

УДК 681.5.01:658.512.2011

## ФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ ПОРЯДКОВ ВАРИАНТОВ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ В ОДНОРОДНЫХ МНОЖЕСТВАХ

Ю.В. Кандырин<sup>a</sup>, Г.Л. Шкурина<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, 111250, Российская Федерация

<sup>b</sup> Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, 400121, Российская Федерация

Адрес для переписки: [ywk@mail.ru](mailto:ywk@mail.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию 12.02.15, принята к печати 17.04.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-3-476-482

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Кандырин Ю.В., Шкурина Г.Л. Формирование частичных порядков вариантов для выбора оптимальных альтернатив в однородных множествах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 3. С. 476–482.

### Аннотация

**Предмет разработки.** Предложен метод формирования структуры исходного множества однородных вариантов в базе данных, настроенной на решение задачи выбора в соответствии с их целевым (функциональным) назначением. Эта задача актуальна для электронных справочников (по материалам, компонентам, деталям, лекарствам и т.д.), целевое назначение которых в однородной группе более устойчиво во времени, чем требования по допустимости в каждой новой задаче выбора.

**Метод.** 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. Количество учитываемых показателей качества задает размерность частичного порядка, а его структура предопределена целевым назначением вариантов в однородном множестве через принимаемые во внимание 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.

**Основные результаты.** Разработан способ адаптивной настройки данных на задачу выбора, которая позволяет начинать решение сразу с Парето-оптимальных вариантов, лишь проверяя их на допустимость. Предлагаемый подход гораздо эффективнее традиционного, предполагающего вначале выбор допустимых, а затем оптимальных вариантов вследствие сокращения числа множественных комбинаторных критериальных сравнений в каждой новой задаче выбора. Эффективность метода подтверждается тем, что мощность Парето оптимальных вариантов всегда меньше или равна мощности исходных вариантов, а поиск допустимых вариантов по тем же требованиям на множестве меньшей мощности всегда менее трудоемок, чем поиск допустимых вариантов на множестве большей мощности, вследствие меньшего числа операций бинарных сравнений вариантов.

**Практическая значимость.** Результаты работы могут найти применение при разработке электронных справочников для стандартных и типовых изделий как в составе систем автоматизированного проектирования, так и при создании справочных систем для менеджеров и поставщиков комплектующих компонентов и материалов. В первом случае это спутниковые системы, во втором – автономные.

### Ключевые слова

многокритериальный выбор, структурирование альтернатив, адаптивная структура данных, частичный порядок, линейный порядок, фактор-множества, окрестности альтернатив.

## CREATION OF PARTIAL ORDERS OF VARIANTS FOR SELECTION OF OPTIMAL ALTERNATIVES IN HOMOGENEOUS SETS

Yu.V.Kandyrin<sup>a</sup>, G.L.Shkurina<sup>b</sup>

<sup>a</sup> National Research University «MPEI», Moscow, 111250, Russian Federation

<sup>b</sup> Volgograd State Technical University, Volgograd, 400121, Russian Federation

Corresponding author: [ywk@mail.ru](mailto:ywk@mail.ru)

### Article info

Received 12.02.15, accepted 17.04.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-3-476-482

Article in Russian

**For citation:** Kandyrin Yu.V., Shkurina G.L. Creation of partial orders of variants for selection of optimal alternatives in homogeneous sets. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol.15, no. 3, pp. 476–482.

**Abstract**

**Subject of consideration.** The paper deals with the method for structure creation of the initial set of homogeneous variants in the database adapted to selection task solution according to their target (functional) assignment. This task is actual for the electronic quick reference guides: on materials, components, parts, medicines, etc. which special-purpose designation in homogeneous group is more time-proof, than requirements on admissibility in each new selection task.

**Method.** The offered approach is based on data structure creation representing the partial order of alternatives, designed by unconditional Pareto criterion, from a set of linear or partial orders of variants with smaller dimension. The dimension of quality measures taken into account specifies the partial order dimension, and its structure is predetermined by a special-purpose designation of variants in homogeneous set through taken into account quality measures. The final elements in the partial order graph represent Pareto optimal variants, which need to be tested only on admissibility in each new selection task. The resulting partial order is formed by means of factor sets.

**Main results.** We have worked out the method of data adaptive adjustment on selection task which gives the possibility to start solution at once with Pareto optimal variants only by their admissibility check. The offered approach is much more effective than the traditional one, when in the beginning selection of valid variants is done, and then of the optimal ones, owing to reduction the number of multiple combinatorial criteria comparison in each new selection task. The method efficiency is confirmed by the fact that the power of Pareto optimal variants is always less or equal to the power of initial variants, that is theoretically proved in [1]. It means, that the search of valid variants under the same requirements on smaller power set is always less labour-intensive, than the search of valid variants on the greater power set, owing to the less number of operations of binary comparisons of variants.

**Practical significance.** The results of work are usable at creation of the electronic quick reference guides for standard and generic items, both as part of automated design engineering systems, and at creation of the Helps for managers and suppliers of components and materials. In the first case they are satellite systems, in the second case the off-line ones.

**Keywords**

multi-criteria selection, structuring of alternatives, adaptive data structure, partial order, linear order, factor sets, neighborhood of alternatives.

**Введение**

Создание инновационных систем автоматизированного проектирования (САПР) предполагает разработку эффективных методов решения задач выбора оптимальных вариантов (материалов, компонентов, деталей конструкций, лекарств и химических соединений) из исходных множеств по совокупности показателей качества (ПК). Сегодня разработчикам доступны тысячи однотипных изделий одного функционального назначения, и, несмотря на введение отраслевых ограничений, выбор оптимальных компонентов часто приходится осуществлять по десяткам и даже сотням характеристик, что делает проблему трудно разрешимой без привлечения средств и методов САПР [1, 2]. Важными также являются проблемы обеспечения оптимальных замен элементов при ремонтах оборудования (выбор аналога по прототипу). Подобные задачи могут быть отнесены к классу задач выбора из электронных справочников. Их решение требует создания методов и инструментальных средств, способных оптимизировать сами процедуры выбора и обеспечивать максимальную надежность получаемых результатов [3–5]. Таким образом, задачи выбора из однородных множеств вариантов существенно актуализируются.

Современные методы решения задач многокритериального выбора альтернатив (МВА) обычно предполагают использование априорных, апостериорных и адаптивных критериев [7–10]. Разработка критериального выбора вариантов целесообразна для первичного их усечения, чтобы отсеять заведомо худшие варианты [11, 12]. При этом окончательный выбор всегда осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР), как носитель всей системной информации об объектах выбора и особенностях решаемой задачи.

Формализованные подходы к решению задач выбора вариантов реализуются существенно эффективнее, если структуры исходных данных соответствуют целевым постановкам ЛПР и учету функционального назначения выбираемых альтернатив. Или иначе: «...всякая память должна быть настроена на задачу». Однако, так как задачи выбора могут иметь разнообразные особенности, то для структурирования исходных вариантов целесообразно использовать слабые критерии, чтобы в решениях по ним всегда находились варианты, оптимальные по более сильным критериальным постановкам.

Для реализации методов структурирования и выбора вариантов из исходных множеств  $\Omega$  целесообразно использовать неметрические безусловные, последовательно применяемые условные или комбинированные критерии предпочтения в зависимости от полноты имеющейся информации [13]. В связи с отсутствием доступного инвариантного методического и программного обеспечения возникает проблема создания методологии и разработки эффективного инженерного инструмента многоцелевого сравнения вариантов, установления порядка альтернатив на множестве критериев при выборе оптимальных (в принятом смысле) решений [14], а также повышения быстродействия работы с данными.

**Адаптивные структуры данных**

Автоматизированные системы поддержки принятия решений позволяют наиболее эффективно выбрать требуемые данные, если их структуры, представляющие собой совокупность однородных альтернатив, позволяют произвести быстрый выбор из информационного массива. Так, если задача выбора реша-

ется в соответствии с определенными целевыми установками, заданными тем или иным принципом оптимальности, то и структуры данных должны учитывать принятый ЛПР принцип оптимальности [1, 3]. Адекватный выбор подходящих вариантов, согласно целям потребителя, и меняющийся алгоритм поиска нужных вариантов при изменении требований цели отвечают требованиям адаптивного выбора вариантов. Приспосабливаясь к изменениям цели пользователя, подход допускает динамически сформировать процесс выбора требуемых вариантов.

Адаптивное оптимальное упорядочивание вариантов в автоматизированной системе выбора дает основания для формирования структур информационных массивов, которые, будучи настроены на задачу, в значительной степени сократили бы полный перебор и свели бы число шагов, необходимых для выбора из исходного множества вариантов, к минимуму. В таких критериально структурированных базах данных (БД) решение сразу же начинается с проверки на допустимость тех подмножеств, которые являются первыми претендентами на оптимальность. Подобные технологии структурирования информации в БД являются желательными, если скорость изменения множества исходных альтернатив много меньше, чем скорость изменения критериальных требований и требований по допустимости. Эффект приспособления обеспечивается за счет накопления информации о целях ЛПР. Это позволяет, однажды решив задачу критериального упорядочивания вариантов, в дальнейшем решать каждую новую задачу только проверкой на допустимость потенциально оптимальных вариантов. Понятно, что это возможно, если понимание ЛПР оптимальности сохраняется от задачи к задаче на заданном множестве, а изменяются только требования по допустимости. В таких задачах показатели качества привязаны к функциональному назначению вариантов из однородных множеств  $\Omega$ .

Таким образом, предлагаемый подход основан на наделении исходного множества альтернатив (ИМА) структурой, связанной с функциональным назначением его элементов. Структура отражает устойчивые критериальные требования, присущие ИМА  $\Omega$ . Используя многослойные модели данных, формируемые фактор-множествами, ЛПР оставляет за собой целеполагание, а его креативное участие как бы переносится с уровня собственно выбора альтернатив на выбор критериальных постановок. Принятые цели определяют задаваемый вид структурирования однородных множеств  $\Omega$ .

#### Формирование критериальных порядков вариантов для БД

В работе предлагается адаптивный путь решения задач критериального структурирования однородного множества  $\Omega$ , потребность в котором возникает в тех случаях, когда меняются цели ЛПР.

Предположим, что практическая задача выбора решается с учетом ряда показателей качества, любой из которых может присутствовать в постановке других подобных задач выбора на данном исходном однородном множестве. Так как показатели качества (ПК) положены в основу структурирования альтернатив, предлагается хранить данные о возможных вариантах в виде линейных порядков по каждому из возможных показателей качества  $ПК_l$ . В целом БД будет представлена в виде совокупности таких линейных порядков  $\{\Omega_l(\omega_i)\}$ . Из этих исходных линейных структур могут быть сформированы совокупности окрестностей каждой альтернативы, а значит, и транзитивные фактор-множества для них. В свою очередь, из транзитивных фактор-множеств можно сформировать нетранзитивные частичные порядки, задающие приоритеты альтернатив, и соответствующие им диаграммы Хассе, концевые элементы в которых являются оптимальными по Парето вариантами.

Поясним некоторые термины. Под окрестностью  $O_l(\Omega/k_l)$  альтернативы  $\omega_i \in \Omega$  по  $ПК = k_l$  будем понимать совокупность всех доминирующих или эквивалентных  $\omega_i$  альтернатив. Так, например, для некоторого линейного порядка  $L(\Omega/k_l)$  вариантов,

$$L(\Omega/k_l): \langle \omega_5, \omega_3, \{\omega_4, \omega_6\}, \{\omega_1, \omega_2\} \rangle; \quad l = \{1, M\}$$

окрестности  $O_l(\Omega/k_l)$  можно представить в следующем виде:

$$O_1(\Omega/k_l) = \{\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} - \text{окрестность варианта } \omega_1,$$

$$O_2(\Omega/k_l) = \{\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\} - \text{окрестность варианта } \omega_2,$$

$$O_3(\Omega/k_l) = \{\omega_5\} - \text{окрестность варианта } \omega_3,$$

$$O_4(\Omega/k_l) = \{\omega_3, \omega_5, \omega_6\} - \text{окрестность варианта } \omega_4,$$

$$O_5(\Omega/k_l) = \emptyset - \text{окрестность варианта } \omega_5,$$

$$O_6(\Omega/k_l) = \{\omega_3, \omega_4, \omega_5\} - \text{окрестность варианта } \omega_6.$$

В свою очередь, совокупность окрестностей представляет собой фактор-множество  $\Phi_\Omega/k_l$  той или иной размерности в зависимости от числа показателей качества, 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 [1, 2] было доказано, что решением задачи выбора в  $\pi$  и  $L$  постановках является пересечение фактор-множеств окрестностей альтернатив для соответствующей постановки. Таким образом, в нашем случае решением для приведенного примера будет вариант  $\omega_5$ , окрестностью которого является пустое множество  $\emptyset$ :

$$\omega_{i0} = \omega_5 = O_i(\Omega/k_i) = \emptyset, \quad i = 5.$$

Аналогично для всех возможных совокупностей окрестностей 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 показателей качества) посредством пересечения соответствующих окрестностей альтернатив [1]. 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  $\omega_i$  фактор-множеств  $\Phi_{\Omega}/k_1, \dots, \Phi_{\Omega}/k_l$ :

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

В более компактной форме для  $l \subseteq M$  получим:

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

Таким образом, результирующие частично упорядоченные множества большей размерности, чем исходные для совокупности показателей качества  $\{k_l\}$ ,  $l = \{1, M\}$ , могут быть получены пересечением фактор-множеств линейных и (или) частичных порядков альтернатив меньшей размерности по всем  $l$ . Или иначе, каждое последующее по иерархии фактор-множество  $\Phi(\Omega/\{k_{l+1}\})$  находится пересечением фактор-множеств более низкого порядка, а не худшие 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 ПК

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

Раскрывая последнее выражение,

$$\begin{aligned} \Phi(\Omega/\{k_1, k_2, k_3\}) &= \Phi(\Omega/\{k_1, k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1, k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2, k_3\}) = \\ &= \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_1\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_2\}) \cap \Phi(\Omega/\{k_3\}), \end{aligned}$$

и используя переместительный закон, а также то, что

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

получаем:

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

т.е. принципиально не требуется получать «вторичные» окрестности. Имея лишь линейные порядки первого уровня, можно решить задачу многокритериального выбора для любых сочетаний ПК, на 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 из непосредственно предшествующих по размерности. Из (1) следует также, что фактор-множество для результирующей совокупности ПК будет содержать минимальные элементы, соответствующие минимальным элементам для проекций. Исходя из этого, для уменьшения трудоемкости алгоритма, осуществляющего пересечения 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.

Приведем пример поиска допустимых вариантов на структурированном множестве, представленном диаграммой Хассе  $H_{13}$ , описывающей нетранзитивный частичный порядок на множестве альтернатив (рис. 1). Диаграмме Хассе можно поставить в соответствие фактор-множество  $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$ , полученное для  $\pi$ -постановки на исходном множестве  $\Omega$ .

Пусть требуется найти оптимальные варианты среди допустимых альтернатив  $\Omega_d = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4\}$  на множестве  $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6\}$  для минимизации обоих ПК. Иначе говоря, недопустимыми альтернативами являются  $\Omega_{нд} = \{\omega_5, \omega_6\}$ , полученные как  $\Omega \setminus \Omega_{нд} = \Omega_d$ .

Рассмотрим порядок решения такой задачи на структурированном множестве. Для этого опишем его совокупностью окрестностей каждой альтернативы в виде реляционной матрицы, представляющей собой фактор-множество  $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$  (таблица), полученное из двух линейных порядков по  $k_1$  и  $k_2$  по правилу (2), и найденное допустимое фактор-множество  $\Phi(\Omega_d/\pi\{k_1, k_3\})$ .

На первом этапе процедуры выбора рассматриваются варианты, оптимальные по Парето, относящиеся к первому слою Парето, как имеющие пустые окрестности. Таким образом, выбор вариантов начинается сразу с оптимальных альтернатив проверкой на допустимость, без рассмотрения всего исходного множества. Если найденные Парето оптимальные варианты недопустимы по условию задачи (в нашем случае  $\{\omega_5, \omega_6\}$ ), то, возможно, допустимыми являются варианты из следующего слоя, за вычетом уже

рассмотренных:  $\Omega_d = \Omega \setminus \{\omega_5, \omega_6\}$ . Для дальнейшего решения задачи сформируем из полного фактор-множества вариантов  $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$  фактор-множество допустимых вариантов  $\Phi(\Omega_d/\pi\{k_1, k_3\})$  посредством исключения окрестностей  $\{O_i(\Omega/H_{13})\}$ ,  $i = \{5, 6\}$ , а также самих недопустимых элементов  $\{\omega_5, \omega_6\}$  в оставшихся окрестностях  $O_i(\Omega/H_{13})$ .

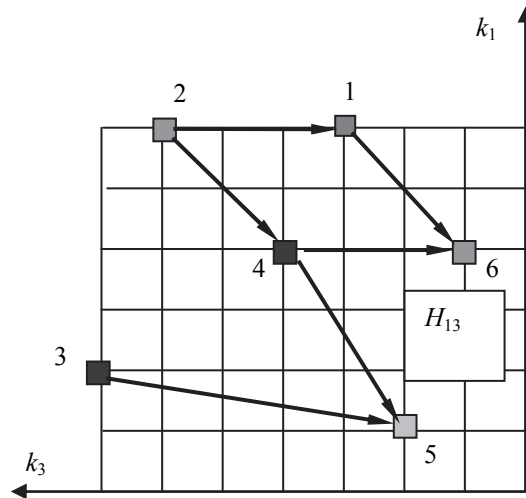


Рис. 1. Распределение альтернатив (1–6) в пространстве ПК  $\{k_1, k_3\}$  и соответствующая им диаграмма Хассе  $H_{13}$

	$\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$	$\Phi(\Omega_d/\pi\{k_1, k_3\})$
$\omega_1$	$\omega_5, \omega_6$	$\emptyset$
$\omega_2$	$\omega_1, \omega_4, \omega_5, \omega_6$	$\omega_1, \omega_4$
$\omega_3$	$\omega_5$	$\emptyset$
$\omega_4$	$\omega_5, \omega_6$	$\emptyset$
$\omega_5$	$\emptyset$	–
$\omega_6$	$\emptyset$	–

Таблица. Представление фактор-множеств для исходного фактор-множества  $\Phi(\Omega/\pi\{k_1, k_3\})$  и фактор-множества допустимых вариантов  $\Phi(\Omega_d/\pi\{k_1, k_3\})$

Фактор-множество  $\Phi(\Omega_d/\pi\{k_1, k_3\})$  приведено в правой части таблицы. Прочерком в таблице обозначено отсутствие окрестностей у недопустимых вариантов из-за отсутствия самих элементов  $\{\omega_5, \omega_6\}$  во множестве допустимых вариантов.

Из таблицы и рис. 1 следует, что альтернативы  $\omega_1, \omega_3, \omega_4$  являются решением задачи выбора для постановки  $\pi\{k_1, k_3\}$ , в случае недопустимости вариантов  $\{\omega_5, \omega_6\}$ .

Особенностью предлагаемого подхода является то обстоятельство, что хранить информацию об альтернативах в предложенной адаптивной БД необходимо только для линейных порядков по ПК, а требуемые критериально структурированные данные можно формировать адаптивно к каждой задаче выбора, что существенно сокращает комбинаторные бинарные сравнения при решении задач выбора в неметрических безусловных и условных постановках.

Таким образом, задача критериального адаптивного априорного структурирования альтернатив как бы приспособливает структуры данных к их целевому использованию при решении конкретных частных задач выбора. Само же преобразование структур осуществляется в соответствии с рассмотренными выше правилами и может быть представлено в виде описанного ниже алгоритма.

### Модель и алгоритм формирования критериально структурированных вариантов

В том случае, если критериальная устойчивость постановок нарушается (например, при изменении функционального использования вариантов в другом проекте), из элементов данных более низкого уровня могут быть легко сформированы новые структуры данных, отвечающие новым целям задачи выбора.

При этом для новой постановки задач выбора при существенных изменениях требований по допустимости, но при тех же целевых требованиях критериальное структурирование может сохраняться. Данное обстоятельство дает возможность ЛППР всегда начинать решение подобных задач выбора с конечных (лучших или нехудших) альтернатив на множестве возможных вариантов  $\Omega$ . Обобщенную процедуру формирования адаптированной БД и поиска решений в ней при таком структурированном подходе можно представить так, как показано на рис. 2.

На 0 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  $\{L(\Omega/k_i)\}$ .

Структуры данных 0 уровня могут быть преобразованы в случае необходимости при новой постановке задачи в структуры 1 уровня. Эти структуры данных в случае устойчивости критериальных постановок могут быть использованы для априорного структурирования при решении различных других задач выбора по допустимости.

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



Рис. 2. Укрупненная блок-схема многоуровневого критериального структурирования альтернатив для справочных систем САПР

Структуры 1 уровня, в свою очередь, могут быть трансформированы посредством пересечения окрестностей в результирующие структуры 2 уровня по правилу (2), и далее, по индукции – в структуры еще более высоких уровней, соответствующие 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 многокритериального выбора и в итоге значительно сокращающие трудоемкость ее решения.

### Заключение

В работе рассмотрен способ формирования результирующих адаптивных структур данных для справочных систем многокритериального автоматизированного выбора, в котором существует определенная динамика критериальных постановок, изменяющаяся 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 ЛПП. Идея изложенного способа априорного структурирования исходного множества  $\Omega$  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 до искомого решения.

## References

1. Kandyrin Yu.V. *Metody i Modeli Mnogokriterial'nogo Vybora Variantov v SAPR* [Methods and Models of Multi-Criteria Choices in CAD]. Moscow, MEI Publ., 2004, 172 p.
2. Kandyrin Yu.V., Shkurina G.L. Dva podkhoda k strukturirovaniyu al'ternativ [Two approaches to structuring of alternatives]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2012, no. 4 (80), pp. 107–110.
3. Kandyrin Yu.V. *Mnogokriterial'nyi Analiz, Vybory i Strukturirovanie Variantov v SAPR* [Multi-Criteria Analysis, Selection and Structuring Options in CAD]. Moscow, MEI Publ., 2013, 320 p.
4. Shkurina G.L. Ispol'zovanie protsedur vybora dlya postroeniya ocheredei remonta oborudovaniya [Selection procedures for queues construction of equipment service]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2011, no. 3 (73), pp. 74–78.
5. Podinovski V.V. Analyzing the stability of choice for the partial preference relation. *Scientific and Technical Information Processing*, 2011, vol. 38, no. 5, pp. 377–383.
6. Melnik V.Y., Kamaev V.A., Kizim A.V. Primenenie nemetricheskogo metoda Pareto dlya zadachi planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta [Application of nonmetric method Pareto for the planning maintenance service and repair problems]. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2011, vol. 12, no. 11 (84), pp. 103–106.
7. Kosmacheva I., Kvyatkovskaya I., Sibikina I., Lezhnina Y. Algorithms of ranking and classification of software systems elements. *Proc. 11<sup>th</sup> Conf. on Knowledge-Based Software Engineering*. Volgograd, Russia, 2014, pp. 400–409. doi: 10.1007/978-3-319-11854-3\_34
8. Didik Y.I., Korzunin G.S., Didik M.Yu. A setup for measuring magnetic properties of magnetically soft materials in the pulsed remagnetization regime. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2001, vol. 37, no. 7, pp. 453–462. doi: 10.1023/A:1014021226375
9. Kandyrin Yu.V., Sazonova L.T., Shkurina G.L. Structuring options in the tasks of multi-criteria choice. *Trudy Kongressa po Intel'kturnym Sistemam i Informacionnym Tehnologijam, IS&IT'11* [Proc. Congress on Intelligence Systems and Information Techniques]. Moscow, 2011, pp. 92–97.
10. Larichev O.I. Ranking multicriteria alternatives: the method ZAPROS III. *European Journal of Operational Research*, 2001, vol. 131, no. 3, pp. 550–558. doi: 10.1016/S0377-2217(00)00096-5
11. Mayikiv I., Stepanenko A., Wobshall D., Kochan R., Kochan V., Sachenko A., Vasylykiv N. Remote reprogrammable NCAPs: issues and approaches. *Proc. 4<sup>th</sup> IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS*. Dortmund, Germany, 2007, pp. 109–113. doi: 10.1109/IDAACS.2007.4488385
12. Laplante P.A. *Real-Time Systems Design and Analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. Wiley-Interscience, 2004, 506 p. doi: 10.1002/0471648299
13. Denisov M., Kizim A., Kamaev V., Davydova S., Matohina A. Solution on decision support in determining of repair actions using fuzzy logic and agent system. *Proc. 11<sup>th</sup> Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, JCKBSE 2014*. Volgograd, Russia, 2014, pp. 533–541. doi: 10.1007/978-3-319-11854-3\_46
14. Sadovnikova N., Parygin D., Gnedkova E., Kravets A., Kizim A., Ukustov S. Scenario forecasting of sustainable urban development based on cognitive model. *Proc. IADIS International Conference ICT, Society and Human Beings 2013*. Prague, Czech Republic, 2013, pp. 115–120.

**Кандырин Юрий Владимирович**

– кандидат технических наук, профессор, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, 111250, Российская Федерация, ywk@mail.ru

**Шкурин Галина Леонидовна**

– кандидат технических наук, доцент, доцент, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, 400121, Российская Федерация, ywk@mail.ru

**Yury V. Kandyrin**

– PhD, Professor, Professor, National Research University «MPEI», Moscow, 111250, Russian Federation, ywk@mail.ru

**Galina L. Shkurina**

– PhD, Associate professor, Associate professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400121, Russian Federation, ywk@mail.ru