(v_{j1})), \dots, q_{n_j}(b_k(v_{j r_j})))$  — вектор показателей соответствия модели  $b_k \in B$  заданным требованиям, где  $q_w(b_k(v_{jw}))$  — степень реализации требования  $v_{jw}$  этой моделью. Требуется для  $j$ -го узла выбрать такую модель  $b_{k_o} \in B$ , которая обеспечит оптимальное в некотором смысле значение векторного критерия  $Q(b_k)$ , т.е.

$$k_o = \arg \underset{k=1, m}{opt} Q(b_k).$$

В качестве требований к моделям обработки информации в узлах системы могут выступать требования к возможности реализации алгоритма решения задач,

совместимости с моделями обработки информации в подчиненных подразделениях, обеспечению графа обрабатываемой информации, количеству пользователей, масштабируемости и отказоустойчивости, а также требования к времени обработки и стоимостным характеристикам модели. Учитывая, что эти требования могут быть как количественными, так и качественными, данную задачу можно эффективно решить методом анализа иерархий [8].

В результате модели обработки информации, в совокупности с алгоритмом решения задач, можно рассматривать как информационно-технологическую модель системы, которая позволяет определить элементы облика АС (рис. 7).

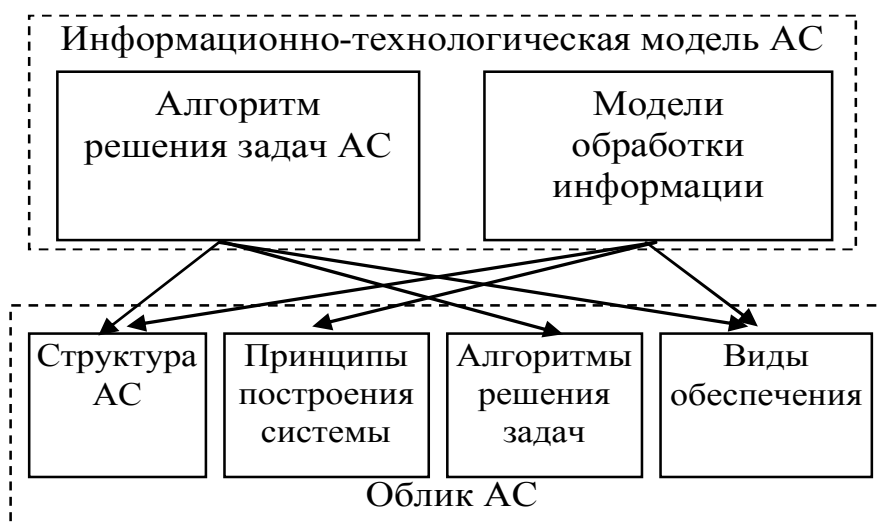


Рис. 7. Схема формирования облика АС

## Выводы

Рассмотрен один из возможных подходов к формализации процесса построения облика автоматизированных систем путем решения оптимизационных задач определения алгоритма решения всей совокупности задач с использованием ИТ и моделей обработки информации, которые реализуют этот алгоритм и являются системообразующими составляющими облика. Это дает возможность структурировать процесс его построения последовательностью взаимоувязанных технологических процедур, которые, в совокупности, позволяют получить необходимые и достаточные исходные данные для обоснования требований к системе.

1. *Автоматизированные системы. Стадии создания: ГОСТ 34.601-90.* — М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1990. — 21 с.
2. *Скурихин В.И.* О формулировании концепций. Концепция «четырёх И» / В.И. Скурихин // УСиМ. — 1989. — № 2. — С. 7–12.
3. *Канащенков А.И.* Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения / Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. — М.: ИПРЖР, 2002. — 176 с.

4. Гриб Д.А. Методологічний підхід до формування технічного обриску перспективних зразків озброєння та військової техніки / Д.А. Гриб, Б.О. Демідов, М.В. Науменко // Наука і оборона. — 2009. — № 4. — С. 30–34.

5. Гриб Д.А. Системно-концептуальні основи і елементи методології формування оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог, що пред'являються до перспективних зразків озброєння і військової техніки та зразків, що модернізуються / Д.А. Гриб, Б.О. Демідов, М.В. Науменко // Системи озброєння і військова техніка. — 2009. — № 2 (18). — С. 65–73.

6. Гусев А.Л. Особенности военно-научных исследований по обоснованию концепций и обликов перспективных авиационных комплексов / А.Л. Гусев, А.К. Денисенко, В.С. Платунов // Военная мысль. — 2007. — № 8. — С. 49–53.

7. Системи оброблення інформації. Розроблення систем. Терміни та визначення: ДСТУ 2941-94. — К.: УЦС, 1994. — 22 с.

8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 314 с.

Поступила в редакцию 02.09.2011