

НЕЧЕТКАЯ АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА И ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЕКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Предложена нечеткая альтернативная сетевая модель анализа и планирования проекта, позволяющая проводить многовариантный анализ планов проекта в условиях неопределенности, повышать обоснованность принимаемого решения по выбору наиболее осуществимого варианта проекта.

Ключевые слова: проект, неопределенность, сетевая модель, осуществимость, нечеткий граф.

Управление проектами, особенно сложными и многоцелевыми, зачастую производится в условиях неопределенности, ведь проект может не иметь в прошлом никаких аналогов. Нечеткость и неопределенность при планировании и управлении проектами происходит из-за неполной или недостаточной информации об объемах и приоритетности планируемых работ проекта, их длительности, числе исполнителей, стоимости и других характеристик работ проекта. Многие составляющие проекта и хода его выполнения можно определить только с некоторой степенью точности и определенности, что особенно характерно для инновационных, научно-исследовательских проектов, проектов разработки новых технологий и продуктов.

Традиционным подходом в управлении проектами в условиях неопределенности является вероятностный подход, однако зачастую неизвестны функции распределения параметров проекта, нет возможности получить всю необходимую статистическую информацию. Применение теории вероятностей для оперирования с неопределенными величинами и параметрами проекта приводит к тому, что неопределенность отождествляется со случайностью, независимо от ее природы, тогда как основным источником неопределенности при управлении проектами является нечеткость или расплывчатость. Неопределенность вносят: неточность исходных данных и модели, человеческий фактор, наличие множества слабоформализованных задач, качественный характер обрабатываемой информации.

Для управления проектами в условиях неопределенности мы предлагаем подход, базирующийся на теории нечетких множеств и нечеткой логике. Моделирование процессов управ-

ления проектами в условиях неопределенности значительно эффективнее осуществлять на основе нечетко-множественного подхода, чем на основе классического вероятностного, так как для реальных многоуровневых систем управления проектами характерно наличие одновременно разнородных видов информации и неопределенности [1], а теория нечетких множеств позволяет адекватно описать и свести воедино любой вид информации и неопределенности (детерминированную, статистическую, лингвистическую, интервальную).

На основе нечетко-множественного подхода нами разработана нечеткая альтернативная сетевая модель проекта, которую целесообразно применять при планировании и управлении проектами в условиях неопределенности. В теории и практике управления проектами существуют стохастические альтернативные сетевые модели [5], однако в условиях неопределенности такие модели зачастую не могут быть применены из-за отсутствия достаточного количества и качества необходимого статистического материала. Предложенная нами нечеткая альтернативная сетевая модель базируется на нечеткой и не полной информации по проектам и позволяет проводить многовариантный анализ и планирование проектов в сложных и неопределенных условиях, что является важным преимуществом данной модели по сравнению со стохастическими альтернативными сетевыми моделями.

Сетевые модели одного и того же проекта могут иметь различные топологии и структуры, соответствующие различным последовательностям работ проекта и их взаимосвязям. Оценить различные топологии сетевых моделей, сравнить их и выявить сетевые модели, наи-

более соответствующие целям выполнения проекта в условиях нечеткости и неопределенности и позволяет предлагаемая нами нечеткая альтернативная сетевая модель проекта.

Нечеткая альтернативная сетевая модель планирования и управления проектами представляет собой нечеткий ориентированный ациклический взвешенный мультиграф [3], некоторые вершины которого связаны между собой кратными дугами, каждой из которых соответствует возможный альтернативный вариант работы проекта. Веса дуг мультиграфа определяются экспертами и представляют собой значения функций принадлежности нечетких множеств, показывающих степени соответствия работ проекта некоторым заданным показателям.

При моделировании системы управления проектами возникают задачи определения варианта плана проекта, наиболее реально осуществимого в соответствии с множеством заданных критериев и оценки осуществимости соответствующих им сетевых моделей различных топологий. Для решения этих задач мы предлагаем учитывать степени осуществимости работ проекта и на основе их анализа определять степени осуществимости различных вариантов планов проекта.

Для оценки степени осуществимости вариантов планов проекта на основе исходного комплекса работ строится нечеткая альтернативная сетевая модель проекта с наличием альтернативных вариантов работ проекта, которая затем анализируется и, по которой определяется нечеткая сетевая модель с наибольшей степенью реальной осуществимости проекта.

Нами введены и определены понятия степеней осуществимости работы, пути и событий сетевого графа. Каждой работе проекта (i, j) , $i=1, \dots, n-1, j=2, \dots, n, i < j$, кроме основных характеристик: длительности, стоимости, числа исполнителей и других, эксперт дополнительно задает степень реальной осуществимости работы проекта с помощью значения функции принадлежности нечеткого множества $\mu_{ijp}(i, j) \in [0, 1]$; $p=1, \dots, s$, где s -наибольшее число кратности дуг нечеткого сетевого мультиграфа.

Нечеткая сетевая модель проекта – это сетевая модель проекта, дугам которой приписаны значения функций принадлежности, показывающие степени реальной осуществимости работ проекта. Наиболее реально осуществи-

мая нечеткая сетевая модель проекта – это нечеткая сетевая модель, степень осуществимости соответствующих работ которой наибольшая среди всех альтернативных вариантов моделей.

По наиболее реально осуществимой сетевой модели проекта производится определение степеней осуществимости событий и путей проекта, планирование различных характеристик проекта, расчет временных параметров событий и работ проекта, определяются критические пути проекта, прогнозируются сроки выполнения проекта.

Рассмотрим сетевую модель проекта вида «Дуга-работа». Обозначим через $G = (X, A)$ – нечеткий ациклический сетевой мультиграф, у которого $X = \{1, 2, \dots, n\}$ – четкое множество вершин, называемых в сетевой модели событиями, а множество A – нечеткое множество ориентированных дуг, моделирующих альтернативные варианты работ проекта, определяемое по формуле:

$$A = \{ \langle \mu_{ijp}(i, j) / (i, j)_p \rangle, i=1, \dots, n-1, j=2, \dots, n; p=1, \dots, s \}, \quad (1)$$

где $i, j \in X, i < j, \mu_{ijp}(i, j) \in [0, 1]$ – значение функции принадлежности μ_{ijp} для дуги $(i, j)_p$, означающее степень реальной осуществимости соответствующей ей работы. При этом каждому альтернативному варианту работы, начальная и конечная вершина которых i и j , соответствует свое значение функции принадлежности дуги $\mu_{ijp}(i, j) \in [0, 1]$.

Степень осуществимости работы проекта (i, j) в p – альтернативе сетевого графа $\mu_{ijp}(i, j), \mu_{ijp}(i, j) \in [0, 1]$ определяется с помощью экспертов по критериям, определяющим осуществимость работы проекта. Основными критериями оценки осуществимости работы могут быть следующие: C_1 – сложность работы; C_2 – наличие квалифицированных исполнителей; C_3 – продолжительность работы; C_4 – наличие необходимой документации; C_5 – соотношение затрат и результатов работы; C_6 – наличие необходимого и современного оборудования; C_7 – качество выполнения предшествующей работы и др.

Пусть имеется множество критериев оценки степени осуществимости работы $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, при этом оценки работы (i, j) по каждому i -му критерию представлены нечеткими множествами $\mu_{ijp}^r(i, j)$, где $\mu_{ijp}^r(i, j)$ – фун-

кция принадлежности оценки работы (i, j) по критерию C_r . Определение степени осуществимости работы $\mu_{ijp}(i, j)$ по заданным критериям может осуществляться на основе пересечения нечетких множеств:

$$\mu_{ijp}(i, j) = \min_{r=1, \dots, m} \mu_{ijp}^r(i, j), i < j, i=1, \dots, n-1, j=2, \dots, n. \quad (2)$$

Если критерии оценки C_r имеют различную важность или вес, то их вклад в оценку осуществимости работы (i, j) можно представить как взвешенное пересечение нечетких множеств:

$$\mu_{ijp}(i, j) = \min_{r=1, \dots, m} \mu_{ijp}^r(i, j)^{a_r}, \quad (3)$$

где a_r – весовые коэффициенты соответствующих критериев, которые должны удовлетворять следующим условиям:

$$a_r \geq 0; r = 1, \dots, m; \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m a_r = 1. \quad (4)$$

Коэффициенты относительной важности критериев $a_r, r = 1, \dots, m$, в оценке степени осуществимости работы проекта можно определить, используя процедуру попарного сравнения критериев.

Нечеткий путь $L(i, j)$ нечеткого сетевого графа $I(x_i, x_j)$, определяемый как последовательность дуг из вершины x_i в вершину x_j , в которой конечная вершина всякой дуги, отличной от последней, является начальной вершиной для следующей дуги нечеткого графа, в нечетком сетевом альтернативном графе соответствует нечеткой альтернативной последовательности работ от события $i x_i$ до события $j x_j$.

Степень осуществимости полного нечеткого пути сетевой модели соответствует степени реальной выполнимости комплекса работ нечеткого пути от начального события модели x_i до конечного, т.е. степени соответствия реальной осуществимости полного нечеткого пути модели проекта.

Степень осуществимости μ_{Lpk} k -того нечеткого полного пути L_{pk} в p -той альтернативе сетевого графа определим следующим образом:

$$\mu_{Lpk} = \min_{(i, j) \in L_{pk}} \mu_{ijp}(i, j), i < j, i=1, \dots, n-1, j=2, \dots, n, p=1, \dots, s, k=1, \dots, t, \quad (5)$$

где $\mu_{ijp}(i, j)$ – степень осуществимости работы (i, j) , t – число полных путей в p - альтернативе сетевого графа.

Степень осуществимости p -той альтернативы, $p=1, \dots, s$, нечеткого сетевого графа $V(G_p)$ определим минимальным значением из степеней осуществимости всех полных нечетких путей, входящих в p -тую альтернативу сетевого графа $V(G_p)$:

$$V(G_p) = \min_{L_{pk}} \mu_{Lpk}, L_{pk} \in V(G_p) \quad i < j, i=1, \dots, n, j=2, \dots, n, p=1, \dots, s, k=1, \dots, t. \quad (6)$$

Степень осуществимости нечеткой сетевой модели соответствует степени реальной осуществимости плана проекта. При этом, оценив степени осуществимости нечетких сетевых моделей при различных альтернативах работ проекта, мы можем выбрать наиболее осуществимый сетевой план проекта.

Из всех альтернатив сетевых моделей выбираем альтернативу $G_{p^*} = (X, A_{p^*})$ с наибольшей степенью осуществимости сетевого графа:

$$V(G_{p^*}) = \max_{G_p} V(G_p). \quad (7)$$

Полученная сетевая модель G_{p^*} является наилучшей сетевой моделью проекта с точки зрения осуществимости проекта.

В сетевом графе G_{p^*} можно определить пути L_{p^*min} , обладающие наименьшей степенью осуществимости:

$$M_{L_{p^*min}} = \min_{L_{p^*}} \{ \mu_{L_{p^*}} \}, \quad (8)$$

где $L_{p^*} \in G_{p^*}$.

Найденный путь с минимальной степенью осуществимости L_{p^*min} , требует повышенного внимания исполнителей и менеджеров проекта к работам данного пути проекта.

Степень осуществимости события j сетевого графа G_{p^*} показывает осуществимость комплекса работ проекта от начального события проекта до события j . Степень осуществимости события $m_{p^*}(j)$ определим следующим образом:

$$m_{p^*}(1) = 1; m_{p^*}(j) = \min_i \mu_{p^*}(i), i < j, i=1, \dots, n-1, j=2, \dots, n. \quad (9)$$

Нами предлагается макроалгоритм многокритериального выбора наиболее осуществимой нечеткой альтернативы сетевой модели проекта.

Шаг 1. Ввести данные по нечеткой альтернативной сетевой модели проекта $G=(X, A)$ – s -графу, дугам которой приписаны степени осуществимости работ проекта $\mu_{ijp}(i, j), i=1, \dots, n-1, j=2, \dots, n$; где $X = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество событий

модели, множество дуг A определяется формулой (1); s -наибольшее число кратности дуг сетевого мультиграфа; $p=0, \max=0$.

Шаг 2. $p=p+1$. Сформировать нечеткую матрицу смежности $A_p = [a_{ijp}]$ p -той альтернативы сетевой модели G_p размером $n \times n$, где n -число событий модели и элементы матрицы смежности $a_{ijp} = \mu_{ijp}(i, j)$, где $\mu_{ijp}(i, j)$ – степень осуществимости дуги (i, j) (x_i, x_j) в p -той альтернативе сетевой модели – число из интервала $[0, 1]$; $p=1, \dots, s$.

Шаг 3. Определить степени осуществимости μ_{Lpk} каждого k -того, $k=1, \dots, t$, нечеткого полного пути L_{pk} в p -той альтернативе сетевого графа по формуле (5); t -число полных путей в p -альтернативе сетевого графа.

Шаг 4. Определить степень осуществимости $V(G_p)$ сетевой модели G_p , $p=1, \dots, s$, по формуле (6).

Шаг 5. Если $V(G_p) > \max$ то $\max = V(G_p)$, $p^* = p, A_{p^*} = A_p$.

Шаг 6. Если $p \leq s$, то перейти на шаг 2, иначе перейти на шаг 7.

Шаг 7. Считать нечеткую сетевую модель G_{p^*} с номером p^* наиболее осуществимой из всех альтернатив и определять все дальнейшие характеристики по модели проекта G_{p^*} .

Шаг 8. Определить наименее осуществимые полные пути сетевой модели G_{p^*} по формуле (8).

Шаг 9. Рассчитать степени осуществимости событий сетевой модели проекта G_{p^*} по формуле (9).

По данному алгоритму степень осуществимости сетевой модели планируемого проекта определяется на основе степеней осуществимости входящих в проект работ.

Если же имеется несколько возможных проектов, то необходимо провести предварительный анализ проектов и выбрать из множества различных проектов наиболее осуществимый по комплексу обобщенных характеристик проекта в целом, а затем целесообразно построить нечеткую альтернативную сетевую модель планирования выбранного к выполнению проекта. На стадии предварительного анализа мы предлагаем оценивать проекты по следующему множеству критериев оценки $C = \{C_1, \dots, C_{10}\}$, где C_1 – конкурентоспособность продукции проекта, C_2 – сложность проекта, C_3 – наличие альтернативных технических решений, C_4 – спрос

на продукцию проекта, C_5 – продолжительность проекта, в том числе его инвестиционной фазы, C_6 – уровень базовых, текущих и прогнозных цен на продукцию (услуги) проекта, C_7 – перспективы экспорта продукции проекта, C_8 – исходно-разрешительная документация, C_9 – инвестиционный климат в регионе реализации проекта, C_{10} – соотношение затрат и результатов проекта. Оценки проекта по данным критериям определяются экспертами [4].

Нами предлагается выбирать проект, наиболее осуществимый в условиях неопределенности, с помощью следующего макроалгоритма, базирующегося на множестве критериев и методе пересечения нечетких множеств и [2].

Шаг 1. Задать множество возможных проектов $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ и множество критериев оценки их осуществимости $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$.

Шаг 2. Определить с помощью экспертов оценки проектов по каждому i -му критерию нечеткими множествами:

$$C_i = \left\{ \frac{\mu_{C_i}(P_1)}{P_1}, \frac{\mu_{C_i}(P_2)}{P_2}, \dots, \frac{\mu_{C_i}(P_m)}{P_m} \right\}, i = 1, \dots, n. \quad (11)$$

Шаг 3. Определить весовые коэффициенты критериев на основании матрицы попарных сравнений критериев.

Шаг 4. Найти пересечение нечетких множеств, соответствующих каждому критерию $C_p, i = 1, \dots, n$:

$$D = C_1^{\alpha_1} \cap C_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap C_n^{\alpha_n}, \quad (12)$$

где α_i – весовой коэффициент, соответствующий критерию i . Весовые коэффициенты должны удовлетворять следующим условиям:

$$\alpha_i \geq 0; i = 1, \dots, n; \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (13)$$

При этом функция принадлежности результата пересечения определяется следующим образом:

$$\mu_D(P_j) = \min_{i=1, \dots, n} \mu_{C_i}(P_j), j = 1, \dots, m. \quad (14)$$

Шаг 5. Выбрать наиболее осуществимый проект P^* , который соответствует максимальному значению функции принадлежности результата пересечения нечетких множеств:

$$\mu_D(P^*) = \max_{j=1, \dots, m} \mu_D(P_j). \quad (15)$$

Таким образом, для управления проектами в условиях неопределенности нами разработана нечеткая альтернативная сетевая модель проекта, позволяющая производить многовариантный анализ планов проекта, оценивать осуществимость различных вариантов планов проекта, разработан алгоритм для определения наиболее осуществимого варианта плана проекта. Для предварительного анализа и оценки осуществимости проекта нами определены критерии оценки проектов и предложен алгоритм определения наиболее осуществимого проекта.

Предложенная альтернативная нечеткая сетевая модель проекта может быть перенастроена на оценку других характеристик проекта, например на оценку степени риска проекта.

Тогда вместо степени осуществимости работы проекта каждой дуге нечеткой сетевой альтернативной модели проекта приписываются функции принадлежности, показывающие степени риска выполнения работ проекта. Представленные алгоритмы достаточно просто модифицируются с целью нахождения варианта плана проекта, обладающего наименьшей степенью риска.

Разработанные модели и алгоритмы позволяют ЛПР повысить обоснованность принимаемого решения по выбору наиболее осуществимого проекта из множества возможных проектов, а также по выбору наиболее осуществимого варианта плана проекта на основе нечеткой альтернативной сетевой модели проекта.

24.11.2010

Список литературы:

1. Алтунин, А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
2. Андрейчиков, А.В. Анализ, синтез и планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 363 с.
3. Берштейн, Л.С. Нечеткие графы и гиперграфы / Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. -М.: Научный мир, 2005.-256 с.
4. Мазур, И.И. Управление проектами / И.И. Мазур., В.Д. Шапиро., Н.Г. Ольдерогге. – М.: Омега-Л, 2004.-664 с.
5. Троицкий, М. Управление проектами / Б. Груча, К. Огонек. -М.: Финансы и статистика, 2006.-304 с.

Сведения об авторах:

Буреш Ольга Викторовна, декан факультета экономики и управления Оренбургского государственного университета, доктор экономических наук, профессор
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 6309а, тел. (3532)372440, e-mail: Buresh@mail.ru

Беляева Мария Алексеевна, доцент кафедры прикладной информатики в экономике и управлении Оренбургского государственного университета
460000, г. Оренбург, Шарлыкское шоссе, 5, ауд. 14319, тел. (3532)372565,
e-mail: maribel2005@yandex.ru

UDC 330.4:519.87

Buresh O. V, Beljaeva M. A.

FUZZY ALTERNATIVE NETWORK MODEL ANALYSIS AND PROJECT PLANNING UNDER UNCERTAINTY

We propose an alternative fuzzy network model analysis and project planning to allow a multivariate analysis of project plans in the face of uncertainty, improve decision support on choosing the most viable options for the project.

Keywords: the project, uncertainty, network model, practicability, fuzzy graph.