

УДК 681.5.01:658.512.2011

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМАХ ВЫБОРА

Кандырин Юрий Владимирович, кандидат технических наук, профессор, профессор Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Российская Федерация, г. Москва, Красноказарменная улица, 14, e-mail: ywk@mail.ru

Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: vkamaev40@mail.ru

Кононов Михаил Евгеньевич, аспирант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Российская Федерация, г. Москва, Красноказарменная улица, 14, e-mail: kme.vim@gmail.com

Шкурина Галина Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: shkurina.galina@bk.ru

Рассмотрены принципы формирования адаптивных структур вариантов для справочных систем автоматизированного выбора. Используется алгоритм построения частичного порядка альтернатив из линейных порядков и порядков вариантов меньшей размерности. Адаптивная организация структуры электронных справочников априорно формируется на основе расслоения вариантов по критерию Парето с учетом их функционального назначения. Предлагаемый подход основан на формировании структуры данных, представляющей собой частичный порядок альтернатив, построенный по безусловному критерию Парето из набора линейных или частичных порядков вариантов меньшей размерности. Размерность учитываемых ЛПР показателей качества задает размерность частичного порядка, а его структура предопределена целевым назначением вариантов в однородном множестве через учитываемые показатели качества. Концевые элементы в графе частичного порядка представляют собой оптимальные по Парето варианты, которые в каждой новой задаче выбора остается проверить только на допустимость. Результирующий частичный порядок формируется с использованием фактор множеств. Такая адаптивная настройка данных на задачу выбора позволяет начинать решение сразу с π -оптимальных вариантов. При этом используется проверка вариантов только на допустимость, что значительно сокращает время операции выбора по сравнению с традиционными подходами. Сам метод формирования структур данных настроен как на функциональное назначение справочника, так и на цели лица принимающего решение. Причем, разработанный алгоритм может использоваться если начальная структура не совсем точно настроена на конкретную задачу выбора в соответствии с информированностью лица принимающего решение. В статье приводится пример работы подобного алгоритма структурирования вариантов для справочников в САПР.

Ключевые слова: принятие решений, критерии оптимальности, многокритериальный выбор, структурирование альтернатив для справочных систем в САПР, адаптивные структуры данных, линейные порядки, частичный порядок вариантов, расслоение по Парето, окрестности альтернатив, фактор множества

**STRUCTURING OPTIONS IN ELECTRONIC
REFERENCE SYSTEMS OF CHOICE**

Kandyrin Yuriy V., Ph.D. (Engineering), Professor, National Research University "MPEI",
14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250, Russian Federation, e-mail: ywk@mail.ru

Kamaev Valeriy A., D.Sc. (Engineering), Professor, Volgograd State Technical University,
28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: vkamaev40@mail.ru

Kononov Mikhail Ye., post-graduate student, National Research University "MPEI",
14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250, Russian Federation, e-mail: kme.vim@gmail.com

Shkurina Galina L., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Volgograd State Technical
University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: shkurina.galina@bk.ru

The principles of creation of adaptive structures of variants for the Helps of the automatized choice surveyed. The algorithm of build-up of the partial order of alternatives from the linear orders and orders of variants of smaller dimension is used. The adaptive organization of structure of the electronic quick references is a priori is shaped on the basis of a unmixing of variants by criterion the Pareto in view of their functionality. The offered approach is based on creation of data structure representing the partial order of alternatives, Pareto, constructed by unconditional criterion, from a set of the linear or partial orders of variants of smaller dimension. The dimension taken into account ЛПП of metrics of quality sets dimension of the partial order, and his(its) structure is predetermined by a special-purpose designation of variants in homogeneous set through taken into account metrics of quality. The end units in the graph of the partial order represent optimum till the Pareto variants, which in each new task of choice need to be tested only on admissibility. The resulting partial order is shaped with usage the factor of sets. Such adaptive adjustment of datas on the task of choice allows to start solution at once with - optimum variants. Thus the check of variants only on admissibility is used, that considerably reduces time of the operation of choice in comparison with the traditional approaches. Method of creation of data structures is adjusted both to a functionality of the quick reference, and on the purpose of the person of receiving solution. And, the designed algorithm is used if the initial structure is not absolutely precisely adjusted to the concrete task of choice according to knowledge of the person receiving solution. In operation the example of operation of similar algorithm of structuring of variants for the quick references in a CAD is given.

Keywords: decision making, criterion of an optimality, multicriteria choice, structuring of alternatives for the Helps in a CAD, adaptive data structures, linear orders, partial order of variants, unmixing till the Pareto, neighbourhoods of alternatives, factor of set, information technologies

Введение. Создание инновационных технологий проектирования, а также способов обеспечения надежности и ремонтпригодности проектируемых и эксплуатируемых объектов, являются важнейшими задачами, позволяющими выпускать конкурентоспособные изделия. Особое место среди таких задач занимает *выбор рациональных элементов* и компонентов конструкций из имеющегося множества возможных альтернатив по совокупности показателей качества (ПК).

Сегодня разработчикам нередко доступны тысячи однотипных изделий одинакового функционального назначения и, несмотря на введение целевых ограничений, выбор оптимальных компонентов часто приходится осуществлять по десяткам и даже сотням характеристик. Это делает проблему трудно разрешимой без привлечения средств и методов САПР [5, 6]. Таким образом, задачи выбора оптимальных вариантов при проектировании технических систем являются весьма актуальными. Важными являются также проблемы обеспечения оптимальных замен элементов при ремонтах оборудования (выбор аналога по прототипу) и формирования очередности ремонтов объектов в однородных множествах. Их решение требует создания методов и инструментальных средств, способных оптимизировать процессы выбора и обеспечивать максимальную надежность получаемых результатов [4, 11].

Целью данной работы является создание методики и алгоритма априорного структурирования однородного множества объектов в справочных системах, для последующего решения задачи выбора оптимальных по критериям технического задания (ТЗ) вариантов.

Общая характеристика проблематики выбора и подходов к ее решению. Современные методы решения задач многокритериального выбора альтернатив обычно предполагают использование априорных, апостериорных и адаптивных критериев. Причем считается, что окончательный выбор осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР). Для реализации методов структурирования и выбора вариантов из исходных множеств Ω целесообразно использовать неметрические безусловные, последовательно применяемые условные или комбинированные критерии предпочтения - в зависимости от полноты имеющейся информации. При этом возникает проблема создания методологии и разработки эффективного инженерного инструмента для многоцелевого сравнения вариантов, установления порядка альтернатив на множестве критериев при выборе оптимальных решений – поскольку отсутствует доступное *инвариантное* по отношению к задачам методическое и программное обеспечение. Кроме того, для программно-алгоритмических решений рассматриваемого класса актуально повышение быстродействия работы с данными, т.е. вычислительной эффективности.

Целесообразно решение проблемы выбора в два этапа.

На предварительном этапе множество возможных альтернатив однократно структурируется путем формирования частичного порядка (или расслоения) по π -критерию в соответствии с его целевым (функциональным) назначением.

На этапе решения конкретной задачи выбора структурированное множество отсекается путем введения ограничений по ТЗ, начиная с концевых элементов этих частичных порядков или последовательности $\Omega_{\pi 1}, \Omega_{\pi 2}, \dots, \Omega_{\pi k}$ π -слоев. Размерность частичного порядка (или число π -слоев) определяется информированностью ЛПР, которая фактически отражается числом учитываемых ПК принимаемой критериальной постановки. Таким образом, трудоемкость решения задач выбора существенно снижается, т.к. он для устойчивых во времени структур данных электронных справочников сводится лишь к проверке альтернатив по условиям и ограничениям.

Адаптивные структуры данных. Под адаптивной структурой вариантов будем понимать структуру данных в виде частичного порядка, наилучшим образом отвечающая информированности ЛПР. Информированность ЛПР дуально представлена для *безусловного* π -критерия мощностью критериальной постановки, т.е. числом принимаемых во внимание ПК. Если однородность структуры задается фактическим *набором* учитываемых характеристик и функциональным назначением вариантов, то адаптивность структуры задает *размерность* π -критерия и соответствующий ему частичный порядок. Далее будет показано, что адаптивный порядок может быть перестраиваемым и формироваться из линейных порядков или частичных порядков меньшей мощности непосредственно под частную (конкретную) задачу выбора.

Так, если задача выбора решается в соответствии с определенными целевыми установками, то и структуры данных должны учитывать принятый ЛПР принцип оптимальности [5].

Таким образом, предлагаемый подход основан на наделении исходного множества альтернатив (ИМА) структурой, связанной с функциональным назначением его элементов и отражающей устойчивые критериальные требования, присущие ИМА Ω . При этом целеполагание является прерогативой ЛПР, а его креативное участие как бы переносится с уровня собственно выбора альтернатив на выбор критериальных постановок. При этом принятые цели определяют задаваемый вид структурирования однородных множеств Ω .

Формирование частичных порядков вариантов для базы данных. Поясним некоторые термины. Под *окрестностью* $O_i(\Omega/k_l)$ альтернативы $\omega_i \in \Omega$ по $ПК = k_l$ будем понимать совокупность всех доминирующих или *эквивалентных* ω_j альтернатив. Пусть, например, для некоторого линейного порядка $L(\Omega/k_l)$ вариантов:

$$L(\Omega/k_l) :< \omega_5, \omega_3, \{\omega_4, \omega_6\}, \{\omega_1, \omega_2\} >; l = \{1, L\}$$

окрестности можно представить их в виде:

$O_1(\Omega/k_l) = \{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}$ – окрестность варианта ω_1 ,

$O_2(\Omega/k_l) = \{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}$ – окрестность варианта ω_2 ,

$O_3(\Omega/k_l) = \{\omega_5\}$ – окрестность варианта ω_3 ,

$O_4(\Omega/k_l) = \{\omega_3, \omega_5, \omega_6\}$ – окрестность варианта ω_4 ,

$O_5(\Omega/k_l) = \emptyset$ – окрестность варианта ω_5 ,

$O_6(\Omega/k_l) = \{\omega_3, \omega_4, \omega_5\}$ – окрестность варианта ω_6 .

В свою очередь, совокупность окрестностей представляет собой *фактор-множество* Φ_{Ω}/k_l , той или иной размерности – в зависимости от числа ПК, для которого оно формируется. Фактор множество при этом будет состоять из перечисленного множества окрестностей альтернатив:

$$\Phi_{\Omega}/k_l = \{O_1(\Omega/k_l), O_2(\Omega/k_l), O_3(\Omega/k_l), O_4(\Omega/k_l), O_5(\Omega/k_l), O_6(\Omega/k_l)\}.$$

Ранее в [4, 5] было доказано, что решением задачи выбора в π и L постановках является пересечение фактор-множеств окрестностей альтернатив для соответствующей постановки. То есть, в нашем случае, решением для приведенного примера будет вариант $\omega_{i0} = O_i(\Omega/k_l) = \emptyset$, $i = 5$, приводящий к оптимальной альтернативе ω_5 , окрестностью которой является пустое множество \emptyset .

Аналогично для всех возможных совокупностей альтернатив может быть восстановлено результирующее фактор-множество на основе фактор-множеств меньшей размерности. Соответственно, из фактор-множеств первого порядка могут быть сформированы фактор-множества второго порядка (для любых пар ПК) - посредством пересечения соответствующих окрестностей альтернатив [4].

При этом, решение задачи выбора в постановке более высокой размерности $\pi(\Omega/\{k_1, \dots, k_l\})$ для Парето постановки определяется пересечением окрестностей O_i для элементов ω_i фактор-множеств $\Phi_{\Omega}/k_1, \dots, \Phi_{\Omega}/k_l$:

$$O_i(\Omega/k_1) \wedge O_i(\Omega/k_2) \wedge \dots \wedge O_i(\Omega/k_l) = \{\omega_j : [k_1(\omega_j) \leq k_1(\omega_i)] \wedge \\ \wedge [k_1(\omega_z) < k_1(\omega_i)], \omega_{j,i,z} \subseteq \Omega\} \wedge \{\omega_p : [k_2(\omega_p) \leq k_2(\omega_i)] \wedge [k_2(\omega_\gamma) < k_2(\omega_i)]\}, \\ \omega_{p,i,\gamma} \subseteq \Omega\} \wedge \dots \wedge \{\omega_q : [k_l(\omega_q) \leq k_l(\omega_i)] \wedge [k_l(\omega_v) < k_l(\omega_i)], \omega_{q,i,v} \subseteq \Omega\}$$

Или более компактно для $l \subseteq M$ получим:

$$\bigcap \cdot O_i(\Omega/k_l) = \bigcap \cdot \{\omega_j : [k_l(\omega_j) \leq k_l(\omega_i)] \wedge [k_l(\omega_s) < k_l(\omega_i)], \forall l \subseteq M, \omega_{j,i,s} \subseteq \Omega\}.$$

Таким образом, результирующие частично упорядоченные множества большей размерности, чем исходные для совокупности ПК $\{k_l\}$, $l = \{1, M\}$, могут быть получены пересечением фактор-множеств линейных и/или частичных порядков альтернатив меньшей размерности по l . Или иначе, каждое последующее по иерархии фактор-множество $\Phi(\Omega/\{k_{l+1}\})$ находится пересечением фактор-множеств более низкого порядка, а нехудшие варианты находятся как элементы, имеющие в своих окрестностях пустое множество \emptyset .

Соответственно, для двух ПК $\{k_1, k_2\}$:

$$\Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) = \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}).$$

Для трех показателей качества:

$$\Phi(\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}) = \Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1, k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2, k_3\}), \quad (1)$$

Если раскрыть последнее выражение:

$$\Phi(\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}) = \Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1, k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2, k_3\}) = \\ = \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\})$$

и использовать переместительный закон, а также то, что:

$$\Phi(\Omega/\{k_j\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_l\}) = \Phi(\Omega/\{k_j\}),$$

то получим:

$$\Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}), \quad (2)$$

При этом принципиально не требуется получать «вторичные» окрестности, а, имея лишь линейные порядки первого уровня, можно решить задачу многокритериального выбора (МКВ) для любых сочетаний ПК, в отношении которых имеется информация о линейных порядках – так как именно они несут в себе всю необходимую информацию для дальнейших решений.

Выражение (1) описывает то обстоятельство, что каждое последующее (в смысле размерности) фактор-множество может быть восстановлено из фактор-множеств более низких порядков, в том числе и непосредственно из предшествующих по размерности.

Из (1) следует также, что фактор-множество для результирующей совокупности ПК будет содержать минимальные элементы, соответствующие минимальным элементам для проекций. Поэтому для уменьшения трудоемкости алгоритма, осуществляющего пересечение окрестностей O_i с целью выявления минимальных элементов, поиск целесообразно начинать с тех окрестностей, которые содержат либо пустые множества, либо минимальные кортежи альтернатив. Такой подход позволяет снизить в целом трудоемкость алгоритмов адаптивного априорного структурирования альтернатив.

Модель и алгоритм формирования адаптированных данных.

Алгоритм выбора оптимальных вариантов в базах данных (БД) автоматизированных справочников для САПР можно разделить на два основных этапа первый – это формирование адаптивной структуры данных, второй выбор оптимальных вариантов исходя из задачи решаемой ЛПР (рис. 1).

На первом этапе каждой характеристике ставится в соответствие линейный порядок, который запоминается и становится частью адаптивной структуры данных.

Второй этап разделяется на несколько подэтапов:

- 1) ЛПР выбирает из набора характеристик те, которые будут приняты как ПК.
- 2) Формируется адаптивная структура данных в виде частичного порядка - с числом ПК, отражающим информированность ЛПР.
- 3) ЛПР вводит условия и ограничения по другим характеристикам из ТЗ на выбор решения.
- 4) Формируется итоговое решение проверкой конечных элементов на допустимость в сформированном адаптивном частичном порядке.

При этом для новой постановки задач выбора при множественных изменениях требований по допустимости, но при тех же целевых требованиях, критериальное структурирование может сохраняться. Данное обстоятельство дает возможность ЛПР всегда начинать решение подобных задач выбора с конечных вариантов на ИМА Ω . Такая ситуация является характерной для электронных справочников по однородным объектам, для которых скорость изменения исходных множеств много меньше скорости изменения набора ПК и разного рода ограничений на выбор.

На 0-ом иерархическом уровне в качестве исходных структур хранятся нестрогие линейные порядки вариантов по отдельным характеристикам, которые в зависимости от постановки задачи могут быть, в том числе, и ПК. Этот набор данных обозначим как $\{L(\Omega/k_i)\}$.

В случае необходимости при новой постановке задачи структуры данных 0-го иерархического уровня могут быть преобразованы в структуры 1-го уровня.

Эти структуры данных в случае устойчивости критериальных постановок могут быть использованы для априорного структурирования при решении различных других задач выбора по требованиям допустимости.

На 1-ом уровне осуществляется хранение совокупности окрестностей транзитивных фактор-множеств $\{\Phi_{\Omega}^T/k_i\}$ по отдельным показателям качества.

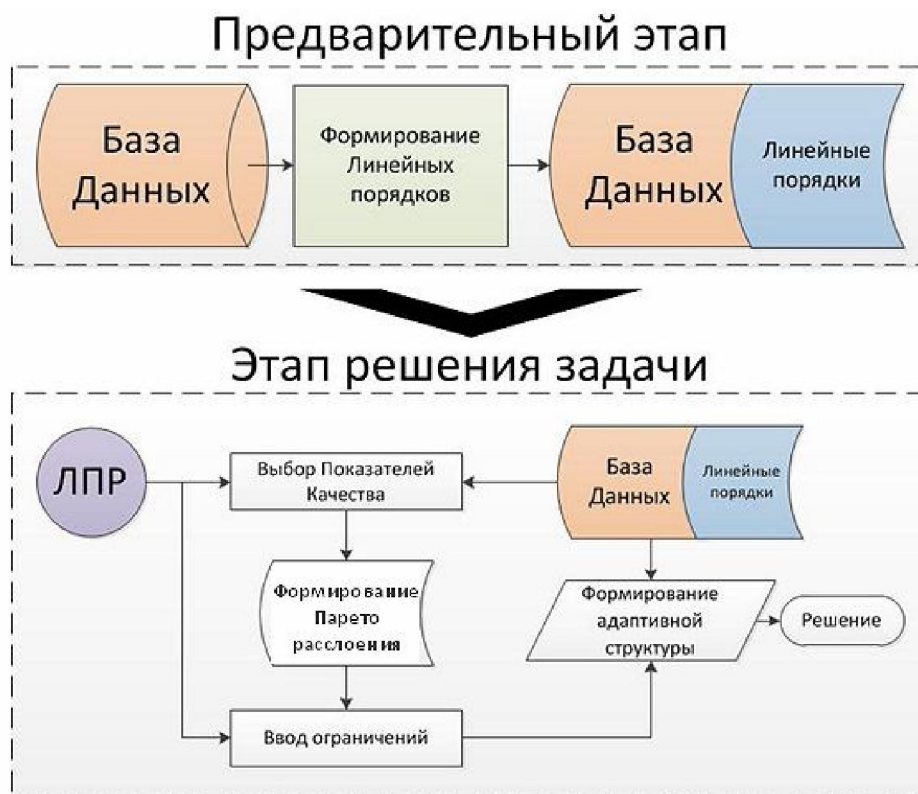


Рис. 1. Блок-схема многоуровневого критериального структурирования альтернатив для адаптивных БД

Структуры 1-го уровня, в свою очередь, могут быть трансформированы посредством пересечения окрестностей в результирующие структуры 2-го уровня по правилу (2). И далее, по индукции – в структуры еще более высоких уровней, соответствующих более высоким частичным порядкам или более слабым постановкам.

Таким образом, априорное адаптивное структурирование альтернатив позволяет сформировать линейные и частичные порядки вариантов любой требуемой размерности, настраивающие структуры данных на задачу МКВ. Как результат – значительно сокращается трудоемкость решения задачи.

Пример 1. Пусть в базе данных справочника транзисторов присутствуют 9 вариантов, представленных реляционным отношением:

$$Re(S, U_{cu}, I_{cu\max}, P)$$

Характеристики транзисторов, представленные в табл. 1 обозначены так:

- S – крутизна вольт-амперной характеристики транзистора [A/V]
- U_{cu} – максимальное напряжение «сток-исток» [В]
- $I_{cu\max}$ – максимальный ток стока [А]
- P – максимальная мощность, рассеиваемая на транзисторе [Вт]
- тип/канал – тип структуры транзистора (тип канала входит в разряд ограничений).

Таблица 1

Исходное множество транзисторов

Вариант	ПК →	$k_1 \uparrow$ *)	$k_2 \uparrow$	$k_3 \uparrow$	$k_4 \uparrow$	R_1
	Наименование	$S, [A/V]$	$U_{cu}, [B]$	$I_{cu\max}, [A]$	$P, [BT]$	Тип/ Канал
ω_1	КП150	13	100	38	150	МДП/N
ω_2	КП250	12	200	30	150	МДП/N
ω_3	КП350	10	400	14	150	МДП/N
ω_4	КП450	9,3	500	12	150	МДП/N
ω_5	КП460	12	500	20	280	МДП/N
ω_6	КП510	1,3	100	6	43	МДП/N
ω_7	КП540	8,7	100	28	150	МДП/N
ω_8	КП610	0,8	200	3,3	36	МДП/N
ω_9	КП630	3,8	200	9	74	МДП/N

*) Стрелки у обозначений показателей качества обозначают направление их изменения при оптимизации

Сформируем адаптивную структуру. Для этого каждому ПК поставим в соответствие линейные порядки:

$$L(\Omega / k_{1..4}) = \begin{cases} L(\Omega / k_1) = \langle \omega_1, \{\omega_2, \omega_5\}, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_9, \omega_6, \omega_8 \rangle \\ L(\Omega / k_2) = \langle \{\omega_4, \omega_5\}, \omega_3, \{\omega_2, \omega_8, \omega_9\}, \{\omega_1, \omega_6, \omega_7\} \rangle \\ L(\Omega / k_3) = \langle \omega_1, \omega_2, \omega_7, \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_9, \omega_6, \omega_8 \rangle \\ L(\Omega / k_4) = \langle \omega_5, \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7\}, \omega_9, \omega_6, \omega_8 \rangle \end{cases}$$

Теперь, когда сформирована адаптивная структура данных, можно приступить к решению задачи структурирования. Пусть ЛПР выбирает два ПК из предложенных в электронном справочнике - для определенности примем, что это S и P . Свободные от критериальных требований ПК, могут выступать и как условия, и как ограничения.

На первом этапе каждому линейному порядку ставится в соответствие факторное множество, а им - ассоциативные матрицы.

$$L(\Omega / k_1) = \langle \omega_1, \{\omega_2, \omega_5\}, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_9, \omega_6, \omega_8 \rangle \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Phi^T(\Omega / k_1) = \begin{cases} O_1 = \emptyset \\ O_2 = \omega_1, \omega_5 \\ O_3 = \omega_1, \omega_2, \omega_5 \\ O_4 = \omega_1, \omega_2, \omega_5, \omega_3 \\ O_5 = \omega_1, \omega_2 \\ O_6 = \omega_1, \omega_2, \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_9 \\ O_7 = \omega_1, \omega_2, \omega_5, \omega_3, \omega_4 \\ O_8 = \omega_1, \omega_2, \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_9, \omega_6 \\ O_9 = \omega_1, \omega_2, \omega_5, \omega_3, \omega_4, \omega_7 \end{cases}$$

$$L(\Omega / k_4) = \langle \omega_5, \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7\}, \omega_9, \omega_6, \omega_8 \rangle \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Phi^T(\Omega / k_4) = \begin{cases} O_1 = \omega_5, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7 \\ O_2 = \omega_5, \omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_7 \\ O_3 = \omega_5, \omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_7 \\ O_4 = \omega_5, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_7 \\ O_5 = \emptyset \\ O_6 = \omega_5, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_9 \\ O_7 = \omega_5, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 \\ O_8 = \omega_5, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_9, \omega_6 \\ O_9 = \omega_5, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7 \end{cases}$$

Теперь каждому фактор-множеству ставится в соответствие ассоциативная матрица (AM), $AM \rightarrow A_i$ и пересекается по π -правилу [5]:

$$A_1 = \begin{matrix} & O_1 & O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 \\ \omega_1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_5 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \omega_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \omega_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \omega_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} ; A_4 = \begin{matrix} & O_1 & O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 \\ \omega_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \omega_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \omega_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \omega_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \omega_5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \omega_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \omega_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \omega_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{matrix}$$

$$A_{14} = \begin{matrix} & O_1 & O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_6 & O_7 & O_8 & O_9 \\ \omega_1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \omega_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \omega_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \omega_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{matrix}$$

На втором этапе ЛПР вводит ограничения. Например, введем ограничение $U_{cu}=100$ [В] тогда итоговая матрица преобразуется, так как из нее убираются недопустимые элементы (обозначим их λ):

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9	
ω_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	$\Rightarrow A_{14} =$	ω_1	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ
ω_2	0	0	1	1	0	1	1	1	1	ω_2	λ	0	λ	λ	λ	1	1	λ	λ	
ω_3	0	0	0	1	0	1	1	1	1	ω_3	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	
ω_4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	ω_4	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	
ω_5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	ω_5	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	
ω_6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	ω_6	λ	0	λ	λ	λ	0	0	λ	λ	
ω_7	0	0	0	0	0	1	0	1	1	ω_7	λ	0	λ	λ	λ	1	0	λ	λ	
ω_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω_8	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	
ω_9	0	0	0	0	0	1	0	1	0	ω_9	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	

Таким образом, конечным элементом Парето расслоения является ω_2 , имеющий пустую окрестность. Этот вариант и будет решением рассмотренной задачи (табл. 2).

Таблица 2

Итоговый элемент структурирования

Вариант	ПК →	$k_1 \uparrow$	$k_2 \uparrow$	$k_3 \uparrow$	$k_4 \uparrow$	R_1
	Наименование	$S, [A/B]$	$U_{cu}, [B]$	$I_{cu \max}, [A]$	$P, [Вт]$	Тип/ Канал
ω_2	КП250	12	200	30	150	МДП/N

При желании можно рассмотреть и другие элементы расслоения.

Пример 2. Покажем, что так же легко можно осуществить выбор и для другого набора ограничений (с повторным использованием результатов предварительного этапа алгоритма). Пусть $I_{cu \max} > 20 [A]$, тогда в матрице останутся элементы $\omega_1, \omega_2, \omega_7$.

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9
ω_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	$\Rightarrow A_{14} =$	ω_1	0	1	λ	λ	λ	1	λ	λ
ω_2	0	0	1	1	0	1	1	1	1	ω_2	0	0	λ	λ	λ	λ	1	λ	λ
ω_3	0	0	0	1	0	1	1	1	1	ω_3	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ
ω_4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	ω_4	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ
ω_5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	ω_5	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ
ω_6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	ω_6	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ
ω_7	0	0	0	0	0	1	0	1	1	ω_7	0	0	λ	λ	λ	λ	0	λ	λ
ω_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ω_8	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ
ω_9	0	0	0	0	0	1	0	1	0	ω_9	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ	λ

В этом случае, конечным элементом Парето расслоения является ω_1 , который и будет оптимальным решением рассмотренной задачи (табл. 3).

Таблица 3

Итоговый элемент структурирования

Вариант	ПК →	$k_1 \uparrow$	$k_2 \uparrow$	$k_3 \uparrow$	$k_4 \uparrow$	R_1
	Наименование	$S, [A/B]$	$U_{cu}, [B]$	$I_{cu \max}, [A]$	$P, [Вт]$	Тип/ Канал
ω_1	КП150	13	100	38	150	МДП/N

Заключение. В работе рассмотрен способ формирования результирующих адаптивных структур данных для справочных систем многокритериального автоматизированного выбора, подверженных определенной динамике критериальных постановок, изменяющихся от задачи к задаче. Метод основан на композиции линейных или частичных порядковых структур меньшей размерности. Такое адаптивное структурирование данных позволяет динамично настраивать структуры данных на целевые постановки ЛПР. Идея изложенного способа априорного структурирования вариантов из ИМА Ω для справочных систем САПР, основана на формировании частичных порядков альтернатив посредством комбинирования линейных порядков альтернатив по наиболее значимым показателям качества с использованием фактор-множеств. Предлагаемый подход дает возможность реализовать принцип, в котором структура данных должна быть настроена на цели решаемой задачи, что позволяет резко сократить число шагов, необходимых для достижения искомого решения.

Список литературы

1. Ашанин В.Н., Чувькин Б.В., Долгова И. А, Коротков А. А., Сидорова И. А. Система поддержки принятия решений при выборе преобразователей информации с сигма-дельта архитектурой // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии-2014, №4 - с.22-34.
2. Брумштейн Ю.М., Тарков Д.А., Дюдиков И.А. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии-2013, №3, с.169-179
3. Буй Ле Ван. Применение метода ранжирования многокритериальных альтернатив (ELECTRE) для выбора сканирующих приемников и трансиверов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии-2014, №2, с.35-47
4. Кандырин Ю.В., Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. -М.: Издательство МЭИ, 2004г. -172с.
5. Кандырин Ю.В. Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР. -М.: Издательский дом МЭИ, 2013г. – 320с.
6. Кандырин Ю.В., Шкурина Г.Л. Два подхода к структурированию альтернатив // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 4 (80). С. 107–110.
7. Кандырин Ю.В., Зинченко Е.Е., Кононов М.Е. Выбор вариантов аналогов по прототипам в структурах графов частичных порядков и Парето слоях // Международный научно-технический журнал *Радиотехника*. Москва, 2013, №10 -С. 23–28
8. Кандырин Ю.В., Сазонова Л.Т., Шкурина Г.Л., Чивилев А.Д. Многокритериальное структурирование альтернатив в автоматизированных системах выбора // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии -2014, №1, С.23-33.
9. Кононов М.Е. Выбор аналогов по прототипу по совокупности показателей качества в программе «Структура» // Известия Волгоградского Государственного Технического Университета. Серия Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах Выпуск 20 №6(133)/ ВолгГТУ. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014.-С 75-83.
10. Подиновский В.В. Анализ устойчивости результатов выбора при частичном отношении предпочтения. М.: Изд. «Российская Академия Наук». // Искусственный интеллект и принятие решений - ISSN 2071-8594. №4. 2009. С.45–52.
11. Шкурина Г.Л. Использование процедур выбора для построения очередей ремонта оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. –2011. – № 3 (73). –С. 74–78.
12. Шуршев В.Ф., Буй Ле Ван. Информационная система для поддержки принятия решений при выборе устройств // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии-2015, №1, с.209-220.
13. Denisov, M., Kizim, A., Kamaev, V., Davydova, S., & Matohina, A. (2014). Solution on Decision Support in Determining of Repair Actions Using Fuzzy Logic and Agent System. In Knowledge-Based Software Engineering (pp. 533-541). Springer International Publishing.
14. Kosmacheva I. et al. Algorithms of Ranking and Classification of Software Systems Elements // Knowledge-Based Software Engineering. – Springer International Publishing, 2014. – С. 400-409.

15. Kandyrin Yu.V., Sazonova L.T., Shkurina G.L.. Structuring options in the tasks of multi-criteria choice. Trudy Kongressa po intellektual'nym sistemam i informacionnym tehnologijam «IS&IT`11». V 4 t. T. 1 : dokl. sekcij mezhdunar. nauch.-tehn. konferencij «AIS`11» i «CAD-2011» / FGOU VPO «Juzhnyj federal'nyj un-t» - M., 2011. Pp 92-97.
16. Larichev O.I. Ranking multicriteria alternatives: The method ZAPROS III. //European Journal of Operational Research, 2001, V. 131, 550-558.
17. Maykiv, A. Stepanenko, D. Wobshal, V. Kochan, R. Kochan, A. Sachenko Remote Reprogrammable NCAPs: Issues and Approaches // Proceedings of 4th IEEE international workshop on Intelligent DataAcquisition and Advancing ComputingSystems, 6-8 September, 2007, Dortmund, Germany, pp.109-113.
18. Semassou G. Clarence, Guidi Tognon Clotilde, Prodjinonto Vincent, Galimova Larisa V., Vianou Antoine. Methods of weights definition in multicriteria analysis //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии-2013, №4, с.59-73.

References

1. Ashanin V.N., Chuvykin B.V., Dolgova I. A, Korotkov A. A., Sidorova I. A. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy pri vybore preobrazovately informatsii s sigma-delta arkhitekturoy //Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii -2014, №4 - s.22-34.
2. Brumshteyn Yu.M., Tarkov D.A., Dyudikov I.A.. Analiz modeley i meto-dov vybora optimal'nykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v uslovi-yakh resursnykh ogranicheniy i riskov //Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii -2013, №3, s.169-179
3. Buy Le Van. Primenenie metoda ranzhirovaniya mnogokriterialnykh alternativ (ELECTRE) dlya vybora skaniruyushchikh priemnikov i transiverov //Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii -2014, №2, s.35-47
4. Kandyrin Yu.V., Metody i modeli mnogokriterialnogo vybora vari-antov v SAPR [Methods and models of a multicriteria choice of options in SAPR]. -M.: Izdatelstvo MEI [Publishing MPEI], 2004g. -172s.
5. Kandyrin Yu.V. Mnogokriterialnyy analiz, izbor i strukturirova-nie variantov v SAPR [The multicriteria analysis, a choice and structuring options in SAPR]. -M.: Izdatelskiy dom MEI [Publishing MPEI], 2013g. – 320s.
6. Kandyrin Yu.V., Shkurina G.L. Dva podkhoda k strukturirovaniyu al-ternativ [Two approaches to structuring alternatives//Scientific and technical messenger of information technologies, mechanics and optics]. 2012. № 4 (80). S. 107-110.
7. Kandyrin Yu.V., Zinchenko Ye.Ye., Kononov M.Ye. Vybor variantov analo-gov po prototipam v strukturakh grafov chastichnykh poryadkov i Pareto sloyakh [Vybor of options of analogs on prototypes in structures of counts of partial orders and Pareto layers]//Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnicheskii zhurnal Radiotekhnika [International scientific and technical Radio engineering magazine.] Moskva, 2013, №10 -C. 23-28
8. Kandyrin Yu.V., Sazonova L.T., Shkurina G.L., Chivilev A.D. Mnogo-kriterialnoe strukturirovanie alternativ v avtomatizirovannykh sistemakh vybora [Many and criteria structuring alternatives in the automated systems of a choice]//Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii [Caspian magazine: management and high technology] -2014, №1, S.23-33.
9. Kononov M.Ye. Vybor analogov po prototipu po sovokupnosti pokazate-ley kachestva v programme «Struktura» [Choice of analogue prototype for aggregate indicators of quality in the "Structure"]// Izvestiya Volgogradskogo Gosudar-stvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh Vypusk 20 №6(133)/ VolgGTU. – Volgograd: IUNL VolgGTU [Proceedings of Volgograd State Technical University. Series Actual problems of management, computer science and informatics in technical systems Issue 20 №6 (133)], 2014.-S 75-83.
10. Podinovskiy V.V. Analiz ustoychivosti rezultatov vybora pri cha-stichnom otnoshenii pred-pochteniya. M.: Izd. «Rossiyskaya Akademiya Nauk». //Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy The analysis of stability of results of a choice at the partial relation of preference. M.: Prod. "Russian Academy of Sciences"//Artificial intelligence and decision-making - ISSN 2071-8594. №4. 2009. S.45-52.

11. Shkurina G.L. Ispolzovanie protsedur vybora dlya postroeniya ochere-dey remonta oborudovaniya [Usage of choice procedures for creation equipment repair queues]// Nauchno-tehnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. [The Scientific and technical messenger of information technologies, mechanics and optics] –2011. – № 3 (73). –S. 74–78.

12. Shurshev V.F., Buy Le Van. Informatsionnaya sistema dlya podderzhki prinyatiya resheniy pri vybore ustroystv //Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii Information system for support of decision-making for a choice of devices//the Caspian magazine: management and high technologies -2015, №1, s.209-220.

13. Denisov, M., Kizim, A., Kamaev, V., Davydova, S., & Matohina, A. (2014). Solution on Decision Support in Determining of Repair Actions Using Fuzzy Logic and Agent System. In Knowledge-Based Software Engineering (pp. 533-541). Springer International Publishing.

14. Kosmacheva I. et al. Algorithms of Ranking and Classification of Software Systems Elements //Knowledge-Based Software Engineering. – Springer International Publishing, 2014. – С. 400-409.

15. Kandyrin Yu.V., Sazonova L.T., Shkurina G.L.. Structuring options in the tasks of multicriteria choice. Trudy Kongressa po intellektual'nym sistemam i informacionnym tehnologijam «IS&IT' 11». V 4 t. T. 1 : dokl. sekcij mezhdunar. nauch.-tehn. konferencij «AIS' 11» i «CAD-2011» / FGOU VPO «Juzhnyj federal'nyj un-t» - M., 2011. Pp 92-97.

16. Larichev O.I. Ranking multicriteria alternatives: The method ZAPROS III. //European Journal of Operational Research, 2001, V. 131, 550-558.

17. Maykiv, A. Stepanenko, D. Wobshal, V. Kochan, R. Kochan, A. Sachenko Remote Reprogrammable NCAPs: Issues and Approaches // Proceedings of 4th IEEE international workshop on Intelligent DataAcquisition and Advancing ComputingSystems, 6-8 September, 2007, Dortmund, Germany, pp.109-113.

18. Semassou G. Clarence, Guidi Tognon Clotilde,Prodjinonto Vincent, Galimova Larisa V., Vianou Antoine. Methods of weights definition in multicriteria analysis //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии-2013, №4, с.59-73.