

УДК 004.89

М.А. ДАНОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПРИОРИТЕТОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРСАЙТ

Проведен обзор публикаций, посвященных особенностям применения технологии Форсайт для прогнозирования научно-технического развития крупномасштабных объектов (КМО). Приведена постановка задачи формирования методики выбора приоритетов при прогнозировании научно-технического развития (НТР) КМО на основе технологии Форсайт. Отражены процедуры формирования, оценки и уточнения исходного перечня тематических направлений НТР КМО и системы критериев их оценки. Описана общая методика выбора приоритетов при прогнозировании НТР КМО. Приведено краткое содержание методов t-упорядочения и Парето-оптимальности.

Ключевые слова: методика выбора приоритетов, Парето оптимальность, многокритериальные задачи, научно-техническое развитие, форсайт, компьютерная система прогнозирования.

Введение

В настоящее время в большинстве передовых стран мира периодически формируются специальные программы, определяющие приоритетные области развития науки и техники [1 – 3]. Методы, используемые в процессе разработки этих программ, получили обобщающее название Форсайт, от английского Foresight – «предвидение», и к настоящему моменту зарекомендовали себя как наиболее эффективный инструмент выбора приоритетов в сфере науки и технологий [4]. На основе Форсайта разрабатываются средне- и долгосрочные, на 5 – 30 лет, стратегии развития экономики, науки, технологий, нацеленные на повышение конкурентоспособности и максимально эффективного развития социально-экономической сферы. Этот подход применяется не только на уровне страны в целом, но и при прогнозировании развития отдельных отраслей экономики и регионов [1 – 3].

На сегодня значительное количество работ посвящено исследованию теоретических и практических аспектов применения Форсайт технологии. Среди украинских и зарубежных ученых наиболее известными в данной области являются: Б.А. Малицкий, О.С. Попович, В.М. Глушков, Г.М. Добров, В.С. Михалевич, М.З. Згуровский, В.Г. Зинов, Н.В. Гапоненко, Ю.П. Воронов, Н.Я. Колюжнова, И.Р. Куклина, В.П. Третьяк. М. Бен, П.Беккер, К. Дайхем, М. Кинэн и др. В работах этих авторов обсуждаются общетеоретические и практические вопросы применения Форсайт технологии для средне- и долгосрочного прогнозирования развития

крупномасштабных объектов (КМО), таких как отрасль, регион и государство в целом.

Украинский вариант методологии Форсайт предполагает реализацию набора этапов, путем анкетирования группы экспертов, при этом компьютерная обработка заключается только в фиксации данных от экспертов. Это обстоятельство в следствие субъективности, присущей экспертному оцениванию, обуславливает недостаточную эффективность данного варианта методологии Форсайт в приложении к задачам прогнозирования НТР КМО.

Анализ отечественных и зарубежных источников показал, что существует необходимость дальнейшего исследования проблемы, связанной с автоматизацией Форсайт технологии. Поэтому, для повышения эффективности процесса прогнозирования научно-технического развития (НТР) КМО необходима полная компьютеризация на основе формальных методов. Наибольшую трудность на этом пути представляет собой формальное представление процесса формирования исходных перечней тематических направлений и системы критериев их оценки, а также оценки и уточнения этих перечней.

Цель статьи состоит в изложении методики выбора приоритетов при прогнозировании НТР КМО с использованием математического аппарата теории принятия решений и методов наукометрии, библиометрии, text mining и патентного анализа.

1. Постановка задачи

Исходными данными для компьютеризации научно-технического прогнозирования являются

обязательные этапы методики прогнозно-аналитических исследований на основе Форсайт технологии, проводимой в Украине [5].

Необходимо разработать формальные средства представления и реализации таких процедур как: формирование исходного перечня тематических направлений и системы критериев их оценки, а также же оценку и уточнение этих перечней.

Исходя из особенностей предметной области «Научно-техническое прогнозирование», наиболее адекватным математическим аппаратом представляющим процедуру оценки и уточнения перечней тематических направлений следует считать методы t-упорядочения и Парето-оптимальности. Для формирования как исходного перечня тематических направлений, так и системы критериев их оценки наиболее подходящими являются методы библиометрии, наукометрии, патентного анализа и text mining.

2. Общая методика выбора приоритетов при прогнозировании НТР КМО

В течение 2004–2006 годов по решению Кабинета Министров Украины выполнялась Государственная программа прогнозирования научно-технологического и инновационного развития [6]. Методика проведения предусмотренных Государственной программой прогнозно-аналитических исследований [5], разработанная украинскими учеными (Б.А. Малицким, О.С. Поповичем, В.П. Соловьевым) и основанная на комбинации методов Форсайт технологии состоит из следующих этапов:

– первый из этапов предполагает решение задачи выбора экспертов, которые будут участвовать в прогнозно-аналитическом исследовании. При формировании группы экспертов используется метод «снежного кома».

– на втором и третьем этапах, при помощи экспертных опросов, патентного анализа, а также «эталонного анализа» (сравнение с другими странами или регионами) происходит формирование предварительного перечня тематических направлений и системы критериев их оценки, относительно главных целей НТР КМО.

– на третьем этапе экспертам необходимо оценить полученные тематические направления по заданным критериям. Данная процедура осуществляется при помощи метода Дельфи, предполагающего опрос (анкетирование) экспертов и организации обратной связи (через проведение трех туров опроса). Результаты исследования включают сводные оценки по каждой теме, а также аналитические обзоры по тематическим направлениям.

– заключительный этап представляет собой согласование и утверждение полученных на преды-

дущем этапе перечней тематических направлений НТР КМО.

Приведенное выше описание основных этапов украинского форсайт-проекта позволяет утверждать, что наиболее критичным в аспекте автоматизации являются этапы «Исходный перечень тематических направлений» и «Оценка и уточнение перечней тематических направлений», что влечет за собой разработку специализированных моделей и методов их реализации.

2.1. Процедура формирования исходного перечня тематических направлений НТР КМО и системы критериев их оценки

Для формирования исходного перечня тематических направлений привлекаются не только научные организации и учреждения, а также и координационные советы существующих Государственных программ. Исходными данными являются: утвержденные ранее перечни тематических направлений НТР КМО; данные зарубежных научно-технических прогнозов; украинская патентная база; данные о научной литературе и периодике (УкрИНТЭИ, Scopus, украинские электронные ресурсы свободного доступа [7]).

Процедура формирования исходного перечня тематических направлений и системы критериев их оценки заключается в применении к указанным выше исходным данным методов наукометрии (метод анализа цитирования ("цитат-индекс"), контент-анализ, тезаурусный и сленговый методы), библиометрии (статистический метод, метод подсчета количества публикаций), патентного анализа (методика комплексной оценки патентного массива Н.М. Тимофеевой), а также метода text mining (классификация, кластеризация, анализ связей). В результате формируются более совершенные перечни научно-технических направлений развития КМО, а также системы критериев их оценки.

2.2. Процедура оценки и уточнения исходного перечня тематических направлений НТР КМО

Исходными данными для выбора приоритетных направлений являются перечни целей и тематических направлений НТР объекта прогнозирования, а также система критериев их оценки, причем каждый из критериев имеет качественное или количественное значение по каждому из тематических направлений. Компьютеризация же описанного этапа строится на применении методов t-упорядочения и Парето-оптимальности, которые позволят проранжировать тематические направления относительно главных целей по заданным критериям.

2.3. Методика выбора приоритетов при прогнозировании НТР КМО

Указанные выше соображения лежат в основе подхода к частичной компьютеризации составления прогноза НТР КМО и могут быть оформлены в виде специализированной методики:

1. Формирование группы экспертов, которые будут участвовать в прогнозно-аналитическом исследовании.

2. Определение исходного перечня тематических направлений НТР КМО на этапе «Исходный перечень тематических направлений»

2.1. Выявление перечней приоритетных направлений НТР КМО путем библиометрического, наукометрического и патентного анализов, оценкой зарубежных НТ прогнозов, а также добавлены утвержденные ранее приоритетные направления.

2.2. Классификация альтернатив, т.е. разбиение по тематическим направлениям.

3. Выявление критериев оценки приоритетных направлений НТР КМО на этапе «Система критериев оценки»

3.1. Выявление совокупности критериев (атрибутов, параметров, признаков), описывающих приоритетные направления. Классификация критериев.

3.2. Нормирование, шкалирование критериев.

3.3. Расчет значений каждого критерия для каждой из альтернатив (библиометрический, наукометрический, патентный анализы, статистические данные, экспертные опросы, методы text mining, экономические показатели).

3.4. Расстановка превосходства одного критерия над другим (в диалоге с компьютером).

4. На этапе «Оценка и уточнение перечней тематических направлений» При помощи методов t-упорядочения и Парето оптимальности отбирается множество наилучших тематических направлений, т.е. приоритетов НТР КМО.

5. Отправка в высшую инстанцию уточненных тематических направлений НТР КМО для согласования и утверждения.

3. Математический аппарат формального представления задачи выбора приоритетов при прогнозировании НТР КМО

Данная задача относится к классу многокритериальных задач принятия решений, поскольку задача принятия решений (ЗПР) возникает, когда присутствует несколько вариантов действий (альтернатив) для достижения заданного или желаемого результата [8]. При этом требуется выбрать наилучшую в определенном смысле альтернативу. Фор-

мально ЗПР D можно записать в следующем обобщенном виде:

$$D = \langle F, A, X, G, P \rangle.$$

Здесь F – формулировка задачи принятия решения, которая включает в себя содержательное описание стоящей проблемы и при необходимости ее модельное представление, определение цели или целей, которые должны быть достигнуты, а также требования к виду окончательного результата. X – совокупность возможных вариантов (альтернатив), из которых производится выбор. A – совокупность признаков (атрибутов, параметров), описывающих варианты и их отличительные особенности. G – совокупность условий, ограничивающих область допустимых вариантов решения задачи. P – предпочтения одного или нескольких лиц принимающих решение, которые служат основой для оценки и сравнения возможных вариантов решения проблемы, отбора допустимых вариантов и поиска наилучшего или приемлемого варианта.

В терминах ЗПР альтернативам соответствуют тематические направления НТР КМО; критерии – совокупность признаков, описывающих альтернативы; граничные условия – нормы критериев по каждому тематическому направлению, а выявление превосходства одного критерия над другим относится к предпочтению лиц принимающих решение.

Данный класс задач имеет свои методы решения, к которым относятся методы t-упорядочения и Парето оптимальности.

3.1. Реализация задачи оценки и уточнения перечня тематических направлений методом Парето-оптимальности

Математическая модель многокритериальной ЗПР для нашего случая может быть представлена в виде

$$D_f = \langle X, f_1, f_2, \dots, f_m \rangle,$$

где X – множество допустимых альтернатив (исходов); f_j – числовая функция, заданная на множестве X , при этом $f_j(\alpha)$ есть оценка исхода $\alpha \in X$ по j -му критерию ($j=1, m$).

В многокритериальной ЗПР цель принимающего решение – получение исхода, имеющего как можно более высокие оценки по каждому критерию.

Пусть Y_j – множество значений функции f_j , т.е. множество всех оценок по j -му критерию ($j=1, n$)

$$Y = \prod_{j=1}^m Y_j.$$

Любой элемент $u \in Y$ представляет собой вектор $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$, где $u \in Y_j$. Для всякого исхода $\alpha \in X$ набор его оценок по всем критериям, т.е. набор $(f_1(\alpha), f_2(\alpha), \dots, f_m(\alpha))$ есть векторная оценка исхода α .

Векторная оценка содержит полную информацию о ценности (полезности) этого исхода для принимающего решение и сравнение любых двух исходов заменяется сравнением их векторных оценок.

Основное отношение, по которому производится сравнение векторных оценок (значит, и сравнение исходов), – это отношение доминирования по Парето. Здесь предпочтительным считается такой исход, для которого не существует другого исхода лучше данного хотя бы по одному критерию и не хуже него по всем остальным. Отношение доминирования по Парето определяется следующим образом.

Говорят, что векторная оценка $y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$ доминирует по Парето векторную оценку $y'=(y'_1, y'_2, \dots, y'_m)$, если выполняется неравенство $y_j \geq y'_j$, причем по крайней мере для одного индекса $j=1, \dots, m$ неравенство должно быть строгим [8].

Перенеся данные понятия на исходы получим, что исход α_1 доминирует по Парето исход α_2 , если векторная оценка исхода α_1 доминирует по Парето векторную оценку исхода α_2 .

Содержательно условие доминирования по Парето означает, что исход α_1 не хуже, чем исход α_2 по любому из рассматриваемых критериев, причем по крайней мере, по одному из этих критериев α_1 лучше α_2 .

Исход $\alpha^* \in X$ называется Парето-оптимальным исходом в множестве X , если он не доминируется по Парето никаким другим исходом из множества X [8]. Парето-оптимальность исхода α^* означает, что он не может быть улучшен ни по одному из критериев без ухудшения по какому-нибудь другому критерию, т.е. что нельзя дальше улучшать значение одного критерия, не ухудшая при этом хотя бы одного из остальных.

3.2. Реализация задачи оценки и уточнения перечня тематических направлений методом t – упорядочения для сужения области Парето

При наличии дополнительной информации о системе предпочтений пользователя могут быть применены различные методы сужения исходного множества альтернатив – ставится задача сужения множества Парето с целью выбора нескольких альтернатив в качестве окончательного результата. Одним из таких методов является метод t – упорядочения, учитывающий предпочтения лица принимающего решение.

Пусть решается детерминистская многокритериальная задача

$$f_i(x) \rightarrow \max, f_i : X \rightarrow R, i = \overline{1, m},$$

где X – произвольное абстрактное множество.

Все критериальные функции отражают "полезность" объекта с позиций различных критериев и являются соизмеримыми – значения каждой критериальной функции изменяются в одних и тех же пределах $[a, b]$:

$$\forall x \in X : 0 \leq a \leq f_i \leq b, i = \overline{1, m}.$$

Нормированные критерии f_i и f_j называются равноценными [9] (что записывается в виде $f_i = f_j$), если всякие две векторные оценки Z, W , где

$$Z = (z_1; \dots; z_i; \dots; z_j; \dots; z_m), Z = f(x), x \in X$$

$$W = (z_1; \dots; z_i + \delta; \dots; z_j - \delta; \dots; z_m)$$

одинаковы по предпочтительности при любом δ (большем или меньшем нуля), удовлетворяющем неравенствам:

$$a \leq z_i + \delta \leq b, a \leq z_j - \delta \leq b.$$

Критерий f_i более важен, чем критерий f_j [9] (что записывается в виде $f_i > f_j$), если векторная оценка

$$Z = (z_1; \dots; z_i; \dots; z_j; \dots; z_m)$$

менее предпочтительна, чем оценка

$$W = (z_1; \dots; z_i + \delta; \dots; z_j - \delta; \dots; z_m),$$

где $\delta \in \{\delta > 0 \mid z_i + \delta \leq b, a \leq z_j - \delta\}$.

Таким образом, перенос δ единиц ($\delta > 0$) с частной оценки z_j на частную оценку z_i приводит к улучшению ситуации, если $f_i > f_j$.

Приведенные в этих определениях интерпретации ординальной информации лица, принимающего решения позволяют строить отношения доминирования более сильные, чем отношение Парето.

Выводы

1. Проведен анализ публикаций, посвященных состоянию проблемы компьютеризации процесса прогнозирования НТР КМО на основе Форсайт технологии.

2. Проанализированы особенности адаптации Форсайт технологии для ее реализации в Украине.

3. Изложена методика выбора приоритетов при прогнозировании НТР КМО.

Полученные результаты служат методической основой для создания системы комплексной автоматизации процесса прогнозирования НТР КМО.

Литература

1. Об утверждении плана мероприятий по реализации основ политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу [Текст]: распоряжение Правительства РФ от 7 февраля 2006 г. № 156 // Собр. законодательства РФ. – 2003. – № 30. – С. 150.

2. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки [Текст]: закон України від 11 липня 2001р. № 2623-III // Відомості Верховної Ради України, 2001. – № 48. – С. 253.

3. Loveridge, D. *United Kingdom Foresight Programme [Text]* /D. Loveridge, L. Georghiou, M. Neveda. – PREST. – University of Manchester, 2001. – 200 p.

4. Шелюбская, Н.В. Форсайт – механизм определения приоритетов формирования общества знаний стран Западной Европы [Текст] / Н.В. Шелюбская. – К.: Фенікс, 2007. – 60 с.

5. Маліцький, Б.А. Методичні рекомендації щодо проведення прогнозно-аналітичного дослідження в рамках Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку України [Текст] / Б.А. Маліцький, О.С. Попович, В.П. Соловійов. – К.: Фенікс, 2004. – 52 с.

6. Про затвердження Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004–2006 роки [Текст]: постановка Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1086.

7. Украинские электронные ресурсы свободного доступа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.sumdu.edu.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=51&lang=ru&Itemid=. – 3.05.2013.

8. Петровский, А.Б. Теория принятия решений: учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / А.Б. Петровский. – М.: Изд-во Академия, 2009. – 400 с.

9. Поспелова, И.И. Многокритериальные задачи принятия решений [Текст]: учеб. пособие / И.И. Поспелова, Л.А. Лотов. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

Поступила в редакцию 03.06.2013, рассмотрена на редколлегии 12.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры Программная инженерия С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, ХНУРЭ, Харьков.

МЕТОДИКА ВИБОРУ ПРІОРИТЕТІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО РОЗВИТКУ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРСАЙТ

М.О. Данова

Проведений огляд публікацій, присвячених особливостям вживання технології Форсайт для прогнозування науково-технічного розвитку великомасштабних об'єктів (ВМО). Наведено постановку задачі формування методики вибору пріоритетів при прогнозуванні науково-технічного розвитку (НТР) ВМО на основі технології Форсайт. Відображено процедури формування, оцінки та уточнення початкового переліку тематичних напрямів НТР ВМО і системи критеріїв їх оцінки. Описана загальна методика вибору пріоритетів при прогнозуванні НТР ВМО. Наведено короткий зміст методів t-впорядкування та Парето - оптимальності.

Ключові слова: методика вибору пріоритетів, Парето оптимальність, багатокритеріальні задачі, науково-технічний розвиток, форсайт, комп'ютерна система прогнозування.

METHODS OF SELECTION PRIORITIES FOR FORECASTING THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENT OF LARGE-SCALE OBJECTS ON THE BASIS OF TECHNOLOGY FORESIGHT

M.A. Danova

The review of the publications devoted to features of application of technology Foresight for forecasting of scientific and technical development of large-scale objects (LCO) is carried out. The problem statement of formation methods for the selection of priorities in the forecasting of scientific and technical development (STD) of LCO on the basis of technology Foresight is given. Procedures of formation, assessment and elaboration of the original enumeration of subject direction STD of LCO and criteria for their evaluation are reflected. A general methods of selection priorities for forecasting STD of LCO is described. The brief content of the methods t-ordering and Pareto optimality is given.

Key words: methods of selection priorities, Pareto optimality, multicriterion problems, scientific and technical development, the foresight, the computer system of forecasting.

Данова Марія Александровна – аспірант каф. інженерії ПО Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: danovamariya@gmail.com.