

УДК 338.45: 303.09

Интерактивная процедура многокритериальной оптимизации при составлении календарных планов

А.М. Карякин, В.В. Березка
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: karyakin@economic.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время при разработке календарных планов инвестиционно-строительной деятельности специализированные информационные системы позволяют в большинстве случаев автоматизировать функции поиска аналогов и расчетные процедуры. Поиск оптимального решения строится на основе субъективных оценок лица, принимающего решения. Вместе с тем усиление конкурентной борьбы в сфере строительства предопределяет необходимость разработки систем поддержки принятия решений для оптимизации инвестиционно-строительной деятельности.

Материалы и методы: Использованы данные проектов развития систем поддержки принятия решений в сфере инвестиционно-строительной деятельности. Проведение исследований базировалось на системном подходе, методах последовательных уступок и процедуре поиска удовлетворительных значений критериев STEM при заданных весах.

Результаты: Предложена интерактивная процедура реализации оптимизационных процессов при составлении календарных планов в рамках инвестиционно-строительной деятельности.

Выводы: Интерактивная процедура реализации оптимизационных процессов при составлении календарных планов в рамках инвестиционно-строительной деятельности положена в основу разрабатываемой системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: календарный план, многокритериальная оптимизация, интерактивная процедура.

Interactive Procedure of Multicriteria Optimization while Making Calendar Plans

A.M. Kariakin, V.V. Berezka
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: karyakin@economic.ispu.ru

Abstract

Background: Nowadays, special informational systems give the opportunity to automatize the functions of analogs search and calculation procedures while developing calendar plans of investment- construction activity in many cases. The optimal decision search is based on the principles of subjective decision maker assessment. At the same time the reinforcement of competition in the sphere of construction predetermines the necessity support systems of problem solving development for optimizing the investment-construction activity.

Materials and Methods: The data support system projects development for problem solving in the sphere of investment-construction activity were used. Carrying out the research was based on the system approach, successive concession and procedure search of satisfactory criteria values STEM under given weights.

Results: Interactive procedure of optimized process realization while making calendar plans within the limits of investment- construction activity is proposed.

Conclusions: Interactive procedures of optimized processes realization while making calendar plans within the limits of investment- construction activity is put as the basis of the developed support system of problem solving.

Key words: calendar plan, multicriteria optimization, interactive procedure.

В рамках комплексной системы поддержки принятия решений при составлении календарных планов разработан комплекс формально-эвристических алгоритмов поиска оптимального варианта календарного плана. При разработке формально-эвристических алгоритмов использовались методы последовательного анализа вариантов [1] и прямого поиска [2].

Важнейшим звеном практически любой системы поддержки принятия решений является человек, пользователь системы. Поэтому при создании систем поддержки принятия решений (СППР) всегда значительное внимание уделялось вопросам взаимодействия лица,

принимающего решения (ЛПР), и вычислительного комплекса. В первую очередь это касается проблемы распределения функций системы между человеком и ЭВМ и, как следствие, вопросов разработки интерактивного режима функционирования СППР. Несмотря на очевидную тенденцию повышения степени автоматизации проектирования, работа в интерактивном режиме остается необходимой в связи с тем, что полностью формализовать процесс проектирования сложных технических систем, как правило, не удается и участие человека при решении ряда задач позволяет ускорить процесс принятия решения.

При разработке и развитии интерактивных процедур и операций многокритериальной оптимизации календарных планов предлагается использовать пассивно-регламентированный диалог: меню, заполнение бланка, запросы «да – нет» [3].

Основное внимание при этом уделяется следующим вопросам:

- увеличению степени свободы действий ЛПР при инициализации системы;
- выявлению возможных многоальтернативных ситуаций и организации диалоговых процедур по их разрешению;
- адаптации вычислительной модели к требованиям пользователей;
- организации интерактивного режима процесса оптимизации;
- разработке методологии принятия решений в условиях многокритериальности;
- организации детальной проработки решений, полученных в результате параметрической оптимизации;
- расширению сервисных функций системы в режиме диалога.

Увеличение степени свободы действий ЛПР при инициализации СППР обеспечивается разделением процесса формирования календарного плана на процедуры, каждая из которых предусматривает проведение конкретных видов работ. ЛПР, в зависимости от степени своей подготовленности и специфики решаемой задачи, имеет возможность отказаться от проведения как отдельных этапов формирования календарного плана, так и от ряда проектных процедур. Например, пользователь системы может самостоятельно определить структуру объекта, не подключая при этом поисково-экспертную подсистему. Предусмотрены возможность формирования компонентов календарного плана и реализация отдельных элементов вычислительной модели. Таким образом, точки «входа» и «выхода» системы, ее функциональную направленность определяет ЛПР.

Выбор стратегии поиска оптимального решения на этапе параметрической оптимизации является одним из наиболее важных аспектов в разработке и эксплуатации СППР. В настоящее время в математическом программировании известно большое количество методов и алгоритмов определения экстремума. Проведена большая работа по их изучению и систематизации. Но универсальных подходов пока не найдено. Эффективные алгоритмы оптимального проектирования строятся лишь на основе комбинации различных методов с учетом специфики математической модели объекта. В связи с этим нами была разработана двухэтапная стратегия поиска оптимального варианта, сочетающая в себе метод рационализированного перебора и формально-эвристические алгоритмы.

Для обеспечения приемлемых временных характеристик оптимизации при большем числе вариантов разработаны интерактивные проектные процедуры последовательного рационализированного перебора варьируемых параметров. За основу при разработке процедур последовательного перебора принята технология выбора оптимального варианта при «ручном» формировании календарных планов.

После выбора календарного плана – прототипа последовательно определяются оптимальные характеристики календарного плана. Погрешность декомпозиции при необходимости можно уменьшить путем проведения нескольких итераций.

Последовательный перебор может быть реализован на основе проектных процедур рационализированного перебора посредством организации прерываний и повторной инициализации оптимизационных процедур для каждой группы переменных, принятых в качестве условно-независимых. Однако более эффективно последовательный перебор проводить в режиме диалога. Это дает возможность ЛПР оперативно вмешиваться в процесс оптимизации.

Отметим некоторые характерные особенности построения интерактивных процедур последовательного рационализированного перебора. Во-первых, ЛПР работает лишь с вариантами, находящимися в допустимой области или в ее окрестностях (возможная степень нарушения ограничений задается ЛПР и может быть скорректирована в ходе оптимизации). Во-вторых, при анализе результатов машинных процедур для выбора желательных значений регулируемых параметров ЛПР концентрирует свое внимание на их значениях в текущей оптимальной и опорной точках. В-третьих, ЛПР может оперативно изменять систему варьируемых параметров, систему ограничений и систему коэффициентов, используя для анализа экспресс-информацию о ходе оптимизационного процесса. В-четвертых, предусмотрена возможность проведения ряда итераций.

Интерактивные процедуры последовательного рационализированного перебора позволяют решить задачу параметрической оптимизации достаточно эффективно, хотя несомненно, что получение положительного результата в значительной мере зависит от опыта и интуиции ЛПР.

Процесс принятия решений в условиях многокритериальности сводится к нахождению такой альтернативы из множества допустимых, которая может не являться оптимальной ни для одного из критериев (q_i), но оказывается проблемой для всего вектора критериев $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_n\}$, т.е. к нахождению компромиссной альтернативы [1]. Реальный объект всегда будет каким-то компромиссным сочетанием требуемых качеств. Эта проблема

может быть решена путем введения аддитивного критерия.

Вместе с тем применение подхода аддитивной полезности имеет ряд недостатков. Во-первых, не всегда ухудшение одного из критериев компенсируется улучшением другого [4]. Во-вторых, решение оптимальное с точки зрения аддитивного критерия «... может характеризоваться низким качеством по ряду частных критериев и быть, в связи с этим, абсолютно неприемлемым» [5]. И наконец, очень часто используемые аддитивные критерии имеют пологий характер зависимости от варьируемых параметров в области нахождения экстремума. Это обуславливает необходимость увеличения числа «лучших» вариантов, анализируемых человеком, что ведет к информационной перегрузке ЛПР, а следовательно, к ухудшению динамики процесса оптимизации, росту фактора субъективности в выборе варианта.

В том случае, если набор локальных критериев выбран правильно, т. е. характеризует все наиболее существенные свойства проектируемого объекта, задача многокритериальной оптимизации может быть сведена к двум подзадачам:

- 1) отыскание множества неулучшаемых решений или решений, оптимальных по Парето;
- 2) выбор оптимального с точки зрения пользователя (лица, принимающего решения) варианта на множестве Парето.

Однако при формировании календарных планов крупных объектов прямое выделение всего множества Парето представляет собой грандиозную по объему вычислений задачу, вследствие большой размерности вектора регулируемых входов ($X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$) и относительно сложной математической модели. Вместе с тем дискретный характер некоторых составляющих вектора X существенно усложняет применение методов параметризации множества Парето, сводя задачу построения множества неулучшаемых решений к переборной. Очевидно, для поиска множества Парето можно использовать методы нелинейного программирования или параметризацию, с применением для этого непрерывных моделей с последующим переходом на дискретную модель. Но и в этом случае может возникнуть проблема нереальных временных затрат, так как для гарантированности принадлежности полученных решений множеству Парето необходимо проведение ряда итераций (оптимизация из разных точек, разными методами и т.п.) и дополнительные поверочные расчеты на дискретной модели в окрестностях полученной точки. Кроме того, необходимо реализовать этап выбора оптимального решения на множестве Парето, что само по себе является сложной задачей и требует значительных трудовых затрат. При этом возможна ситуация, когда все элементы множества Парето не содержат ва-

риантов, приемлемых по какому-то неформализованному критерию (например, это может быть распределение механизмов). Для окончательного выбора необходима еще некоторая окрестность паретовских точек, найти которую, используя методы нелинейного программирования или параметризацию, чрезвычайно сложно. По нашему мнению, наиболее эффективным путем решения оптимизационных многокритериальных задач для рассматриваемого класса объектов в настоящее время является использование человеко-машинных процедур, при реализации которых анализируется лишь некоторая часть паретовских решений. Подобные процедуры рассматриваются, например, в работах В.С. Михалевича и В.Л. Волковича [1].

Для решения задачи многокритериальной оптимизации при формировании календарных планов предлагается интерактивная процедура сужения допустимой области в пространстве переменных, основанная на элементах метода последовательных уступок и процедуре поиска удовлетворительных значений критериев STEM при заданных весах [5]:

1. Исследуется область допустимых решений D . Проводится оптимизация по аддитивному критерию

$$Q_{\Sigma}^*(x) = \min_{x \in D} Q_{\Sigma}(x) = \min_{x \in D} \sum_{i=1}^l \alpha_i q_i(x), \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l$ – веса, характеризующие относительную важность критериев.

2. Вводится некоторая уступка ΔQ_{Σ} по аддитивному критерию и новое значение $Q_{\Sigma}^* + \Delta Q_{\Sigma}$ автоматически переводится в разряд ограничений, что позволяет существенно уменьшить анализируемую область паретовских точек.

3. Проводится поочередная оптимизация по каждому из критериев $q_i(X)$. Полученные решения x_j ($x \in D$) характеризуются вектором Z , компонентами которого являются значения критериев

$$Z(X_j) = \begin{pmatrix} q_1(x_j) \\ q_2(x_j) \\ \dots \\ q_2(x_j) \\ \dots \\ q_2(x_j) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

То есть выделяются точки, определяющие пределы области Парето по каждому из критериев (опорные точки). Можно на этом этапе закончить оптимизацию, однако в большинстве случаев для опорных точек характерно наличие критериев, имеющих неудовлетворительные значения. Поэтому предлагается продолжить процесс принятия решения.

4. Перед ЛПР ставится задача выбора варианта, имеющего удовлетворительные значения по всем критериям. При этом анализи-

руются не только варианты, имеющие оптимальное значение i -го критерия, но и варианты, удовлетворяющие неравенству

$$q_i^*(x) < q_i(x) < q_i^*(x) + \Delta q_i. \quad (3)$$

Ввиду того, что компромисс между сложностью математической модели и ее адекватностью приводит к размытости границ допустимой области, ЛПР для анализа предлагается также совокупность вариантов, не вошедших в допустимую область, но расположенных в непосредственной близости к ней. Не исключена и ситуация, что

$$q_i^*(x') < q_i^*(x). \quad (4)$$

Некоторые из рассматриваемых точек будут принадлежать множеству Парето. Если вариант определен, решение передается на этап детального анализа и проработки. В противном случае после анализа варианта, имеющего оптимальное значение аддитивного критерия, ЛПР выделяет критерий q_n , который имеет наименее удовлетворительное значение, а также указывает величину Δq_i по другим критериям, такую что при $q_i < q_i + \Delta q_i$ вариант можно считать удовлетворительным (для некоторых критериев $\Delta q_i = 0$).

5. Определяется новая допустимая область D' (при необходимости изменяются ΔQ_Σ или Δd_j).

6. Производится оптимизация по q_n .

7. В том случае, если шаги 5 и 6 после ряда итераций не дают положительного результата, ставится задача возврата на предыдущие этапы формирования календарного плана.

Таким образом удается получить вариант календарного плана, для которого относительный уровень всех частных критериев ока-

зывается не хуже некоторого предельного значения $q_i + \Delta q_i$ при значении аддитивного критерия Q_Σ , достаточно близком к оптимальному Q_Σ^* . Кроме того, подобный подход позволяет путем привлечения неформальных процедур принятия решения учесть ряд факторов, имеющих недетерминированный характер или не нашедших отражение при выборе частных критериев.

Список литературы

1. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 2000.
2. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975.
3. Баранов А.Н. Введение в прикладную лингвистику. – М.: МГУ, 2012.
4. Глущенко В.В. Менеджмент. Системные основы. – М.: НПЦ «Крылья», 1998.
5. Бенайюн Р. Линейное программирование при многих критериях: метод ограничений / Р. Бенайюн, О.И. Ларичев, Ж. Монгольфье, Ж. Терни // Автоматика и телемеханика. – 1971. – № 8. – С. 108–115.

References

1. Mikhalevich, V.S. Volkovich, V.L. *Vychislitel'nye metody issledovaniya i proektirovaniya slozhnykh sistem* [Calculation Research and Designing Methods of Complex Systems]. Moscow, Nauka, 2000.
2. Khimmel'blau, D. *Prikladnoe nelineynoe programmirovaniye* [Applied Unlinear Programming]. Moscow, Mir, 1975.
3. Baranov, A.N. *Vvedenie v prikladnuyu lingvistiku* [Introduction to Applied Linguistics]. Moscow, MGU, 2012.
4. Glushchenko, V.V. *Menedzhment. Sistemnye osnovy* [Management. System Foundations]. Moscow, NPTs «Kryl'ya», 1998.
5. Benaiyun, R., Larichev, O.I., Mongol'fe, Zh., Terni, Zh. *Lineynoe programmirovaniye pri mnogikh kriteriyakh: metod ogranicheniy* [Linear Programming with Many Criteria: Method of Limitations]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1971, no. 8, pp. 108–115.

Карякин Александр Михайлович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор экономических наук, профессор, декан факультета экономики и управления,
телефон (4932) 269-748,
e-mail: karyakin@economic.ispu.ru

Березка Виталий Викторович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
соискатель кафедры менеджмента и маркетинга,
телефон (4932) 269-792,
e-mail: vberezka@mail.ru