

# Алгоритмы автоматизированной оценки и выбора конкурентоспособных проектных решений

## Баркалов С.А.

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж); e-mail: u00740@vgasu.vrn.ru

## Белоусов В.Е.

Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

## Тутаришев З.Б.

Аспирант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: saya-saya-1993@mail.ru

## Король О.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва); e-mail: mrkorol.oleg@gmail.com

Статья получена: 21.04.2020. Рассмотрена: 12.05.2020. Одобрена: 24.06.2020. Опубликовано онлайн: 30.06.2020. ©РИОР

**Аннотация.** Рассматривается задача организации системотехнического проектирования на этапах реализации строительного проекта с использованием экспертной информации. Вначале определяются достаточные признаки, затем на их основе строится частное решающее правило и строится дерево свойств с оценкой на основе шкалы наименований.

**Ключевые слова:** алгоритм, сетевой график, модель, риск, проект, шкала наименований.

## 1. Введение

В настоящее время задаче оценки соответствия варианта проектируемого изделия с формулируемым потребителями критериям качества уделяется все больше внимания. Решение этой

задачи предшествует стадии конструирования изделия и имеет обширную терминологию: проектная стадия, системотехническое, системное, внешнее, предварительное проектирование или стадия проектирования и т.п. Актуальность и необходимость автоматизации системотехнического проектирования объясняется тем, что создание систем автоматизированного проектирования (САПР) требует, чтобы на ранних стадиях проектирования было создано формализованное техническое задание. Очевидно, что формулировка целей проектирования, например, максимальное увеличение комфорта при минимальном увеличении цены изделия, есть перенос нерешенной задачи на более поздние стадии проектирования. Аналогичный смысл имеет техническое задание, где требования на

## ALGORITHMS FOR AUTOMATED ASSESSMENT AND SELECTION OF COMPETITIVE DESIGN SOLUTIONS

### Sergej Barkalov

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Management", Voronezh State Technical University, Voronezh; e-mail: u00740@vgasu.vrn.ru

### Vadim Belousov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

### Zaur Tutarishhev

Postgraduate Student, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: saya-saya-1993@mail.ru

### Oleg Korol

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Housing and Communal Complex Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow; e-mail: mrkorol.oleg@gmail.com

**Manuscript received:** 21.04.2020. **Revised:** 12.05.2020. **Accepted:** 24.06.2020. **Published online:** 30.06.2020. ©РИОР

**Abstract.** The problem of organizing systematic design at the stages of implementation of a construction project using expert information is considered. First, sufficient features are determined, then a particular decision rule is built on their basis, and a tree of properties is constructed with an assessment based on the name scale.

**Keywords:** algorithm, network schedule, model, risk, project, naming scale.

проектируемое изделие формулируются в виде вектора значений параметров. Основа будущего изделия и его качество с точки зрения удовлетворения потребностей (соответствия целям) в основном формируются на ранних стадиях проектирования.

## 2. Постановка задачи

Постановка задачи оценки вариантов при иерархии критериев рассмотрена в [1; 2]. Представляется, что системотехническая стадия проектирования состоит из предварительных неформализованных этапов: формирование ситуаций функционирования изделия; выделение критериев оценки вариантов проектных решений и построение дерева критериев; формирование требований к проектируемому изделию; формирование вариантов и этапов, подлежащих автоматизации.

В общем случае предполагается наличие неопределенности ситуаций функционирования проектируемого изделия, т.е. существование множества ситуаций —  $\{S\}$  в которых возможна эксплуатация изделия. Каждая ситуация характеризуется своей эффективностью проектируемой технической системы как по комплексному критерию оценки, так и по локальным критериям. Формирование ситуаций предполагает проведение на стадии системотехнического проектирования анализа вариантов с целью выявления наилучшего по совокупности ситуаций функционирования. Такой анализ опускается, если неопределенность ситуаций функционирования отсутствует (множество состоит из единственного элемента —  $S$ ).

Выделению критериев предшествует формирование целей всех заинтересованных в результате проектирования сторон: заказчика или потенциального пользователя, изготовителя технической системы и проектировщика. Древовидная структура критериев является следствием иерархической природы целей, а критерий есть показатель степени достижения цели, служащий для сравнительной оценки возможных проектных решений и выбора наилучшего. На дереве критериев происходит последовательный переход (путем обобщения) от конструктивных параметров изделия к комплексному показателю эффективности системы.

Поэтому иерархия критериев способна соединить частично противоречивые позиции и не всегда ясные сторонам понятия, имеющие место в процессе проектирования. Так, пользователям смартфонов не всегда понятны такие термины как чувствительность в микровольтах или избирательность в децибелах, обычно приводимые в паспортах в качестве показателей эффективности конструкции. С другой стороны, конструкторам не всегда ясны требования к проектируемому изделию, формулируемые заказчиком в виде вектора технико-экономических показателей (верхний уровень дерева критериев).

## 3. Разработка автоматизированных этапов оценки вариантов реализации проекта

Схема взаимодействия автоматизированных этапов оценки вариантов представлена на рис. 1.

Организация системотехнического проектирования может быть представлена алгоритмом:

*Шаг 1.* Формирование ситуаций функционирования и построение дерева критериев.

*Шаг 2.* Построение и проверка модели оценки вариантов.

*Шаг 3.* Формирование требований к проектируемому изделию с использованием модели оценки вариантов.

*Шаг 4.* Поиск принципов построения технической системы (формирование вариантов) и определение ожидаемых значений показателей для каждого из вариантов.

*Шаг 5.* Оценка вариантов.

Если среди представленных проектировщиком вариантов существует хотя бы один достаточно близкий к требованиям по обобщенному показателю качества и автоматизированное обоснование этого представляется заказчику достаточно убедительным, то следует переход к шагу 7.

Если представленные варианты далеки от требований и проектировщик согласен, что поиск принципов может быть продолжен, то следует переход к шагу 4.

Если представленные варианты далеки от требований и доводы проектировщика о необходимости снижения требований к создаваемому изделию кажутся заказчику необоснованными, то следует переход к шагу 6.

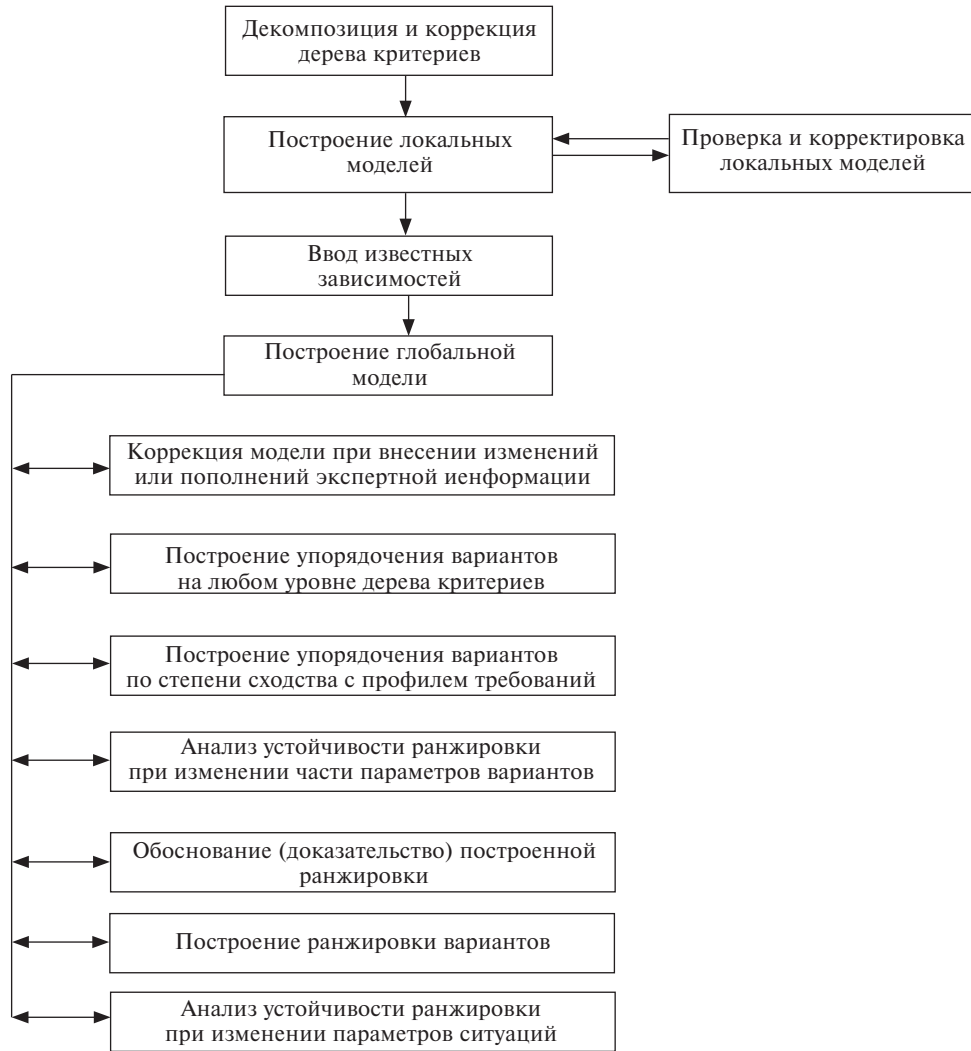


Рис. 1. Этапы решения задачи оценки вариантов на стадии системотехнического проектирования

*Шаг 6.* Производится детализация понятий нижнего уровня дерева критериев и построение вновь появившихся локальных зависимостей. Переход к шагу 5.

Цель данного шага состоит в построении более детальной модели и проведении на шаге 5 более тонкого анализа вариантов. Это позволит либо убедить проектировщика вернуться к шагу 4, либо убедит заказчика зафиксировать в техническом задании требования к проектируемому изделию, сниженные до уровня значений наилучшего из представленных к оценке на шаге 5 вариантов.

*Шаг 7.* Формирование технического задания для проведения конструкторской и технологической стадий проектирования.

Можно думать, что кроме принципов построения технической системы, соответствующих одному или нескольким наилучшим вариантам, и значений показателей качества наилучшего варианта, используемых в качестве требований, в техническое задание следует включать модель оценки вариантов, которая позволит анализировать проектные решения, возникающие на последующих стадиях проектирования. Последнее позволяет говорить о формализованном техническом задании.

Построение модели оценки вариантов начинается с декомпозиции дерева критериев на фрагменты. Фрагмент — это двухуровневый граф, верхний уровень которого состоит из единственной вершины, нижний — полный

набор вершин дерева, непосредственно связанных с вышестоящим критерием дугами. Дуги как на дереве критериев, так и на каждом фрагменте представляют отношение между вершинами — <зависит от>. Фрагмент является графической интерпретацией локальных зависимостей, составляющих модель оценки вариантов. Число локальных зависимостей (или моделей) равно числу вершин дерева критериев без нижнего уровня.

Считается, что локальная зависимость известна, если задано правило вычисления значений критерия верхнего уровня фрагмента или возможно и целесообразно построение такой зависимости по экспериментальным данным. В противном случае имеет место неизвестная локальная зависимость, восстановление которой возможно только на основе экспертной информации. При построении неизвестных локальных моделей основным типом экспертной информации являются лингвистические оценки. Эксперту необходимо отметить одно из семи предлагаемых суждений о соотношении пары вариантов по критерию верхнего уровня фрагмента. Сравнимые гипотетические варианты отличаются значениями не более чем двух критериев. В проблемах, которые эксперту хорошо знакомы, представляется целесообразным использовать количественную экспертную информацию о компенсации приращения одного критерия изменением значения другого. Такой тип информации может быть использован только при наличии количественных шкал измерения хотя бы у части критериев нижнего уровня фрагмента.

Метод построения локальной модели с использованием количественной и (или) лингвистической информации рассмотрен в [3]. Критерии могут быть измерены либо в любой из количественных шкал, либо в шкале порядка. Вопрос построения модели при порядковых шкалах рассмотрен в [4].

Использование шкал наименований ограничено выполнением одного из следующих предположений: число пунктов шкалы незначительно, а число критериев, измеренных в шкале наименований, для любого фрагмента равно одному или двум; число пунктов шкалы наименований может быть достаточно большим, только если они являются подмножествами множества элементов, на котором можно задать

упорядочение по некоторому свойству. Например, в задаче проектирования возникает вопрос о наборе функций реализуемой технической системой. Здесь множество — функции, которые желательно реализовать; пункты шкалы наименований — произвольные наборы функций из заданного множества; свойство — важность или желательность реализации отдельной функции.

На этапе построения модели оценки вариантов использование ЭВМ начинается с ввода экспертной информации. Экспертиза будет более эффективной, если ее организовать в форме планшетов экспертного спроса, а не в виде вопросно-ответной системы с использованием видеотерминалов.

Поэтому методика оценки вариантов состоит из набора правил (для группы сопровождения системотехнического проектирования) по декомпозиции дерева критериев, планированию экспертизы, оформлению планшетов и программного комплекса, реализующего последующие этапы (рис. 1). Анализ вариантов проектных решений состоит в построении упорядочений вариантов, полученных на шаге 4, по любому из критериев (задает пользователь программного комплекса) дерева.

Если полученная ранжировка вызывает у пользователя сомнения, то она может быть обоснована. Доказательство производится с использованием модели оценки вариантов и сводится к последовательности шагов:

*Шаг 1.* На экране видеотерминала появляется таблица, в которой представлены значения критериев предшествующего уровня.

*Шаг 2.* У пользователя выясняется, что вызывает большее сомнение: оценки вариантов по этим критериям; упорядочение вариантов при данных значениях критериев.

В первом случае следует переход на предшествующий уровень дерева для критерия, оценки по которому сомнительны и далее к шагу 1. Во втором — к шагу 3.

*Шаг 3.* Выясняется какая пара вариантов в ранжировке вызывает максимальные сомнения.

*Шаг 4.* Доказывается превосходство одного варианта над другим. Для этого строится последовательность гипотетических вариантов, обладающая следующими свойствами: первым вариантом последовательности является лучший из двух исходных вариантов; последующий вариант не лучше предыдущего; последующий

вариант отличается от предыдущего значения — не более чем двух критериев; последовательность завершает худший из двух исходных вариантов. При появлении очередного варианта на экране у пользователя выясняется, согласен ли он, что новый вариант удовлетворяет второму свойству. Если нет, то вариант корректируется или следует переход к формированию новой последовательности.

*Шаг 5.* В зависимости от желания пользователя следует один из переходов: к шагу 1, к шагу 3 или окончанию алгоритма.

Исходными данными для анализа устойчивости является критерий, по которому получена ранжировка, и конструктивный параметр, варьирование которого предполагается. Результат — интервал, в пределах которого ранжировка вариантов не изменяется.

## Литература

1. Баркалов С.А. Моделирование системы оценки компетенций в управлении профессорско-преподавательским составом вуза [Текст] / С.А. Баркалов [и др.] // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). Сборник докладов в 2 т. Т. 1. Санкт-Петербург, 23–25 мая 2018 г. — СПб.: Изд-во ЛЭТИ. — С. 355–358.
2. Белоусов В.Е. Алгоритмы получения упорядоченных правил предпочтения в задачах принятия решений при планировании производственных программ [Текст] / В.Е. Белоусов, К.И. Нижегородов, И.С. Соха // Управление строительством. — 2019. — № 1. — С. 105–111.
3. Белоусов В.Е. Ресурсно-временной анализ в задачах календарного планирования строительных предприятий [Текст] / В.Е. Белоусов, С.А. Баркалов, К.А. Нижегородов // Материалы XVI Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами». Тамбов (11–13.09.2019). — Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2019. — Т. 1. — С. 98–101.
4. Бурков В.Н. Большие системы: моделирование организационных механизмов [Текст] / В.Н. Бурков [и др.]. — М.: Наука, 1989. — 245 с.

## References

1. Barkalov S.A., Belousov V.E., Kalinina N.Yu., Nasonova T.V., Fomina M.A., Leksashov A.V. Modelirovanie sistemy ocenki kompetencij v upravlenii professorsko-prepodavatel'skim sostavom vuza [Modeling the system for assessing competencies in the management of the teaching staff of the university]. XXI Mezhdunarodnaya konferenciya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018). Sbornik dokladov v 2 t. Sankt-Peterburg. 23–25 maya 2018 g. [XXI International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM-2018)]. St. Petersburg: LETI Publ., V. 1, pp. 355–358.
2. Belousov V.E. Algoritmy polucheniya uporyadochennykh pravil predpochteniya v zadachah prinyatiya reshenij pri planirovaniy proizvodstvennykh programm [Algorithms for obtaining ordered rules of preference in decision-making tasks when planning production programs]. *Upravlenie stroitel'stvom* [Scientific journal “Construction Management” Publishing House of VSTU]. VGTU Publ., Voronezh, 2019, I. 1, pp. 105–111.
3. Belousov V.E. Resursno-vremennoj analiz v zadachah kalendar'nogo planirovaniya stroitel'nykh predpriyatij [Resource-time analysis in the tasks of scheduling of construction enterprises]. *Materiialy XVI-oj Vserossiyskaya shkola-konferenciya molodykh uchenykh «Upravlenie bol'shimi sistemami» Tambov (11–13.09.2019)* [Materials of the XVI All-Russian School-Conference of Young Scientists “Management of Large Systems” Tambov (11–13.09.2019)]. TGTU Publ., Tambov, 2019, V. 1, pp. 98–101.
4. Burkov V.N., Danev B., Enaleev A.K. *Bol'shie sistemy: modelirovanie organizacionnykh mekhanizmov* [Large systems: modeling organizational mechanisms]. Moscow: Nauka Publ., 1989. 245 p.