

УДК 004.78:656.13

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ
ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МОДЕЛЯХ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПОЭТАПНОГО ВЫБОРА

В.П. Белокуров¹, С.В. Белокуров²,
Г.А. Денисов¹, С.Ю. Кащенко¹, А.Ю. Артемов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»

²Воронежский институт МВД РФ

Методы моделирования являются крайне эффективным при решении целого ряда задач в области развития теории транспортных процессов в сфере компьютерной информации и технологии. Это обусловлено следующими особенностями компьютерной информации как объекта развития технологии транспортных процессов в вопросах теории и практики автотранспортных перевозок, которые должны обеспечиваться следующими вновь разрабатываемыми системами управления:

- эффективной транспортной логистикой;
- увеличением эффективности использования улично-дорожной транспортной сети;
- снижение задержек автотранспорта на перекрестках;
- повышение скорости и безопасности движения автотранспорта;
- оздоровление экологической обстановки;
- повышение оперативного управления движением автотранспорта при организации перевозок.

Современные информационные технологии, такие, например, как системы поддержки принятия решений, экспертные системы и другие, обеспечивают возможность для эффективного анализа технико-экономических проектов, моделирование процессов, подготовки и представления результатов для последующего принятия решений. Применение современных информационных систем позволяет повысить эффективность доставки грузов за счет возможности быст-

рого доступа к информации о субъектах (покупатель, перевозчик, терминал) и объектах (товары, услуги) доставки.

В качестве классификационных оснований моделей транспортных и информационных процессов в компьютерных сетях выступают основные компоненты самого процесса моделирования, к которым традиционно относятся: субъект моделирования; задача, решаемая субъектом при помощи этого метода; объект моделирования (оригинал); способ моделирования. Формализация и научное обоснование таких моделей позволяет существенно повысить эффективность существующих и дать обоснование к построению новых информационных систем.

Так как эти вновь создаваемые алгоритмы и модели являются по своей сути инвариантными в технологиях транспортных процессов, то рассмотрим системную модель многокритериального поэтапного выбора решений на графах, применительно к информационным системам.

Рассмотрим постановку задачи многокритериального поэтапного выбора эффективных решений в информационных системах (ИС) произвольной структуры с позиций системного подхода. При этом решение задачи можно разбить на следующие последовательно выполняемые процедуры [1-9]:

1 Формализация задачи. Структуру любой ИС можно описать в виде ориентированного графа с заданными на его дугах векторными весами, а проблему многокритериального поэтапного выбора решений в ИС формально свести к проблеме выбора на графах.

В результате такого преобразования получаем ориентированный граф

$G = (V, E)$, где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин, представляющих собой возможные варианты некоторых технических операций (ТО); $E = \{[v_i, v_j]\} = \{e\}$, ($i, j = 1, n, i \neq j$) – множество дуг, соединяющих эти вершины (множество материальных, информационных и других потоков между ними) и каждая дуга $e \in E$ характеризуется набором весов $\omega_k(e)$, $k = 1, m$.

Тогда возможное решение можно ассоциировать с некоторым подграфом $g = (V_g, E_g)$, $V_g \subset V$, $E_g \subset E$ исходного графа (например, маршрут изготовления изделий). На множестве всех возможных решений $\{g\}$ определена векторная критериальная функция:

$$x(g) = (x_1(g), x_2(g), \dots, x_m(g)), \quad (1)$$

где $x_k(g) = \sum_{e \in E_g} \omega_k(e)$, $k = \overline{1, m}$ – k -й критерий эффективности каждого решения,

аддитивный в силу специфики рассматриваемого класса задач (например, удельные приведенные затраты, себестоимость единицы выпускаемой продукции, время обработки и др).

В таком представлении задача многокритериального поэтапного выбора заключается в выборе из множества возможных решений некоторой совокупности эффективных альтернатив $X = \{x(g)\} = C(\{g\}) \subseteq PAR$, предпочтительных с точки зрения некоторого эксперта или "лица, принимающего решение" (ЛПР), где PAR – множество Парето-оптимальных решений, C – функция выбора.

Существующие методы многокритериального поэтапного выбора позволяют искать оптимальные решения только в тех случаях, когда структура ИС представляет последовательную обработку предмета производства, то есть описывается в виде бесконтурного (ациклического) графа. В случаях, когда граф не удовлетворяет данному условию, предлагается проводить декомпозицию графа.

2 Декомпозиция графа. Структура многих ИС состоит не только из цепочки выполняемых операций (процессов, этапов, стадий), как в случае последовательной переработки информации, но и разветвлений и/или возвратов (циклов, контуров) различных информационных потоков. То есть, в общем случае, структуру ИС можно представить в виде ориентированного графа с разветвлениями и/или контурами и оптимальное решение такой многостадийной задачи, соответственно, содержит в своем составе разветвление и/или контур.

Для решения указанной проблемы предлагается оргграф, описывающий структуру такой ИС, разбивать на ориентированные ациклические подграфы с целью решения локальных задач оптимизации на этих подграфах и формирования интегральных решений с учетом их связей и ограничений, обеспечивающих целостность ИС.

В связи с этим проводится декомпозиция исходного оргграфа $G = (V, E)$ на отдельные фрагменты – ациклические подграфы $G_\psi = (V_\psi, E_\psi)$, $G_\psi \subseteq G$, $\psi = \overline{1, J}$, такие, что элементы оптимальных решений представляют собой эффективные пути на этих подграфах, из которых в дальнейшем по определенным правилам формируются интегральные решения.

Так как в каждом подграфе G требуется найти эффективные пути, то для этого необходимо синтезировать механизм поэтапного выбора, согласно которому будет проводиться их отсев на этапах поиска.

3 Синтез механизма поэтапного выбора. Согласно анализу механизмов выбора, применяемых для решения задач многокритериального выбора вариантов ИС [1-7], все они могут быть сведены к парнодоминантному механизму выбора соответствующего уровня, причем, если при опросе ЛПР наблюдается транзитивность его предпочтений, то используются механизмы уровня 2.

В связи с этим, для организации выбора эффективных решений на этапах поиска будем использовать специально разработанный для таких случаев механизм, определяемый функцией выбора по бинарному отношению предпочтения, согласно которому будет проводиться отсев неэффективных решений на этапах поиска в каждом ациклическом подграфе.

Такая запись позволяет учитывать в отношении предпочтения дополнительную информацию, полученную от ЛПР (например, использование модели на основе экстраполяции по вектору или по конусу, адекватных экспертным оценкам в случаях, когда необходимо уменьшить мощность множества недоминируемых альтернатив) и др.

В результате получаем подграфы $G_\psi = (V_\psi, E_\psi)$, $G_\psi \subseteq G$, $\psi = \overline{1, J}$, у которых на дугах задано бинарное отношение предпочтения R .

После того, как будет синтезирован механизм многокритериального поэтапного выбора, необходимо проводить поиск всех эффективных путей в каждом ациклическом подграфе G_ψ .

4 Поиск эффективных путей на подграфах G_ψ . Так как каждый подграф G_ψ , $\psi = \overline{1, J}$, полученный после декомпозиции исходного графа G , является ациклическим ориентированным графом, и, следовательно, каждый фрагмент интегрального решения является линейным, то поиск таких фрагментов (эффективных путей) в подграфах G_ψ будем осуществлять с помощью алгоритмов, в которых для организации отсева худших вариантов на этапах поиска используется механизм поэтапного выбора.

В результате каждый фрагмент исходного графа G будет содержать множество эффективных путей: $G_\psi : \{p^*\}_\psi$, $\psi = \overline{1, J}$, где p^* – эффективный путь.

На основе частных решений $\{p^*\}_\psi$, полученных в каждом подграфе G_ψ , $\psi = \overline{1, J}$, следует проводить формирование окончательных решений на исходном графе G .

5 Формирование интегральных решений (композиция решения) осуществляется объединением фрагментов путей с учетом связей и ограничений, обеспечивающих целостность ИС. В результате такой процедуры получаем множество интегральных вариантов решений, каждый из которых характеризуется совокупностью оценок критериев, полученных, в силу условия аддитивности, изначально накладываемого на критерии, сложением оценок отдельных фрагментов.

Однако среди найденных вариантов решений могут оказаться и неэффективные, которые необходимо отбросить. Для этого предлагается использовать функцию выбора на множестве возможных интегральных вариантов ИС. В итоге получим множество эффективных интегральных вариантов $\{p^*\}$, из которого необходимо сделать окончательный выбор.

6 Окончательный выбор. Форма результирующего решения может быть весьма различной в зависимости от того, какая задача ставится перед ЛПР. Это может быть: одна оптимальная альтернатива; конечное множество альтернатив, доступное для неформального анализа ЛПР; конечное множество упорядоченных альтернатив; совокупность оценок каждой альтернативы в баллах и др.

Таким образом, из полученного множества эффективных вариантов ИС проводится выбор одного или нескольких искомых решений p^* . Разработанная системная модель показана на рис. 1. Она инвариантна для сложной структуры взаимодействия элементов любой технологической системы в том числе, структуры с разветвлениями и/или возвратами различных информационных потоков, и позволяет создать основу для структурно-параметрического синтеза моделей многокритериального поэтапного выбора решений в информационных системах.

Одним из основных моментов при реализации системной модели (1) является нахождение множества эффективных путей в каждом из ациклических подграфов $G_{z\psi}$ (граф общего вида будем обозначать G ; ациклические подграфы – G_{ψ} ; в оговариваемых случаях, когда нет необходимости подчеркивать, что граф общего вида разбивается на ациклические подграфы, ациклический граф будем обозначать G), на которые производится декомпозиция графа общего вида, описывающего структуру рассматриваемой ИС, то есть $G_{\psi} - \{p^*\}_{\psi}$.

При этом для поиска таких путей предлагается использовать подход, основанный на прямом обобщении на случай нескольких критериев известных однокритериальных схем, реализующих принцип оптимальности Беллмана

(ПОБ), описанный в терминах языка функции выбора, механизмом π которой является механизм блокировки, а структурой σ – бинарное отношение R качественного порядка.

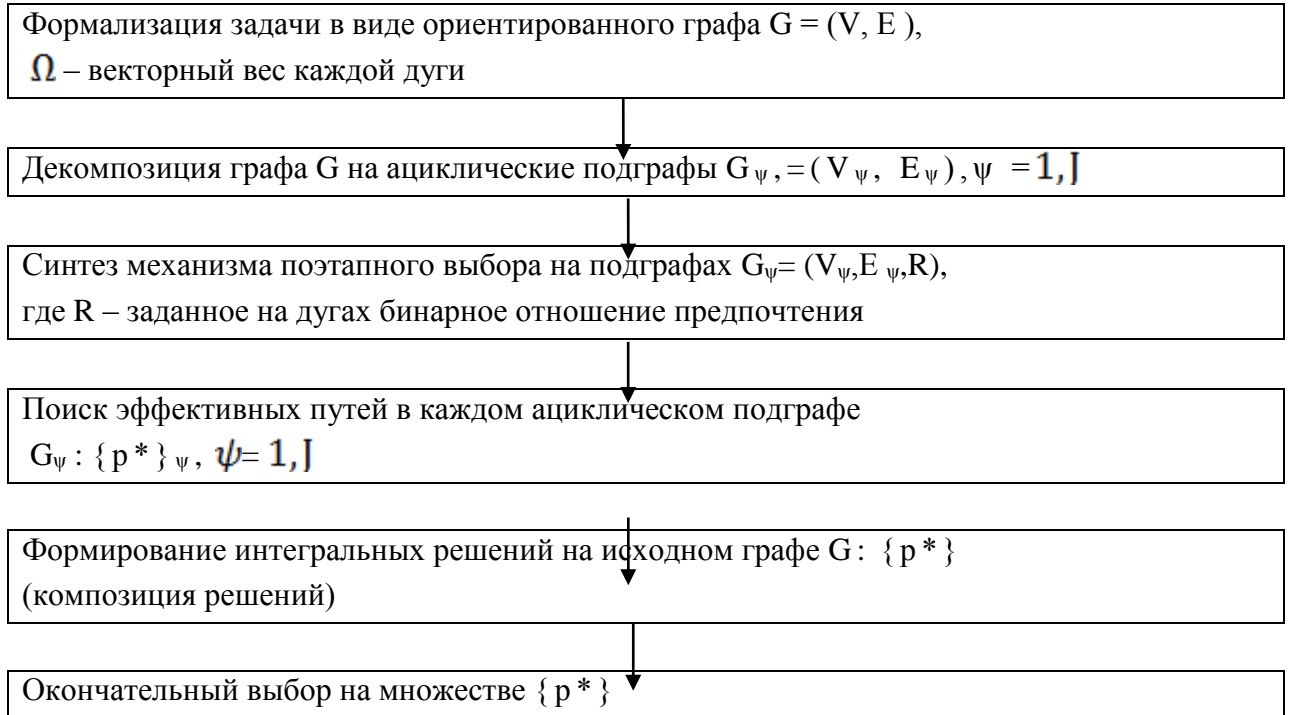


Рисунок 1 – Системная модель выбора решений в информационных системах

Помимо этого, используемое отношение предпочтения R должно обладать еще одним свойством – свойством независимости от смещения. Оно вытекает из аддитивности каждого критерия эффективности и означает, что для любых альтернатив x и y и любого вектора b из соотношения $x R y$ следует

$$(x + b) R (y + b).$$

Рассмотрим прямое обобщение однокритериальных схем поэтапного выбора на случай нескольких критериев. Идея такого обобщения заключается в следующем: на i – м этапе поиска на множестве допустимых решений M получается последовательность конечных множеств M_1, M_2, \dots, M_k , которая сходится к решению M_∞ ($M_k \rightarrow M_\infty$), где для всех k M_k – совокупность эффективных решений (вариантов путей), полученных к k – й итерации i – го этапа. Эту последовательность будем строить по принципу генерация-отсев [1-7]. Согласно данной схеме на k –й итерации i – го этапа поиска генерируем неко-

торое множество M'_k , при этом способ генерации определяется элементами какого-либо однокритериального алгоритма, затем полученное множество $M'_k \cup M_{k-1}$, сужаем посредством заданной функции выбора C до множества M_k , то есть

$$M_k = C(M'_k \cup M_{k-1}). \quad (2)$$

Применение этой схемы будет корректно лишь в том случае, если выполняется условие ассоциативности выбора

$$C(\bigcup_j^k M_j^i) = C(M'_{k-1} \cup C(M'_{k-1} \cup \dots \cup C(M'_1) \dots)). \quad (3)$$

Выявим условия соблюдения ассоциативности выбора в предлагаемой схеме.

Согласно [8, 9], если функция выбора C порождается парнодоминантным механизмом выбора уровня 2, то она удовлетворяет условиям наследования (H), согласия (C) и отбрасывания (O), то есть принадлежит пересечению областей $H \cap C \cap O$.

Теорема 1. Для произвольных множеств X и Y функции выбора, обладающей свойствами H и O , присуще также следующее свойство

$$C(X \cup Y) = C(X \cup C(Y)). \quad (4)$$

Доказательство. Покажем, что $C(X \cup Y) \subset X \cup C(Y)$.

Пусть $x \in C(X \cup Y)$. Если $x \in X$, то, следовательно, $x \in X \cup C(X \cup Y)$. Пусть теперь $x \in Y$, тогда $x \in C(X \cup Y) \cap Y$. Для включения $Y \subset X \cup Y$, по свойству наследования, имеем: $C(X \cup Y) \cap Y \subset C(Y)$. Следовательно,

$x \in C(Y)$, и $C(X \cup Y) \subset C(Y)$. А отсюда, $C(X \cup Y) \subset X \cup C(Y)$. Теперь обозначим $A = X \cup Y$, $B = X \cup C(Y)$.

По доказанному выше, $C(X \cup Y) \subset (X \cup C(Y)) \subset X \cup Y$, то есть $C(A) \subset B \subset A$, а по свойству отбрасывания получаем нужное равенство

$$C(X \cup Y) = C(X \cup C(Y)), \text{ что и требовалось доказать.}$$

Функцию выбора C называют не зависящей от пути (или функцией Плота), если для произвольных множеств X и Y она удовлетворяет условию

$$C(X \cup Y) = C(C(X) \cup C(Y)). \quad (5)$$

В [8] показано, что область, выделяемая условием (5), совпадает с областью, выделяемой условием (4), а, следовательно, и с пересечением фундаментальных областей H и O . То есть доказывается схожее (4) свойство функции выбора.

Равенство (4) по индукции легко обобщается на случай произвольного числа множеств, то есть имеет место соотношение

$$C(X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_k) = C(X_k \cup C(X_{k-1} \cup \dots \cup C(X_1) \dots)).$$

Это равенство есть не что иное, как условие ассоциативности выбора (3). Значит, одношаговый выбор на множестве $M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_k$ можно заменить последовательным выбором на составляющих подмножествах.

Таким образом, достаточным условием ассоциативности выбора, а значит, и корректности использования для выбора вариантов решений схемы прямого обобщения на случай нескольких критериев, является применение на каждом этапе поиска функции выбора, обладающей свойствами H и O . В частности, это имеет место, если функция выбора порождается асимметричным, транзитивным бинарным отношением, то есть качественным порядком.

Выражение (2), определяемое функцией выбора C^R на основе блокировки по бинарному отношению R качественного порядка независящему от смещения, представляет собой механизм многокритериального поэтапного выбора эффективных решений.

Рассмотрим теперь реализацию полученного механизма поэтапного выбора применительно к объекту исследования – ориентированному бесконтурному (ациклическому) графу. Пусть дан произвольный ориентированный ациклический граф $G = (V, E)$, у которого $V = \{[v_i] \mid (i = \underline{l}, \underline{n})\}$ – множество вершин; $E = \{[v_i, v_j] \mid (i, j = \underline{l}, \underline{n}; i < j)\}$ – множество дуг между этими вершинами. Причем каждая дуга идет из вершины с меньшим номером в вершину с большим номером и снабжена некоторым вектором весов $\rho = \Omega[v_i, v_j]$.

$$\Omega[v_i, v_j] = \infty, \text{ если в графе } G \text{ нет дуги } [v_i, v_j].$$

Каждый из возможных вариантов решения задачи выбора есть путь, соединяющий начальную вершину графа G с его конечной вершиной. Вес такого пути равен сумме весов составляющих его дуг и на множестве весов путей

определено бинарное отношение предпочтения R , являющееся качественным порядком, независящее от смещения.

Обозначим $\{D[v_j]\}_k$ – множество векторных весов недоминируемых путей из начальной вершины (источника) v_l , в вершину v_j , полученное к k -й итерации (M_k), а $\{D[v_j]\}_{k-1}$ – $(k-1)$ -й итерации (M_{k-1}).

Выберем произвольную вершину v_j . Перебирая все предшествующие ей вершины v_i ($i < j$), такие, что существует дуга $[v_i, v_j]$, из множества $\{D[v_j]\}$ выбираем очередное значение $q \in \{D[v_i]\}$ и складываем с весом дуги $[v_i, v_j]$: $q + \Omega[v_i, v_j]$ (M'_k). При этом способ перебора вершин определяется элементами обобщаемого однокритериального алгоритма. Здесь $k = \overline{1, P_{v_j}}$, где P_{v_j} – общее количество вариантов путей из всех вершин v_i в вершину v_j . К уже существующему множеству эффективных путей $\{D[v_j]\}_{k-1}$ добавляем полученный вариант пути из вершины v_l в v_j , то есть $\{D[v_j]\}_{k-1} \cup (q + \Omega[v_i, v_j])$. Используя функцию выбора C^R на основе блокировки по бинарному отношению R [9], получаем реализацию множества недоминируемых вариантов на k -й итерации $\{D[v_j]\}_k$:

$$\{D[v_j]\}_k = C^R [\{D[v_j]\}_{k-1} \cup (q + \Omega[v_i, v_j])] \quad (6)$$

то есть $M_k = C^R (M_{k-1} \cup M'_k)$.

Перебрав все предшествующие вершине v_j вершины v_i , получим конечную реализацию множества $\{D[v_j]\}_{P_{v_j}}$ недоминируемых путей из источника v_l , в вершину v_j , то есть в процессе поиска получается последовательность конечных множеств $\{D[v_i]\}_1, \{D[v_i]\}_2, \dots$, которая сходится к решению $\{D[v_i]\}_{P_{v_j}}$. Таким образом, схема многокритериального поэтапного выбора решений, основанная на прямом обобщении на случай нескольких критериев известных однокритериальных схем применительно к графам, заключается в последовательном направленном переборе вершин ациклического орграфа от начальной до конечной так, чтобы в текущую вершину можно было попасть только через уже рассмотренные, в генерации для каждой вершины возможных вариантов путей из исходной и отсеивать согласно механизму поэтапного выбора (2) худших из них.

Библиографический список

1 Белокуров, С. В. Классификация ситуаций выбора и анализ способов формализации численных векторных схем / С. В. Белокуров, В. В. Сысоев // Компьютерные технологии автоматизированного проектирования систем машиностроения и аэрокосмической техники: сб. науч. тр. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – С. 88-106.

2 Белокуров, С. В. Модели выбора в задачах многокритериальной оптимизации / С. В. Белокуров, А. В. Заряев // Применение информационных технологий для решения прикладных задач. Воронежский институт МВД России. – Воронеж, 2002

3 Белокуров, С. В. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации. Издание 2-е /С. В. Белокуров, С. В. Величко, Д. Е. Соловей // Монография. – Воронеж: ВГУ, 2004. – 125с.

4 Белокуров, С. В. Модели выбора недоминируемых вариантов в численных схемах многокритериальной оптимизации / С. В. Белокуров, Ю. С. Сербулов, Ю. В. Бугаев, С. В. Чикунов // Монография. – Воронеж: Научная книга, 2005. – 200с.

5 Белокуров, В. П. Оптимизация многоцелевых транспортных задач при использовании алгоритма анализа и отсева на итерациях поиска решений / В. П. Белокуров, С. В. Белокуров // Транспорт: Наука, техника, управление. Научный информационный сборник, РАН ВИНТИ, № 6. – 2009. – С. 2-4.

6 Белокуров, В. П. Особенности модели оптимального управления процессом отсева решений на базе синтеза теории выбора в транспортных системах / В. П. Белокуров, С. В. Белокуров, С. В. Скрыль // Транспорт: Наука, техника, управление. Научный информационный сборник, РАН ВИНТИ, № 1. – 2010. – С. 5-9.

7 Белокуров, В. П. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора / В. П. Белокуров, С. В. Белокуров, С. В. Скрыль // Транспорт: Наука, техника, управление. Научный информационный сборник, РАН ВИНТИ, № 2. – 2010. – С. 6-12.

8 Айзерман, М. А. Выбор вариантов: основы теории / М. А. Айзерман, Ф. Т. Алескеров//М. : Наука, 1990. – 240с.

9 Шоломов, М. В. Логические методы исследования дискретных моделей выбора / М. В. Шоломов // М. : Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит. – 1989. – 287с.