

На правах рукописи

ЛАГУТА ВЯЧЕСЛАВ ЮРЬЕВИЧ

**МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ
ИННОВАЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ**

Специальность: 08.00.13 Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Санкт-Петербург – 2006

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ доктор экономических наук, доцент
Силкина Галина Юрьевна

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ доктор экономических наук, профессор
Соколов Дмитрий Викторович
кандидат экономических наук, доцент
Базилевич Виктор Анатольевич

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ Институт проблем региональной экономики РАН

Защита состоится «_____» _____ 2006 г. в _____ часов на заседании диссертационного Совета Д 212.229.23 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. III уч. корпус, ауд. 506.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «_____» _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор экономических наук, профессор

Сулоева С.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Актуальность темы обусловлена возрастающей инновационной активностью российских предприятий, что вполне согласуется с современными общемировыми тенденциями. Усиление роли научных знаний как стратегического ресурса и возрастающее влияние технологических инноваций как ключевых факторов успеха привели к тому, что сегодня во всем мире экономический рост предприятий определяется той долей продукции и оборудования, которые содержат прогрессивные знания и современные решения. Именно инновационная деятельность действенным является инструментом развития и интеграции науки, техники и технологий с производством и предпринимательством.

В связи с вышесказанным принятие инновационных решений требует разработки теоретических основ их обоснования и практических приемов их реализации. При этом речь идет не о какой-то отдельной инновации, а об организации на стратегической основе перманентной, непрерывной по характеру своего развития инновационной деятельности, в основе которой, как правило, лежит портфельный анализ.

Представляя собой совокупность инновационных проектов, портфель инноваций имеет новые качества, отличные от качеств отдельных проектов, и выступает как единица управления при осуществлении инновационной деятельности. Инновационный портфель, созданный агрегированием отдельных проектов, имеет большую ценность, чем отдельные проекты; в то же время, управление портфелем именно как комплексом проектов, может потребовать гораздо больше усилий, чем управление отдельными проектами. И само формирование портфеля инноваций с учетом наличия имеющейся информации и ее качества является весьма нетривиальной, трудно формализуемой задачей, а интуитивные методы ее решения остаются пока чуть ли не единственными.

Приходится констатировать, что современное состояние научно-методического обеспечения оценки отдельных инновационных проектов и процедур формирования портфеля инноваций не вполне адекватно ситуации принятия инновационных решений. Действующие процедуры интерпретируют эту ситуацию как детерминированную или, по крайней мере, вероятностно определенную и предполагают наличие оценочного критерия (показателя эффективности), по которому сравниваются различные альтернативы. Самая существенная особенность инновации – неопределенность – учитывается, в лучшем случае, через вероятности получения результатов, а соответствующие формулы трансформируются введением параметров риска в их вероятностной интерпретации.

Вопреки сложившимся подходам, многие параметры, на основе которых оценивается результат, по своей природе не являются статистическими, а представляют собой уникальные характеристики. В этом случае концепция измерения риска не может базироваться на классических вероятностных принципах, использующих возможности неограниченного повторения одних и тех же событий в одних и тех же или исходных условиях; изменяется сам инструмента-

рий измерения, сужается область применения линейных показателей типа математического ожидания и классических результатов теории вероятности.

В подобной ситуации единственный выход заключается в привлечении, кроме статистических, других источников информации, и, в первую очередь, знаний экспертов в соответствующей предметной области, учета всех существующих аспектов проблемной ситуации и рациональной интеграции как логического мышления и интуиции человека, так и математических методов и технических средств.

В последние годы получили развитие направления исследований, ориентированные в большей степени на работу не с количественной, а с качественной информацией, получаемой непосредственно от экспертов. Особый интерес представляет инженерия знаний, как направление информатики, целью которого является изучение процессов и методов, направленных на извлечение, структурирование и формализацию качественной информации и знаний. Актуальность диссертации определяется применением методов инженерии знаний к практически значимой задаче формирования портфеля инноваций.

Цель и задача исследования. Целью диссертационного исследования является совершенствование современного аппарата формирования портфеля инноваций на основе методов вычислительного интеллекта и инженерии знаний.

Достижение поставленной цели потребовало постановки и решения комплекса научно-практических задач:

- исследование общих закономерностей и специфики осуществления инновационной деятельности;
- анализ инновационных стратегий предприятия и выявление факторов, влияющих на их формирование;
- систематизация и обобщение основных положений и фактов, раскрывающих роль портфеля инноваций в стратегическом развитии предприятия;
- обоснование применимости методов вычислительного интеллекта и инженерии знаний и разработка на их основе математической модели для решения задачи формирования оптимального инновационного портфеля;
- разработка информационной системы, позволяющей автоматизировать анализ и выбор предпочтительного портфеля;
- апробация информационной системы на примере деятельности ЗАО Комсомольского-на-Амуре авиационного производственного объединения.

Объектом исследования выступают инновационно-активные предприятия Российской Федерации.

Предметом исследования являются методы, модели и процедуры информационной поддержки процесса формирования инновационного портфеля.

Теоретико-методологическая основа и методы исследования. Теоретическую и методологическую основу исследования составили труды российских

и зарубежных ученых-экономистов, результаты фундаментальных и прикладных исследований в области информатики и математики. Рассмотрением теоретических концепций и методологий инновационных стратегий предприятий занимаются Р.Н. Авербух, И.В. Анникова, В.М. Аньшин, Л.С. Бляхман, В.В. Глухов, А.П. Градов, А.Н. Кобышев, Э.А. Козловская, О.П. Коробейников, И.А. Коршунов, А.Г. Кругликов, Э.И. Крылов, Б.И. Кузин, М.В. Некрасова, Л.П. Никитина, А.А. Трифилова, В.В. Царев и др.

Особенностям и проблемам инновационного процесса в России посвящены исследования И. Дежиной, С. Л. Гаврилова, Г. С. Гамидова, Т. А. Исмаилова, А. Кулагина, Л. Леонтьева, К. Микульского, К. Нижегородцева и других авторов.

Развитием математического аппарата оценки и анализа инновационной деятельности занимаются И. Ансофф, П. Н. Завлин, Ю. В. Косачев, Г. Ю. Силкина, Д.В. Соколов, Б. Твисс, И. А. Терехов, О. А. Туаршева, С. К. Швец и др.

При построении и исследовании математической модели формирования портфеля инноваций был применен аппарат теории возможностей (Д. Дюбуа, А. Прад, Ю. П. Пытьев, Р. Ягер), нечеткой математики (А. В. Алексеев, А. Н. Борисов, Л. Заде, А. Кофман, В. В. Круглов) и экспертных систем (М. Кумбс, К. Нейлор, М. Г. Пантелеев, С. В. Родионов, Дж. Элти).

Информационную базу исследования составили данные официальной статистики Госкомитета РФ, научные доклады и тематические выпуски экономических научно-исследовательских институтов, материалы научно-практических конференций. При проведении практических расчетов использованы аналитические и отчетные материалы о деятельности предприятий Санкт-Петербурга и Комсомольска-на-Амуре.

Научная новизна исследования. Научную новизну диссертации определяют следующие ее результаты:

- Построено многомерное формализованное описание отдельного инновационного проекта, учитывающее неопределенность этого проекта, которая математически выражается тем, что отдельные компоненты этого описания представлены нечеткими множествами. Разработанный подход развит при формализации портфеля инновационных проектов.
- Введено понятие сбалансированного портфеля инноваций. Определены характеристики сбалансированного портфеля в составе устойчивости по возможности и устойчивости по ожидаемому эффекту.
- Разработана экономико-математическая модель многоэтапного процесса, осуществляющего формирование начального множества альтернативных портфелей инноваций, первичный отбор на основе сочетаемости отдельных проектов, сбалансированности портфеля, структурного соответствия стратегии и ресурсного обеспечения, и итоговый выбор оптимального инновационного портфеля.
- Создана экспертная система, воспроизводящая рассуждения человека-эксперта и позволяющая из множества альтернативных инновационных портфелей выбрать наиболее предпочтительный для предприятия.

- Расширен существующий понятийный аппарат нечеткой математики введением понятий: нечеткого равенства альтернатив, приближительного равенства нечетких множеств, модификатора «между»; предложен алгоритм нахождения нечеткого среднего; модифицировано определение нечеткого включения.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая направленность исследования определяется тем, что разработанный в ней теоретический аппарат позволяет адекватно представить особенности инновационных процессов. Модели вполне идентифицируют отдельные инновационные проекты и их портфели, а экспертная система является инструментом для отбора оптимального инновационного портфеля и его возможных корректировок в процессе реализации.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации на различных этапах исследования представлялись в научных докладах и получили положительную оценку на международных, региональных научно-практических конференциях. Реализованная методика принята к тестированию и последующему использованию в работе научно-производственного отдела ЗАО Комсомольского-на-Амуре авиационного производственного объединения (КнААПО).

Публикации. По теме опубликовано 7 печатных работ, общим объемом 2 п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и 3 приложений. Работа содержит 147 страниц основного текста, 8 таблиц, 19 рисунков, включает список литературы из 160 наименований

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Формализованное описание инновационного проекта и портфеля, учитывающее особенности инновационной деятельности.

В диссертации портфель инноваций определяется как совокупность проектов, предназначенных для осуществления инновационной деятельности в соответствии с инновационной стратегией предприятия. В отличие от традиционных подходов, в лучшем случае проецирующих понятие портфеля инвестиций на инновационную сферу, здесь приоритетным является соответствие портфеля инновационной стратегии предприятия и нацеленность на обеспечение непрерывности инновационного процесса.

Выполнено исследование природы и специфики инновации как составной единицы инновационного портфеля, уточнено понятие жизненного цикла инновации.

Обосновано, что этапы жизненного цикла инноваций принимают значения из множества:

$$\Theta = \{ \text{ЗАРОЖДЕНИЕ, ДИФУЗИЯ, РУТИНИЗАЦИЯ} \}.$$

Инновациям, находящимся на разных стадиях жизненного цикла, присуща своя специфика, свой уровень неопределенности. В связи с этим процесс

управления инновационной деятельностью целесообразно строить с учетом этапа жизненного цикла инновации.

Уточненное понятие жизненного цикла инновации позволило классифицировать нововведения по времени присоединения к разработке и внедрению инновации, а также с учетом требуемого научно-исследовательского потенциала предприятия:

- инновации-лидеры – нововведения, базирующиеся на результатах научно-технических разработок, и начинающиеся со стадий фундаментального или прикладного исследования;
- инновации-последователи – основываются на уже проведенных кем-то фундаментальных исследованиях и находятся на этапе диффузии; в этом случае предприятие пытается воспользоваться плодами, полученными другими компаниями, опуская достаточно длительные этапы фундаментальных и прикладных исследований, и присоединяясь на этапе ОКР или внедрения, тем самым уменьшая неопределенность и риски связанные с разработкой инновации.
- псевдоинновации – данный вид инновации соответствует стадии роста (рутинизации); предприятие выпускает инновации-копии или совершенствуют уже имеющиеся нововведения.

Выбранная инновационная стратегия и проводимая предприятием научно-техническая политика во многом определяет приоритетные виды инноваций, входящих в состав инновационного портфеля.

Наличие того или иного вида инноваций определяет структуру инновационного портфеля и его соответствие выбранной инновационной стратегии предприятия.

Теоретические и практические исследования в этой области показали, что проведение инновационных исследований с ранних этапов жизненного цикла инновации присуще лишь предприятиям лидерам. Предприятия, придерживающиеся инновационной стратегии последователя, имеют в составе своего портфеля только инновации-последователи и псевдоинновации. Отсутствие в портфеле инноваций, находящихся на стадии зарождения и диффузии, характеризует предприятие как инноватора-имитатора. Математически это представлено в следующем виде:

$$X_{s_1} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix}, X_{s_2} = \begin{Bmatrix} 0 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix}, X_{s_3} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ x_3 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

где x_i – множество инноваций i -го вида в портфеле; X_{s_i} – структура портфеля, соответствующая s_i -ой стратегии; $i=1..3$ (здесь индексам 1, 2 и 3 соответствуют инновации-лидеры, инновации-последователи и псевдоинновации).

Каждый инновационный проект в диссертации формализовано описывается семеркой чисел:

$$p^T = \{T^{beg} \quad T^{end} \quad L \quad E \quad C \quad \underline{E} \quad \underline{C}\}. \quad (2)$$

где T^{beg}, T^{end} – даты начала и окончания проекта; $L \in \Theta$ – этап жизненного цикла; $E = \{\xi_j\}$, $\underline{E} = \{\underline{\xi}_j\}$ – множества возможных эффектов (j) в случае успешной и неуспешной реализации проекта соответственно; $C = \{c_j\}$, $\underline{C} = \{\underline{c}_j\}$ – множества возможных потерь (j) в случае успешной и неуспешной реализации проекта соответственно.

Возможные эффекты и потери формируются на основе высказываний экспертов относительно различного рода результатов, получаемых в ходе реализации проекта, и их возможностей. Элементы множества E представляют собой трапециевидные нечеткие числа (рис. 1):

$$\xi_j = \langle \underline{m}_j, \bar{m}_j, \alpha_j, \beta_j, \pi_j \rangle, \quad (3)$$

где \underline{m}_j и \bar{m}_j – нижнее и верхнее значения нечеткого интервала; α_j и β_j – левый и правый коэффициенты нечеткости; π_j – высота нечеткого интервала, j – номер эффекта.

Элементы остальных множеств ($\underline{E}, C, \underline{C}$) описываются аналогично.

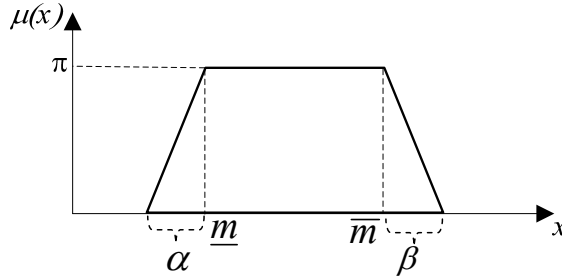


Рис. 1. Трапециевидное нечеткое число

Универсальность предложенного описания проекта проявляется в том, что подобные конструкции описывают не только отдельные инновационные проекты, но и инновационный портфель в целом.

Формализованное описание инновационного портфеля в работе представляется пятеркой чисел:

$$d^T = \{\hat{E} \quad \hat{C} \quad \underline{\hat{E}} \quad \underline{\hat{C}} \quad \hat{V}\}, \quad (4)$$

где $\hat{E} = \{\hat{\xi}_j\}$, $\underline{\hat{E}} = \{\underline{\hat{\xi}}_j\}$ – множество обобщенных возможных эффектов (j) портфеля в случае успешной и неуспешной реализации соответственно; $\hat{C} = \{\hat{c}_j\}$, $\underline{\hat{C}} = \{\underline{\hat{c}}_j\}$ – множество обобщенных возможных потерь (j) портфеля в случае успешной и неуспешной реализации соответственно; \hat{V} – характеристика структуры портфеля:

$$\hat{V}^T = \{\tilde{X} \quad \tilde{E} \quad \tilde{C} \quad \underline{\tilde{E}} \quad \underline{\tilde{C}}\}, \quad (5)$$

где $\tilde{X} = \begin{Bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \\ \tilde{x}_3 \end{Bmatrix}$ – структура портфеля и $\forall p_y \in \tilde{x}_1, L_y = \text{"Зарождение"}$,

$\forall p_y \in \tilde{x}_2, L_y = \text{"Диффузия"}; \forall p_y \in \tilde{x}_3, L_y = \text{"Рутинизация"};$

$\tilde{E} = \begin{Bmatrix} \tilde{\xi}_1 \\ \tilde{\xi}_2 \\ \tilde{\xi}_3 \end{Bmatrix}, \underline{E} = \begin{Bmatrix} \underline{\xi}_1 \\ \underline{\xi}_2 \\ \underline{\xi}_3 \end{Bmatrix}$ – множество обобщенных значений целевого эффекта

по каждой части портфеля в случае успешной и неуспешной реализации соответственно;

$\tilde{C} = \begin{Bmatrix} \tilde{c}_1 \\ \tilde{c}_2 \\ \tilde{c}_3 \end{Bmatrix}, \underline{C} = \begin{Bmatrix} \underline{c}_1 \\ \underline{c}_2 \\ \underline{c}_3 \end{Bmatrix}$ – множество обобщенных значений возможных потерь

по целевому эффекту в случае успешной и неуспешной реализации соответственно.

Обобщенные характеристики рассчитываются с помощью расширенной операции сложения:

$$M = M_i \oplus M_j = (\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta, h),$$

$$h = \min(h_i, h_j), \alpha = h \left(\frac{\alpha_i}{h_i} + \frac{\alpha_j}{h_j} \right), \beta = h \left(\frac{\beta_i}{h_i} + \frac{\beta_j}{h_j} \right), \quad (6)$$

$$\underline{m} = \underline{m}_i + \underline{m}_j - \alpha_i - \alpha_j + \alpha, \bar{m} = \bar{m}_i + \bar{m}_j + \beta_i + \beta_j - \beta.$$

Сформированное описание позволило учесть особенности, присущие инновациям, за счет использования нечетких множеств, а применение трапециевидных нечетких чисел позволило адекватно описать основные характеристики инновационного проекта.

2. Сбалансированный портфель как основа обеспечения непрерывности инновационной деятельности.

Одной из особенностей инновационной деятельности является принципиальная недетерминированность ее результатов. В качестве факторов неопределенности инновационной деятельности могут выступать: появление непредсказуемых новых продуктов и технологий; опережение конкурентом с выходом инновации; способность некоторых работников предприятия генерировать непредсказуемые изменения, которые являются внутренним источником неопределенности и т. д. Снижение неопределенности принимаемых инновационных решений и деятельности предприятия в будущем может быть обеспечено формированием сбалансированного портфеля, гармонично сочетающего в себе зарождающиеся, разработанные и внедряемые инновации.

Чтобы снизить рыночную и временную неопределенность, предприятиям необходимо формировать сбалансированный инновационный портфель, соот-

ветствующий выбранной инновационной стратегии, направленный на рациональное соотношение ожидаемого эффекта и возможности успешной реализации инноваций, что обеспечивает преемственность производственно-сбытовой деятельности предприятия, постоянное получение эффекта, снижает риск неполучения ожидаемого эффекта от реализации нововведений, находящихся на начальных стадиях жизненного цикла.

Такой подход позволил выделить основные характеристики сбалансированного портфеля:

- устойчивость по возможности – возможность реализации каждой части структуры инновационного портфеля должна быть не ниже требуемого уровня;
- устойчивость по ожидаемому эффекту – эффект от реализации каждой части структуры инновационного портфеля должен быть не ниже требуемого уровня.

Многогранность инновационной деятельности проявляется в множественности видов эффектов, присущих каждому проекту. Среди приоритетных эффектов от реализации инноваций особо выделяются следующие:

- внешний экономический – уровень прироста ВРП или ВВП в результате реализации инновационного проекта;
- внутренний экономический – размер экономической выгоды (прибыли, выручки и т. п.), которую получит предприятие в результате реализации инновационного проекта;
- внешний социальный – степень удовлетворения потребностей человека или общества, не имеющая стоимостной оценки (улучшение здоровья, повышение уровня образования, удовлетворение эстетических запросов и т. д.);
- внутренний социальный – степень улучшения микроклимата на предприятии;
- внешний технический – степень влияния инновации на научную теорию и практику;
- внутренний технический – вклад инновации в повышение научного и технического потенциала предприятия;
- экологический эффект.

Описанные эффекты объединяются в множество:

$$\Omega = \left\{ \begin{array}{l} \text{ВНУТРЕННИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ, ВНЕШНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ,} \\ \text{ВНУТРЕННИЙ СОЦИАЛЬНЫЙ, ВНЕШНИЙ СОЦИАЛЬНЫЙ,} \\ \text{ВНУТРЕННИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ, ВНЕШНИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ,} \\ \text{ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ} \end{array} \right\}$$

Не любой сбалансированный портфель может или должен быть реализован на предприятии, поскольку может не соответствовать целям развития предприятия или мощностей предприятия может оказаться недостаточно для его реализации. Таким образом, кроме сбалансированности инновационный портфель должен обладать свойствами:

- соответствие стратегии;
- ресурсная обеспеченность.

Для инновационного портфеля, обладающего тремя перечисленными свойствами, было введено понятие «приемлемый» для предприятия.

3. Экономико-математическая модель формирования оптимального инновационного портфеля.

Математически задача формирования оптимального инновационного портфеля представлена в следующем виде.

Имеется конечное множество инновационных проектов $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{Kp}\}$, где Kp – общее количество проектов. Каждый инновационный проект формализовано описывается кортежем (2).

Из множества эффектов Ω предприятие выбирает для себя приоритетный (Ω^*), соответствующий стратегическим целям и определяет значение коэффициента уверенности $\pi^* \in (0,1)$, показывающего готовность предприятия к проектам с невысокой возможностью успешной реализации. Под успешной реализацией понимается получение приоритетного эффекта в запланированные сроки не ниже планового значения (ξ^*). Также известна инновационная стратегия, которой придерживается предприятие ($s^* \in S$).

Из имеющегося множества проектов необходимо сформировать портфель, наилучшим образом согласующийся с целями и интересами предприятия.

Формально процесс формирования оптимального инновационного портфеля состоит из следующих этапов:

- Этап структурирования, при котором из имеющегося набора инновационных проектов составляются возможные портфели с учетом взаимоисключения и взаимодополнения.
- Этап элиминирования, представляющий собой предварительное отсеивание «неприемлемых» альтернатив:
 - анализ инновационной активности портфеля (ИАП-анализ) - позволяет определить соответствие структуры портфеля выбранной инновационной стратегии согласно условию (1);
 - анализ сбалансированности структуры портфеля (ССП-анализ):
 - ◆ $\mu_{\tilde{\xi}_l} \geq \pi^*$, $l=1..3$, где $\mu_{\tilde{\xi}_l}$ – функция распределения возможностей успешной реализации l -ой части портфеля;
 - ◆ $\tilde{\xi}_l \geq \xi^*$, $l=1..3$, где $\tilde{\xi}$ – расчетное ожидаемое значение целевого (приоритетного) эффекта l -ой части портфеля.
 - оценка ресурсных возможностей предприятия по реализации инновационных проектов (РИП-анализ). Решение задачи формирования инновационного портфеля осуществляется исходя из предпосылки, что предприятие имеет возможность, при необходимости, привлечь требуемое количество ресурсов. Однако в ряде случаев может быть целесообразно произвести РИП-анализ на соответствие ресурсных

возможностей предприятия альтернативным вариантам инновационных портфелей.

- Этап вывода на знаниях – функционально реализован в виде экспертной системы и позволяет выбрать оптимальный инновационный портфель.

Принятие решения на последнем этапе осуществляется с использованием системы нечеткого вывода, которая опирается на высказывания экспертов, представленных в виде базы знаний. Система, воспроизводя рассуждения человека-эксперта, попарно сравнивает все имеющиеся портфели по каждой из их характеристик, а затем обобщает полученные результаты, делая заключения о предпочтительности портфеля.

Логический вывод построен на основе общих принципов принятия решений в экспертных системах с использованием операций расширенного деления, нечеткого среднего, функции упорядочивания, и т.д.

Оценка набора инновационных портфелей представляет собой многоэтапный процесс, постепенно сужающий количество альтернатив и организованный таким образом, чтобы временные и стоимостные затраты на каждый предыдущий этап были меньше, чем на последующий.

4. Расширение существующего понятийного аппарата нечеткой математики.

Для реализации разработанного алгоритма, который предполагает сравнение инновационных портфелей, чьи характеристики представляют собой нечеткие множества, потребовалось расширение понятийного аппарата нечеткой математики введением следующих понятий:

- приближительного равенства нечетких множеств;
- нечеткого равенства альтернатив;
- модификатор «между».

Кроме того, было модифицировано понятие нечеткого включения и предложен алгоритм нахождения нечеткого среднего.

В связи с неопределенностью, присущей поставленной задаче, для сравнения нечетких множеств предлагается использовать понятие приближительного равенства, учитывающее незначительные отличия характеристик, вызванные неточностью исходных данных.

Таким образом, нечеткое множество I_1 считается больше множества I_2 , если:

$$F(I_1) - F(I_2) > \Delta d, \quad (7)$$

где $F(I_1)$ и $F(I_2)$ – характеристики нечетких множеств I_1 и I_2 соответственно; Δd – величина допуска.

Нечеткие множества I_1 и I_2 называются приблизительно равными если:

$$|F(I_1) - F(I_2)| \leq \Delta d. \quad (8)$$

В качестве характеристик в диссертационной работе используются степень включения и функция упорядочивания.

Результат сравнения нечетких множеств определяет результат сравнения альтернативных инновационных портфелей, описанных с помощью нечетких

множеств. Альтернативы могут быть предпочтительней одна другой или нечетко равными.

Альтернатива A_1 является предпочтительней A_2 ($A_1 \succ A_2$), если нечеткое множество I_1 , характеризующее A_1 , больше I_2 , соответствующего альтернативе A_2 .

Альтернативы A_1 и A_2 называются нечетко равными ($A_1 \simeq A_2$), если I_1 и I_2 приблизительно равны.

Данная методика отличается от существующих наличием допуска, позволяющего учесть особенность нечетких множеств, их отличие от четких чисел – неоднозначность определения.

Для генерации новых термов лингвистических переменных был введен модификатора «между», который позволяет более точно производить лингвистическую аппроксимацию нечетких множеств на множество ее значений.

Модификатор “между” представляет собой результат операции над двумя термами лингвистической переменной A и B , обозначается $A :. B$ и является нечеткой переменной с носителем, определяемым выражением:

$$\text{supp}(A :. B) = \text{supp}(A) \cup \text{supp}(B), \quad (9)$$

и ядром:

$$\text{core}(A :. B) = \{x \mid \mu_A \neq 0 \text{ и } \mu_B \neq 0\}. \quad (10)$$

Данный модификатор может применяться в задачах, использующих трапециевидные нечеткие множества.

В работе был предложен модифицированный способ расчета степени включения одного нечеткого множества в другое:

$$S(R_1, R_2) = |R_1 \cap R_2| / |R_1|, \quad (11)$$

где $|R| = \int_U \mu_R(x) dx$ – мощность нечеткого множества.

Предложенный способ дополняет существующие методики расчета степени включения и расширяет область ее применения.

В связи с широким применением нечеткой математики в различных областях науки многие операции из четкой математики адаптируются для нечетких чисел. Наряду с известными расширенными операциями сложения, деления, умножения и др. в работе предлагается и реально используется понятие нечеткого среднего:

$$I = \overline{\bigoplus_{j=1..g} \mathfrak{Z}_j}, \quad (12)$$

где \mathfrak{Z}_j – нечеткое множество;

g – общее количество нечетких множеств;

$\bigoplus_j \mathfrak{Z}_j$ – представляет собой трапециевидный нечеткий интервал $(\underline{m}, \overline{m}, \alpha, \beta, h)$.

Среднее значение истинностей $\overline{\bigoplus_{j=1..g} \mathfrak{Z}_j}$ описывается следующим интервалом:

$$\left(\frac{m}{g}, \frac{\bar{m}}{g}, \frac{\alpha}{g}, \frac{\beta}{g}, h \right) \quad (13)$$

Описание понятия введены в связи с потребностями задачи, поставленной в диссертации. Однако они могут найти применение и в иных задачах, использующих аналогичный математический аппарат.

5. Разработка экспертной системы, позволяющей из множества альтернативных инновационных портфелей выбрать наиболее предпочтительный для предприятия.

Принятие решения о предпочтительности одного портфеля над другим и выбор оптимального осуществляется с использованием системы нечеткого вывода, которую можно представить в виде алгоритма, включающего в себя следующие этапы (рис. 2).

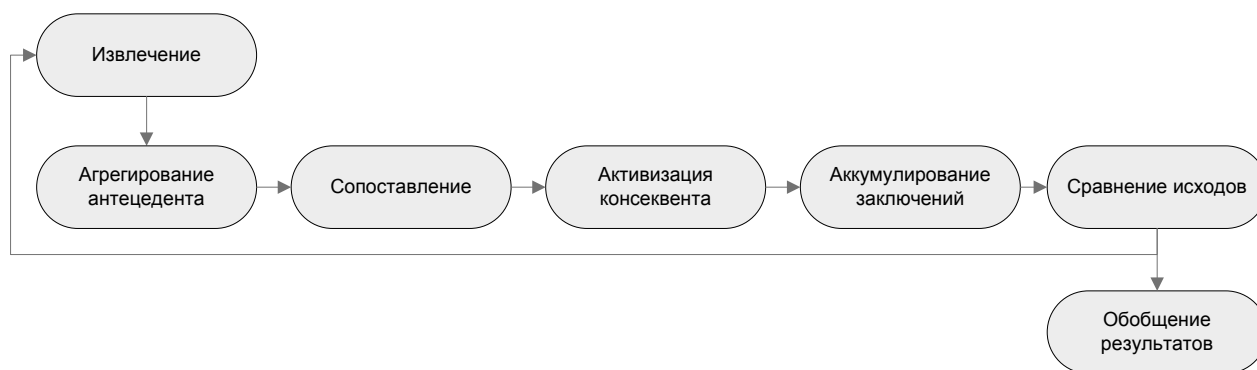


Рис. 2. Этапы нечеткого вывода

База знаний экспертной системы содержит пары правил нечеткого вывода в виде высказываний типа:

$$\begin{aligned} &\langle \text{Если } A_1 R_\kappa A_2 \text{ то } A_1 \rangle (\mathfrak{F}_1), \\ &\langle \text{Если } A_1 R_\kappa A_2 \text{ то } A_2 \rangle (\mathfrak{F}_2), \end{aligned} \quad (14)$$

где antecedent (условие) представляет собой сравнение двух альтернатив A_1 и A_2 по одному из критериев (κ) с использованием нечеткого отношения, а консеквент (заключение) – выбор одной из альтернатив с определенной степенью уверенности (\mathfrak{F}).

На этапе извлечения из множества альтернативных портфелей выбираются два портфеля (A_1 и A_2) в порядке очередности.

Этап агрегирования antecedента представляет собой процедуру определения степени истинности условий продукционных правил базы знаний. Для нахождения степени истинности условий (ν) производится расширенная операция арифметического деления:

$$R_\kappa = \kappa(A_1) \oplus \kappa(A_2) = (\underline{r}, \bar{r}, \lambda_r, \beta_r, h_r),$$

$$h_r = \min(h_a, h_b), \quad \underline{r} = \frac{\underline{a} - (1 - h_a)\lambda_a}{\underline{b} + (1 - h_b)\beta_b}, \quad \bar{r} = \frac{\bar{a} + (1 - h_a)\beta_a}{\bar{b} - (1 - h_b)\lambda_b},$$

$$\lambda_r = \frac{\underline{a} - (1 - h_a)\lambda_a}{\underline{b} + (1 - h_b)\beta_b} - \frac{\underline{a} - \lambda_a}{\underline{b} + \beta_b}, \quad \beta_r = \frac{\bar{a} + (1 - h_a)\beta_a}{\bar{b} - (1 - h_b)\lambda_b} - \frac{\bar{a} + \beta_a}{\bar{b} - \lambda_b}.$$

где $\kappa(A_1) = (\underline{a}, \bar{a}, \lambda_a, \beta_a, h_a)$ и $\kappa(A_2) = (\underline{b}, \bar{b}, \lambda_b, \beta_b, h_b)$ – значения критерия для первой и второй альтернативы, и сопоставление результирующего нечеткого множества с термами лингвистической переменной «РЕЛЕВАНТНОСТЬ», характеризующей уровень превосходства одной альтернативы над другой.

На этапе сопоставления из базы знаний выделяются правила, условия которых соответствуют фактам, определенным на предыдущем этапе. Выделенные правила образуют конфликтный набор правил (агенду).

Следующим этапом является активизация консеквента, которая представляет собой процесс нахождения истинности каждого из правил агенды. Для этой цели используется функция prod -активизации:

$$\mathfrak{I}' = \nu \cdot \mathfrak{I}. \quad (16)$$

На этапе аккумуляции заключений производится нахождение функции принадлежности для каждой из выходных нечетких переменных, представляющих собой уверенность в выборе альтернатив A_1 и A_2 :

$$I_{1,y} = \overline{\bigoplus_{j=1..g'_y} \mathfrak{I}_{1,j}}, \quad I_1 = \overline{\bigoplus_y (\lambda_y \otimes I_{1,y})},$$

$$I_{2,y} = \overline{\bigoplus_{j=1..g'_y} \mathfrak{I}_{2,j}}, \quad I_2 = \overline{\bigoplus_y (\lambda_y \otimes I_{2,y})},$$

где y – номер группы значимости, по которым разделены правила базы знаний; $I_{1,y}, I_{2,y}$ – истинности выбора альтернатив по группам значимости правил; g'_y – количество правил в группе значимости y ; λ_y – нечеткое множество, характеризующее уровень значимости правил группы y ; \otimes – расширенная операция умножения; \oplus – расширенная операция сложения.

Результатом проведенной цепочки прямых рассуждений будут уверенности в выборе первой (I_1) и второй альтернативы (I_2), представленные в виде нечетких множеств.

На этапе сравнения исходов происходит выбор одной из альтернатив на основе функций упорядочивания:

$$F(I_1) = x_1 y_1,$$

$$F(I_2) = x_2 y_2, \quad (18)$$

где x_1, x_2, y_1, y_2 – дефаззифицированные значения выходных нечетких переменных.

Сравнение альтернатив осуществляется с использованием формул (8) и (9).

В случае неравенства нечетких множеств для альтернатив A_1 и A_2 вычисляется показатель предпочтения ρ , который характеризует степень превосходства одной альтернативы над другой:

$$\begin{aligned} \rho &= I_1 \oplus I_2, \text{ если } A_1 \succ A_2, \\ \rho &= I_2 \oplus I_1, \text{ если } A_1 \prec A_2. \end{aligned} \quad (19)$$

В качестве выходных данных этапа сравнения исходов является заключение о выборе доминирующей альтернативы и показатель предпочтения ρ .

На основе полученных данных формируется матрица парных сравнений портфелей M , где

$$m_{i,j} = \begin{cases} -1, \text{ если } A_j \succ A_i \\ 0, \text{ если } A_j \cong A_i, j = 1..K_A, i = 1..K_A. \\ 1, \text{ если } A_j \prec A_i \end{cases} \quad (20)$$

Для каждого варианта портфеля подсчитывается количество альтернатив, для которых он является предпочтительным:

$$\ell_i = \sum_{j=1}^{K_A} (m_{i,j} | m_{i,j} = 1). \quad (21)$$

Затем находится максимальное значение числа предпочтительностей:

$$\ell_{\max} = \max_{j=1..K_A} (\ell_j) \quad (22)$$

В качестве оптимального портфеля выбирается тот, у которого величина ℓ максимальна:

$$A^* = \{A_i | \ell_i = \ell_{\max}, A_i \in A\}. \quad (23)$$

6. Информационная система формирования оптимального инновационного портфеля.

Для реализации разработанной методики была создана информационная система (рис. 3), которая позволяет объединять инновационные проекты в портфели, производить оценку полученных портфелей, а также осуществлять выбор наилучшего портфеля, основываясь на описанной методике, и знаниях эксперта выраженных в терминах естественного языка.

Система основывается на среде визуального программирования Delphi, имеет необходимый инструментарий для настройки своей работы и интегрирована с пакетом MS Office.

Система была опробована на ЗАО Комсомольском-на-Амуре авиационном производственном объединение, показав свою работоспособность.

Новизна построенной модели заключается в том то, что она может быть применена на тех этапах планирования деятельности предприятия, когда доступна только качественная информация. Модель не требует точных количественных оценок или статистических данных.

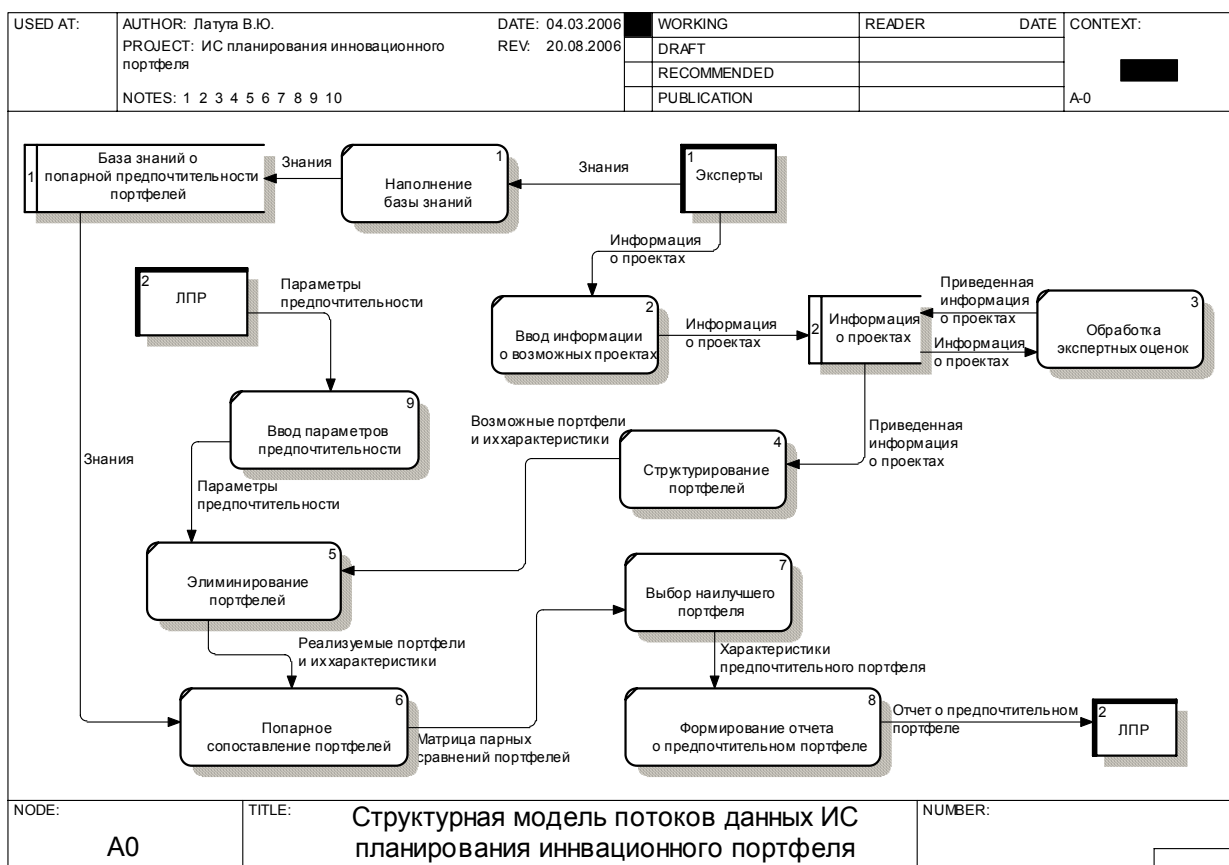


Рис. 3. Структурная модель потоков данных в информационной системе

В целом выполненное исследование развивает новый подход к процессу формирования инновационного портфеля предприятия. Практическое применение предлагаемой методики позволяет усовершенствовать процесс принятия инновационных решений относительно состава инновационного портфеля.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Исследованы общие закономерности и специфика осуществления инновационной деятельности, на основе которых выделены основные эффекты от реализации инновационной деятельности и уточнено понятие жизненного цикла инновации.
2. Проведен анализ инновационных стратегий предприятия, и предложен подход к их классификации в зависимости от характера инновационной деятельности, а также произведено сопоставление видов инноваций и выбранной стратегии предприятия.
3. Систематизированы и обобщены основные положения и факторы, раскрывающие роль портфеля инноваций в стратегическом развитии предприятия.
4. Обоснована применимость методов вычислительного интеллекта и инженерии знаний для моделирования объектов и процессов инновационной деятельности.
5. Разработана экономико-математическая модель для решения задачи формирования оптимального инновационного портфеля, адекватно отражающая неопределенность, присущую инновациям.

6. Спроектирована, разработана и оттестирована информационная система, которая позволяет объединять инновационные проекты в портфели, производить оценку полученных портфелей, а также осуществлять выбор оптимального портфеля, основываясь на разработанной методике, и знаниях эксперта выраженных в терминах естественного языка.
7. Выполнена апробация информационной системы на примере деятельности ЗАО Комсомольского-на-Амуре авиационного производственного объединения.

По теме диссертационного исследования опубликовано 7 печатных работ:

1. Латуга В. Ю. Проблема рутинизации инноваций, Комсомольск-на-Амуре // Вестник государственного образовательного учреждения «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет». Вып. 4. Сб. 1. Инновационные процессы в социально-экономическом развитии общества: В 2 ч. Ч. 2: Сб. науч. тр./Редкол.: Ю. Г. Кабалдин (отв. ред.) и др., 2004. – С.150-154.
2. Латуга В. Ю. Факторы неопределенности при принятии инновационных решений // Экономика и промышленная политика России: Труды III Международной научно-практической конференции – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – С.355-358.
3. Латуга В. Ю. О роли принятия решений в инновационной деятельности // Экономика и конкурентоспособность России: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. № 6. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2004. – С.586-588 с.
4. Латуга В. Ю. - Применение экспертных систем при принятии инновационных решений // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды IX Международной науч.- техн. конф. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. – С.331-333 с.
5. Латуга В.Ю. Интуиция или матметоды? (Подход к трудно-формализуемой проблеме планирования инвестиционного портфеля) // Вестник Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет». Вып. 5: В 3 ч. Ч. 2: Сб.науч.тр./Редкол.: Ю. Г. Кабалдин (отв. ред.) и др., 2005. – С. 45-49.
6. Латуга В.Ю. Текущее состояние и динамика развития инновационной деятельности в России // Становление информационной экономики: теория и практика. Сб.научн.трудов / Под ред. д.э.н. Б.В. Корнейчука. СПб.: Нестор, 2006. – С.217-219.
7. Силкина Г.Ю., Латуга В.Ю. Портфель инноваций как средство реализации инновационной стратегии предприятия // Российское предпринимательство. Сб.научн.трудов. – М.: «Мелап», 2006. – №7. – С.19-23.