

НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ: АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

О.М. Шаталова

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

В статье представлены результаты исследования, направленного на развитие методологии оценки эффективности технологических инноваций (ТИ) с позиций нестохастической неопределенности; эффективность при этом рассматривается в качестве критерия управленческих решений.

В основу исследования приняты положения теории нечетких множеств, обеспечивающие многофакторную оценку эффективности и интеграцию детерминированных, стохастических, ментальных знаний о системе. Методический аппарат нечетко-множественно моделирования позволяет формализовать языковыми средствами математики ментальные суждения лиц, принимающих решения (ЛПР), и за счет этого переложить их на машинную обработку; тем самым формируются предпосылки к построению интеллектуальных систем поддержки принятия решений в управлении инновационными процессами на предприятии. Представленная в статье нечетко-множественная модель оценки эффективности ТИ построена на следующих базовых основаниях: векторная форма представления показателя эффективности; реализация функции соответствия между ключевыми условиями эффективности (результативность, экономичность, срочность) через нечеткий логический вывод; сложившиеся в теории и практике представления об онтологии инновационного процесса и факторах эффективности ТИ; приемлемые методы построения нечетко-множественных моделей.

Разработанная нечетко-множественная модель обеспечивает многофакторную оценку эффективности исследуемого технологического новшества на основании значимых рыночных, производственных, инвестиционных характеристик анализируемых ТИ в контексте стратегических аспектов деятельности предприятия, с учетом существенных для предприятия ограничений, а также актуальных предпочтений ЛПР. Реализация разработанной концепции и метода нечетко-множественного моделирования в оценке эффективности ТИ становится возможной при условии соответствующего инструментального обеспечения. Приняв за основу специальную компьютерную программу класса Fuzzy Logic и произведя необходимые настройки, в ходе исследования был разработан необходимый программный комплекс для реализации метода НММ W как в практической деятельности, так и в образовательном процессе.

Ключевые слова: технологические инновации, эффективность, управление, стратегия, неопределенность, системный подход, нечеткое моделирование, нечеткие множества, методы, программный комплекс.

Управление технологическими инновациями (ТИ) на промышленных предприятиях является многоаспектным сложноорганизованным процессом, реализуемым в условиях высокой неопределенности и сопряженным с существенными рисками. В то же время, на фоне формирования новых направлений и стимулов экономического роста, инновационное технологическое развитие предприятий становится ключевым условием их устойчивости и развития. Инновационная активность предприятий в значительной степени зависит от действенности используемых методов разработки и принятия управленческих решений. В сложившейся практике управления организационными системами ключевым условием принятия решений выступает уровень эффективности. Эффективность, как критерий принятия решений в управлении инновационным процессом, должна выступать комплексной категорией, включающей в себя инвестиционно-финансовые, технико-технологические, производственные, рыночные характеристики, рассматриваемые в контексте реализуемой

предприятием инновационной стратегии конкурентного поведения.

Высокая неопределенность и нечеткость информации в управлении инновационным процессом формируют значительные методологические сложности в разработке экономических прогнозов; это требует использования в оценке эффективности не только детерминированных и стохастических оценок, но и «вовлечение» в исследование эффективности ТИ ментальных знаний о системе и рыночной среде ее функционирования, выражаемых как в форме экспертных оценок, так и в форме лингвистических описаний и характеристик [1]. Данная методологическая сложность отчасти может найти свое решение за счет использования отдельных элементов теории нечетких множеств (ТНМ), в том числе нечетко-множественного моделирования. Нечетко-множественное моделирование формирует предпосылки к дополнению сложившегося методологического подхода сценарного моделирования; как отмечается в работе [2], в составе нечетко-множественной модели (НММ) все возможные сце-

нарии развития событий, отражающиеся во входных параметрах модели, учтены в соответствующих нечетких оценках, а через используемые в НММ функции принадлежности и базу правил обеспечивается активизация этих сценариев, исходя из ментальных представлений ЛПР об условиях функционирования системы. Поскольку методология нечетко-множественного моделирования позволяет выразить ментальные суждения ЛПР математическими языковыми средствами и за счет этого переложить их на машинную обработку, данная методология относится к классу интеллектуальных. Таким образом, разработка НММ W создает, по нашему мнению, предпосылки к построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений в управлении инновационными процессами на предприятии.

Разработка содержания и параметров НММ в оценке эффективности ТИ должна базироваться на корректных методических подходах, соответствовать онтологии инновационного процесса, содержать достаточный состав факторов. Оценка эффективности ТИ в составе соответствующей НММ в этом случае основывается на многоаспектном исследовании инновационного процесса по альтернативным вариантам технологического развития и служит критерием оптимизации содержания инновационной стратегии.

1. Методические основания разработки нечетко-множественной модели эффективности технологических инноваций

В рамках проводимого исследования возможностей построения нечетко-множественной модели эффективности технологических инноваций (далее – НММ W) были задействованы три группы методических оснований:

1) методы организации и управления инновационными процессами разработки и постановки на производство технологических новшеств (РППТН) на промышленных предприятиях;

2) приемлемые в управлении ТИ теоретико-методологические подходы к оценке эффективности систем;

3) общенаучные методы, направленные на решение проблемы существенной неопределенности и нечеткости информации в управлении процессами РППТН.

В разработке НММ W были задействованы следующие профессионально значимые методы: эвристические методы исследования, применяемые на стадии постановки задачи; методы технико-экономических расчетов в оценке результатов (при возможности их задания в четкой количественной оценке, например, уровень производственной мощности, производственной экономичности и т.п.), затрат, сроков; методы сетевого моделирования процесса РППТН (в оптимизации продолжительности стадий «разработка» и «постановка на произ-

водство»); методы экспертного оценивания; методы технико-экономического планирования.

Структурную основу использования актуальных методов составляет положение о содержании жизненного цикла инновации (ЖЦИ); при проведении исследования содержание ЖЦИ было принято в соответствии с комплексом действующих национальных регламентов (в первую очередь, ГОСТ 15.000-2016 и Р 50-605-80-93), формирующих основные правила и обеспечивающих организационное единство выполняемых работ по стадиям ЖЦИ: 1) исследования и проектирование; 2) разработка; 3) постановка на производство, 4) установившееся производство, 5) снятие с производства.

Сложившиеся теоретико-методологические основания оценки эффективности включают в себя широкий спектр методов (табл. 1).

Высокое практическое значение в оценке эффективности ТИ имеет методология оценки эффективности инвестиционных проектов [3]. Основанием инвестиционного анализа выступают: 1) разработка долгосрочных прогнозов об экономических результатах инновационного проекта и сопоставлении прогнозных значений доходов с объемом вложений и с учетом фактора времени – в форме DCF-моделей; 2) расчет (на основе DCF-модели) показателей инвестиционной привлекательности проекта ТИ – NPV, IRR, PI и др.; 3) оценка и учет факторов неопределенности и риска с использованием специальных методов: анализ чувствительности, специальный анализ, метод Монте-Карло (как один из методов имитационного моделирования, основанный на стохастических оценках), оценка ожидаемого эффекта с учетом количественных характеристик риска и неопределенности (решение интервальной неопределенности) и т. п.; данные методы основаны на составлении детерминированных и вероятностных прогнозов, т. е. позволяют интегрировать детерминированные и стохастические зависимости между факторами, принятыми для анализа эффективности инвестиций в проекты ТИ.

При рассмотрении общенаучных методов, направленных на решение проблемы существенной неопределенности и нечеткости информации в управлении процессами РППТН, мы исходили, в первую очередь, из общего системного понимания эффективности, как определяющего свойства целенаправленной деятельности, объективно выражаемого степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени [4]. Данная дефиниция эффективности позволяет применить расширенный подход к ее количественной оценке, который состоит в следующих ключевых положениях:

1) количественная оценка W реализуется через специально вводимую функцию соответствия ρ :

Таблица 1

Состав теоретико-методологических подходов и методов исследования эффективности в управлении ТИ

Теоретико-методологические подходы	Методы
1. Детерминированный анализ и оценка эффективности производственных инвестиций (в т. ч. капитальных вложений) в ТИ	Методы оценки эксплуатационных расходов (как фактора целевого эффекта ТИ)
	Методы производственного планирования и организации нововведений
	Методы учета финансовых аспектов организации инновационной деятельности
	Методы учета фактора времени в обеспечение сопоставимости денежных потоков
2. Математическое программирование (комплексное обоснование разрабатываемых решений в управлении ТИ)	Линейное программирование
	Нелинейное программирование
	Динамическое программирование
	Векторная оптимизация
	Модель «затраты-выпуск»
3. Экспертная оценка (области применения: функционально-стоимостной анализ; измерение заданных свойств объекта при субъективном характере их представления, достижение консенсуса при сопоставлении альтернатив и т. п.)	Методы квантификации качественных характеристик
	Методы шкалирования
	Методы ранжирования
	Метод Дельфи
	Другие
4. Статистические оценки в прогнозировании параметров ТИ, решении проблемы стохастической (вероятностной) неопределенности	Частотный анализ
	Байесовские методы (учет предпочтений при построении решающего правила)
	Корреляционно-регрессионный анализ
	Другие
5. Решения проблемы неопределенности в управлении экономическими системами	Методы решения поведенческой неопределенности (методы теории игр, метод анализа иерархий, методы преодоления парадокса Эрроу и т. п.)
	Методы решения интервальной неопределенности (методы максиминного критерия, минимаксного критерия, критерия оптимизма-пессимизма Гурвица и др.)
	Методы оценки результата при нечетких векторных входных параметрах (решение задач векторной оптимизации)
	методы решения интервально-нечеткой неопределенности
	Методы решения природной неопределенности
	Методы решения целевой неопределенности

$$W(u) = \rho(Y_{tr}, Y(u)), \quad (1)$$

где Y_{tr} – целевой результат, обеспечивающий требуемые свойства системы (устойчивость, управляемость, надежность и т. д.), $Y(u)$ – целевой результат, ожидаемый (получаемый) в рамках заданной стратегии (u);

2) векторная форма представления целевого результата, как m -мерного вектора трех базовых параметров эффективности (W):

$$Y^{(m)} = \{q^{(m1)}, C^{(m2)}, T^{(m3)}\}, \quad (2)$$

где q – полезный (целевой) эффект; C – затраченные ресурсы; T – сроки;

3) реализация функции соответствия ρ между Y_{tr} и $Y(u)$ через нечеткий логический вывод [5];

при этом уровень эффективности измеряется в зависимости от меры соответствия прогнозируемых в рамках исследуемой стратегии u значений каждого из параметров $q(u)$, $C(u)$, $T(u)$ требуемым значениям этих же параметров, задаваемым в интервальной оценке. Таким образом, в зависимости от степени соответствия между ожидаемыми и требуемыми значениями каждого из параметров эффективности, а также исходя из предпочтений ЛПР, проявляемых в уровне значимости каждого из параметров (т. е. привлекательность решения в зависимости от результативности / экономичности / срочности) формируется суждение об уровне W .

Использование методов ТНМ находит широ-

кое научное и практическое применение в решении управленческих задач в сфере инвестиционно-менеджмента [6], риск-менеджмента [7, 8], логистики [9] и т. д. Исследователями при этом отмечается, в числе преимуществ данного метода, возможность решения проблемы неопределенности нестохастического характера.

Расширенный подход к оценке W и его реализация в составе НММ W обеспечивает: многофакторный анализ исследуемых объектов по критерию эффективности; возможность элиминированной оценки влияния каждого фактора; транспарентность исследования и получаемых результатов оценки W ; учет предпочтений и ограничений функционирования системы РППТН; возможность интеграции в составе НММ W детерминированных, стохастических, ментальных знаний о системе.

2. Методические и инструментальные аспекты реализации НММ W

2.1. Методические условия формирования НММ W

При реализации представленных методических оснований в разработке НММ W требуется корректное задание значений параметров W : целевого эффекта (q), стоимости проекта (C), сроков проекта (T).

Факторы целевого эффекта q

Расширенный системный подход к оценке W и его реализация в составе нечетко-множественной модели позволяет использовать широкий набор методов представления целевого эффекта q . Наряду с традиционным способом оценки эффекта ТИ в стоимостном выражении (в форме прироста прибыли), q может быть представлен, например, в форме прироста производственной мощности (РС) или повышения качественных характеристик производимой продукции (Q_u), или улучшения производственной экономичности (авс), или повышения производственной технологичности (t) и т. д. Таким образом, НММ W может включать q в однофакторном представлении – в соответствии с целевой функцией исследуемого технологического новшества (ТН). Для прогнозной оценки q в этом случае должны быть задействованы актуальные методики технико-экономических расчетов (в оценке РС, авс) либо методики эксперимента (в оценке Q_u), либо методики экспертизы (в оценке t).

Для того, чтобы оценить q в стратегическом контексте в разработке НММ W был предусмотрен модуль многофакторной оценки q . При этом использованы: а) все множество факторов q , формируемых в рамках исследуемой ТИ (РС, авс, Q_u , t); б) факторы стратегического управления продуктовым портфелем (РР); в) факторы управления результатами НИОКТР, лежащих в основе ТИ (RD).

Модуль многофакторной оценки q включает в себя:

– экспертизу каждого фактора и его экспертную количественную оценку;

– формирование вектора приоритетов по рассматриваемому множеству факторов q (в зависимости от принятого типа инновационной стратегии конкурентного поведения);

– экспертную либо стохастическую оценку диапазона возможных значений экономических параметров целевого эффекта (объем продаж, цена реализации);

– нечеткий логический вывод экономически значимых параметров ТИ (объем продаж, цена реализации, себестоимость производства);

– свертку этих факторов в показатель прибыли и показатели инвестиционной привлекательности исследуемой ТИ – в разработке НММ W заложен расчет «стандартных» показателей: NPV, RI, DRI, DPP; следует отметить, что в оценке данных показателей скорректирован метод их расчета: поскольку в отношении ТИ, как правило, сложно составить долговременный денежный поток в форме типовой DCF-модели, то заложен укрупненный расчет методом капитализации прибыли.

Факторы стоимости проекта (C)

При задании состава факторов данной группы и прогнозной оценке их значений необходимо учитывать следующие предпосылки.

Стоимость проекта образуют единовременные расходы (ЕВР) – производственные инвестиции в проект, включающие в себя:

а) капитальные вложения (КВ), связанные с процессами разработки (Стд) и постановки на производство (Спп) технологического новшества;

б) вложения в оборотный капитал, необходимый для постановки на производство технологического новшества (Соб.к.);

в) ЕВР на НИОКТР, не включенные в состав КВ (Спр);

г) ЕВР на маркетинговое обеспечение проекта РППТН (Спр);

д) ЕВР на кадровое обеспечение проекта РППТН (Спр).

Сумма ЕВР определяется, как правило, на основе детерминированных (четких) оценок, формируемых в результате нормативных расчетов и анализа предложения на рынке капитальных ресурсов и рынке научно-технической продукции.

Кроме того, для оценки C требуется формирование схемы финансирования проекта РППТН, а также оценочная характеристика инвестиционно-финансовых ограничений ($C_{\text{ифо}}$). Схема финансирования, в общем виде, отражает соотношение основных финансовых источников – собственный (долевой) капитал, заемный (долговой) капитал, привлеченный капитал (т. е. средства, привлекаемые на безвозмездной безвозвратной основе, как правило, по государственным программам развития). Оценочная характеристика инвестиционно-финансовых ограничений формируется по результатам финансового анализа субъекта, инвестирующего собственный капитал в проект РППТН, и

используются для задания параметров нечетких терм-множеств в оценке S при реализации нечеткого логического вывода W .

Факторы сроков проекта (T)

При разработке НММ W предусмотрены два подхода к оценке этих факторов.

В случае однофакторной оценки q может быть задействован упрощенный подход и к оценке T ; данный подход предусматривает включение в состав T двух стадий: 1) разработка технологического новшества (T_{rd}), 2) постановка на производство (T_{pp}) технологического новшества. Планирование продолжительности этих стадий должно учитывать состав работ согласно ГОСТ 15.000-2016, Р 50-605-80-93 и детерминированную оценку срока выполнения каждой из работ; общая величина T формируется в сетевой модели, оптимизирующей общую продолжительность T .

При углубленной оценке предусмотрена возможность расширенного анализа и оценки T . При этом данный параметр отождествляется с общей продолжительностью жизненного цикла ТИ, т. е. помимо сроков разработки и постановки на производство технологического новшества, в составе T учитывается также период коммерциализации, который представлен двумя стадиями – стадия рыночного роста (T_{rr}) и стадия рыночной экспансии (T_{re}). В этом случае оценка общей продолжительности срока T проводится через нечеткий логический вывод (НЛВ) и основывается на экспертизе факторов, определяющих потенциал коммерциализации ТИ; такая оценка реализуется в составе дополнительного модуля в составе НММ W .

Для сведения параметров q , S , T в комплексный показатель эффективности W используется метод нечеткого логического вывода, реализуемый по следующим условиям:

- фаззификация проводится с использованием трех терм-множеств в форме симметричных гауссовых функций принадлежности; параметры функций принадлежности (σ , c) могут устанавливаться экспертно либо, в случае накопления достаточной базы знаний о системе, за счет обучения НММ W ;

- вывод (реализация базы правил), формирующий результирующую функцию принадлежности $\mu_{res}(y)$ выходного параметра модели, реализуется через простые подусловия и использование максиминного вывода на основе оператора импликации Мамдани; активизация подусловий осуществляется через задание весовых коэффициентов, значения которых определяются на основании экспертизы предпочтений ЛПП (результативность / экономичность / срочность);

- дефаззификация результирующей функции принадлежности $\mu_{res}(y)$ и нахождение четкого значения выходного параметра W^* реализуется центроидным методом.

Комплексно состав факторов НММ W и методов их обработки представлен на рис. 1.

Как следует из представленной схемы, НММ W включает широкий состав факторов в детерминированной, экспертной, стохастической оценках; связи между факторами реализуются как детерминированными расчетами (IV уровень модели), так и через нечеткий логический вывод. Поскольку реализация нечеткого логического вывода сопряжена с большими по объему и сложности вычислениями, то в целях экспериментального и практического использования НММ W был разработан специальный программный комплекс.

2.2. Содержание программного комплекса НММ W

Программная реализация НММ W должна обеспечивать возможность обработки большого числа факторов – входных параметров – с использованием широкого круга методов: экспертного оценивания, детерминированных технико-экономических расчетов, нечеткого логического вывода. В этой связи было предусмотрено включение в состав разрабатываемого программного комплекса ряда последовательно выполняемых модулей: 1) «ввод данных»; 2) «оценка предпочтений ЛПП ($q / S / T$)»; 3) «экспертная оценка входных параметров»; 4) «НЛВ параметров q (Q, p, ac)»; 5) «НЛВ параметров T (T_r, T_e)»; 6) «детерминированный расчет – экономические и инвестиционные характеристики ТИ»; 7) «НЛВ q, S, T »; 8) «НЛВ W »; 9) «визуализация результатов».

Пользовательский интерфейс организован с использованием интерактивной функции «мастер», то есть интерфейс представлен последовательностью диалоговых окон, каждое из которых реализует выполнение соответствующего модуля (схема интерфейса представлена на рис. 2).

В реализации модулей задействованы различные программные средства.

А. Модуль «экспертная оценка входных параметров» реализован в форме электронной таблицы MS Excel, в которой настроены необходимые функции экспертизы: 1) обоснование состава критериев экспертного оценивания исследуемых факторов; при решении данной задачи была предусмотрена техническая возможность корректировки состава критериев; 2) ранжирование критериев; 3) количественная экспертная оценка по каждому критерию; 4) свертка и получение итогового результата; 5) анализ результата – оценка согласованности суждений экспертов для установления степени достоверности полученных результатов, т. е. количественная оценка плотности распределения суждений экспертов через оценку дисперсионного коэффициента конкордации и проверку его на значимость по квантилям распределения Пирсона.

Б. Модули «НЛВ q », «НЛВ T », «НЛВ W » выполнены в специальной программе класса Fuzzy Logic (FL), разработанной средствами Delphi (ав-

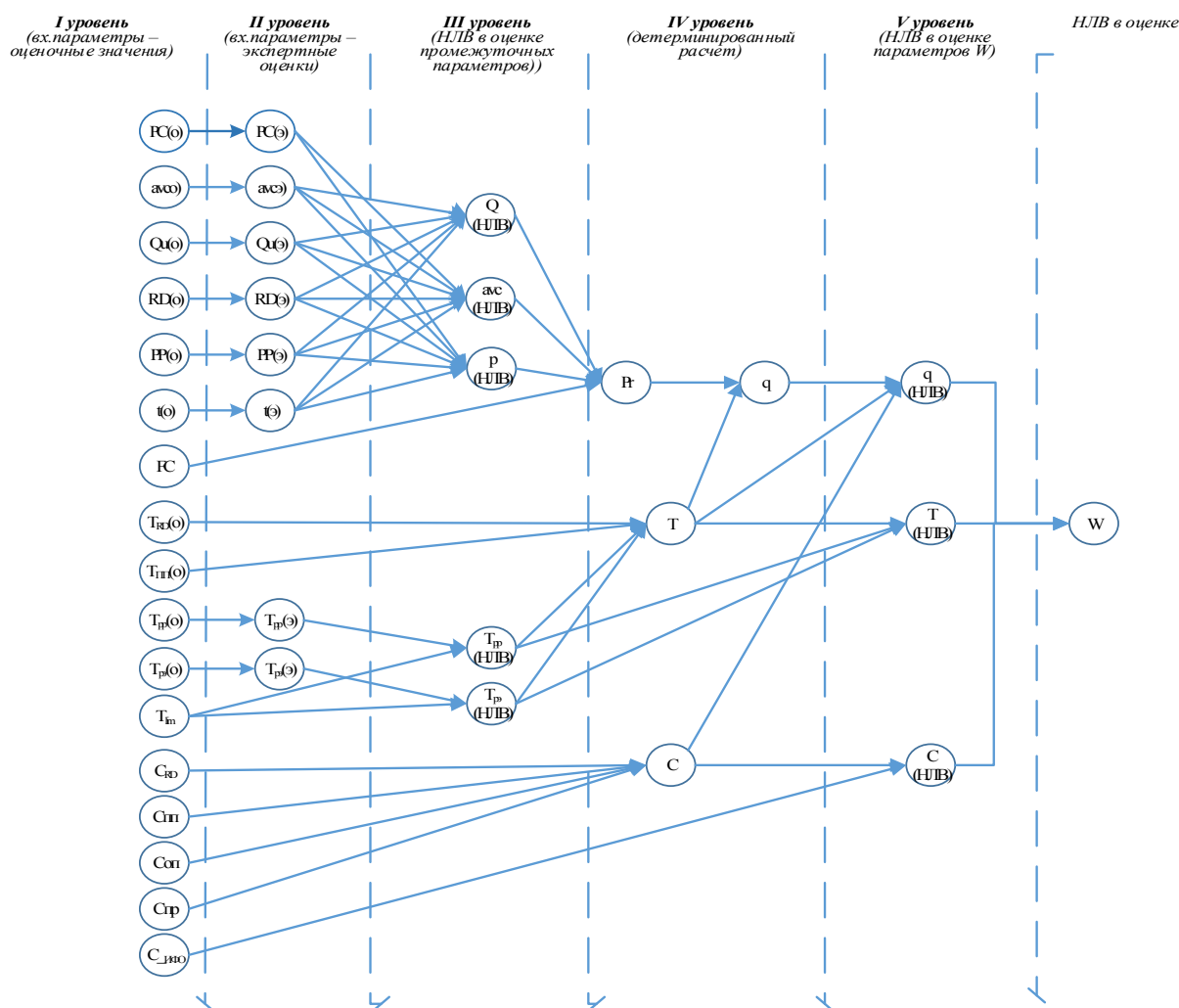


Рис. 1. Структурная схема нечетко-множественной модели оценки эффективности ТИ

тор – проф., д.ф.-м.н. В.А. Тененев; основные положения о содержании и функциональных возможностях данного программного продукта изложены в работах [10, 11]).

В. Функции детерминированных экономических расчетов (модуль «экономические и инвестиционные характеристики») и интеграция модулей в форме «мастера» реализованы средствами технологической платформы 1С:Предприятие 8.3.

Визуализация результатов осуществляется средствами MS Excel через выгрузку полученных в НММ W данных в настроенную форму.

Экспериментальная эксплуатация разработанной НММ W и программного комплекса ее реализации показала высокую валидность и практическую значимость. Для апробации данного метода в образовательном процессе сформирован адаптированный программный комплекс, реализующий упрощенный подход к НММ W и содержащий необходимое методическое наполнение. При разработке мы исходили из предпосылки о

высокой значимости научно-практического знания по вопросам организации инновационных процессов и современных методов математической обработки информации при подготовке студентов (бакалавров, магистров) экономических и инженерных специальностей. Разработанный программный комплекс призван раскрывать онтологию инновационных процессов на промышленном предприятии, обеспечивать рассмотрение экономических и управленческих факторов в контексте рыночной среды и корпоративной стратегии предприятия; также данная разработка служит цели изучения и освоения базовых положений современных методов искусственного интеллекта, в данном случае – методов нечетких вычислений и моделирования в управлении организационными системами технологического развития предприятия. Разработанный программный продукт адаптирован к условиям его использования в образовательном процессе – пользовательский интерфейс содержит необходимые и достаточные методические пояснения и

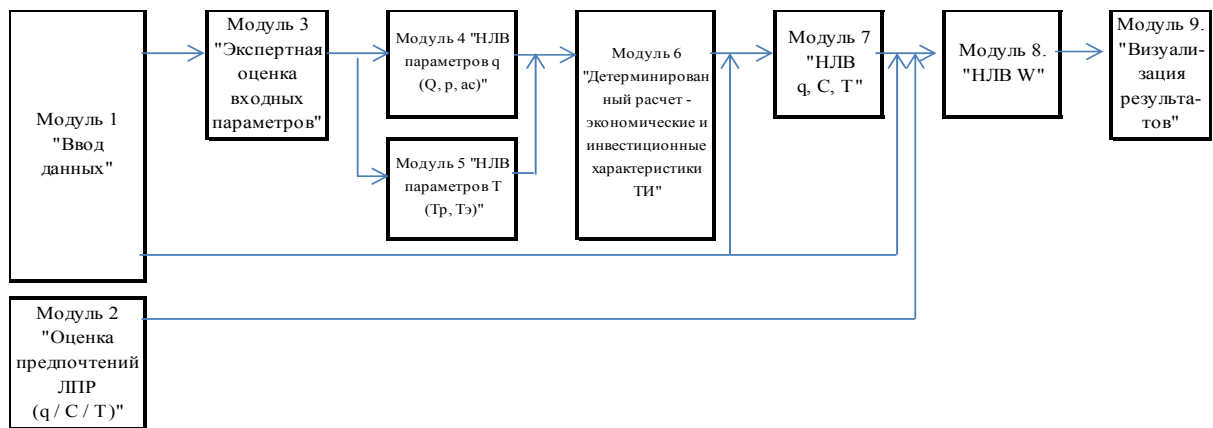


Рис. 2. Структурное содержание программного комплекса HMM W

рекомендации, а также задания для самостоятельного изучения.

2.3. Некоторые результаты использования средств программной реализации HMM W (в форме учебной программы для ЭВМ)

Использование учебной программы для ЭВМ, реализующей HMM W, может проводиться по двум вариантам: на основе выданного задания в форме описания реальной ситуации (т. е. кейс-метод обучения); на основе результатов научно-исследовательской работы студента (т. е. исследовательский методов обучения).

Ниже представлены результаты использования разработанной учебной программы для ЭВМ, базирующиеся на данных кейса; поскольку представленный пример отражает упрощенный вариант оценки q и T, то в расчете не задействованы модули 3–5, 7.

Модуль 1. На основе кейса должны быть составлены исходные данные по трем вариантам стратегий (табл. 2).

Таблица 2
Исходные данные для расчета в HMM W

Параметры W	U1 («оставить все как есть»)	U2 («экспансия»)	U3 («ждать и смотреть»)
q	20	70	40
C	0	-1,5	-1
T	0	-900	-400

Модуль 2. После обработки представленных в кейсе результатов экспертизы предпочтений ЛПР по результативности / экономичности / срочности формируется вектор приоритетов P:

$$P = \begin{vmatrix} q \\ C \\ T \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.5 \\ 0.2 \\ 0.3 \end{vmatrix}. \tag{3}$$

Модули 3–5,7 – не использованы.

Модуль 6. На основе укрупненных экономических характеристик следует вывод о положительной оценке инвестиционной привлекательности каждой из рассматриваемых альтернатив, при

этом по формальным основаниям наибольшей привлекательностью обладает стратегия «оставить все как есть».

Модуль 8. В реализации нечеткого логического вывода W, вводятся:

- а) условия фаззификации входных параметров (табл. 3);
- б) задаются весовые коэффициенты активизации подусловий базы правил нечеткого логического вывода (в соответствии со сформированным вектором приоритетов q/C/T);
- в) производится расчет;
- г) по результатам расчетов формируется итоговая оценка W (табл. 4).

По результатам оценки W следует отметить: при том, что по формальным оценкам инвестиционной привлекательности можно было бы сделать заключение о предпочтительности стратегии U1, однако вследствие высокой значимости фактора q (выявленной при оценке предпочтений) более высокую эффективность приобретает стратегия U2.

Таким образом, методы HMM W и их программная реализация в форме учебной программы для ЭВМ создают предпосылки к расширенному рассмотрению эффективности, как критерия управленческих решений, а также к восприятию онтологии и функций инновационного процесса РППТН (за счет глубокой проработки содержания каждого из параметров W и формы связи между ними).

Выводы

Использование нечетко-множественного моделирования в исследовании организационно-экономических систем направлено на преодоление существенной методологической сложности в прогнозировании ее поведения, связанной с высокой неопределенностью и нечеткостью информации как о самой системе, так и о среде ее функционирования. Принимая во внимание, что неопределенность выступает априорной предпосылкой в управлении инновационным процессом, методология нечеткого моделирования приобретает особую

Таблица 3

Описание условий фаззификации входных параметров

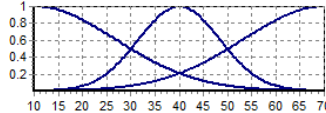
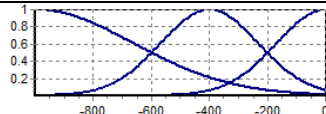
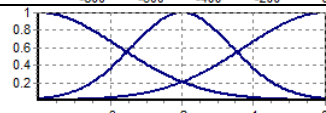
Параметры W	Параметры гаусс. ф-ции	FM1	FM2	FM3	Вид функций принадлежности при фаззификации входных параметров	Вопросы для контроля
q	c	[10; 30]	[30; 50]	[50; 70]		– приемлемая интерпретация FM1, FM2, FM3; – значения и характеристики параметров гауссовой функции принадлежности;
	σ	24	12	24		
C	c	[-1000; -600]	[-600; -200]	[-200; 0]		– причины задания диапазона возможных значений по каждому из параметров W;
	σ	480	240	240		
T	c	[-4; -3]	[-3; -1]	[-1; 0]		– причины задания функции принадлежности в форме гауссовой функции
	σ	1,6	1	1,6		

Таблица 4

Результаты оценки эффективности в НММ W

Параметры W	U1 («оставить все как есть»)	U2 («экспансия»)	U3 («ждать и смотреть»)
q	20	70	40
T	0	-1.5	-1
C	0	-900	-400
W	5,124	6,792	5,736

актуальность в исследовании систем РППТН.

Исследование инновационных процессов по критерию эффективности обеспечивает взаимосвязанную оценку трех ключевых параметров – целевой эффект, стоимость ресурсов, необходимых для ее реализации, временные затраты. Представление показателя эффективности в векторной форме и реализация функции соответствия между ключевыми параметрами эффективности через НЛВ создает методологическую основу нечетко-множественного моделирования по критерию эффективности инновационного процесса и формирования на этой основе оптимального содержания инновационной стратегии технологического развития. Реализация разработанной концепции и метода НММ в оценке эффективности ТИ становится возможной при условии соответствующего инструментального обеспечения. Приняв за основу специальную компьютерную программу класса FL и произведя необходимые настройки, созданы инструментальные предпосылки к реализации метода НММ W как в практической деятельности, так и в образовательном процессе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-010-00942А).

Литература

1. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. / А. Пегат. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
2. Недосекин, А.О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний: дис. ... д-ра экон. наук / А.О. Недосекин. – 2003.
3. Виленский, П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / П.Л. Виленский, В.Н. Ливищиц, С.А. Смоляк. – М.: Дело, 2004. – 888 с.
4. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др.; Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
5. Шаталова, О.М. Методология измерения региональной эффективности технологических инноваций в реализации механизмов стимулирования инновационной активности (на примере Удмуртской Республики): монография / О.М. Шаталова. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. – 256 с.
6. Аверкин, А.А. Мягкие вычисления и измерения: монография / А.А. Аверкин, В.Б. Гусин, Е.С.

Волкова и др. – М.: Издат. дом «Научная библиотека», 2017. – 414 с.

7. Деревянко, П.М. Оценка риска неэффективности инвестиционного проекта с позиций теории нечетких множеств / П.М. Деревянко // Мягкие вычисления и измерения (SCM'2004). VII международная конференция 17–19 июня 2004 г. – СПб.: СПбГЭТУ, 2004. – С. 167–171.

8. Недосекин, А.О. Нечеткая экспресс-оценка промышленных рисков / А.О. Недосекин, А.Д. Шматко, З.И. Абдулаева // Материалы конференции «Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям». – СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2017. – Т. 2. – С. 311–313.

9. Khitilova E. and Pokorný M. Supplier Choice Knowledge Support in the Supply Chain // Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun. – 2015. – V. 63 (3). – P. 937-945.

10. Тененев, В.А. Нечетко-когнитивный подход к управлению динамическими системами / В.А. Тененев, Н.Б. Паклин // Искусственный интеллект. – 2003. – № 4. – С. 342–349.

11. Тененев, В.А. Генетические алгоритмы в моделировании систем: монография / В.А. Тененев, Б.А. Якимович. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2010. – 308 с.

Шаталова Ольга Михайловна, кандидат экономических наук, доцент, кафедра «Управление социально-экономическими системами», Удмуртский государственный университет (г. Ижевск), oshatalova@mail.ru

Поступила в редакцию 5 августа 2019 г.

DOI: 10.14529/em190310

FUZZY MULTIPLE MODELING IN ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS: CURRENT METHODS AND TOOLS

O.M. Shatalova

Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

The article presents the results of a study aimed at developing a methodology for assessing the effectiveness of technological innovations (TI) from the standpoint of non-stochastic uncertainty; at that, effectiveness is considered as a criterion of managerial decisions.

The basis of the study is the provisions of the Fuzzy Set Theory, providing a multifactor assessment of effectiveness and the integration of deterministic, stochastic, and mental knowledge of the system. Methodological apparatus of fuzzy multiple modeling allows formalizing the mental judgments of decision makers using the language of mathematics, and due to this transfer these judgments to machine processing; thereby forming the prerequisites for construction of intelligent decision support systems in innovative process management in enterprises. The fuzzy multiple model for evaluation of TI effectiveness presented in the article is based on the following: the vector form of effectiveness indicator presentation; the implementation of the correspondence function between the key conditions of effectiveness (productivity, profitability, promptness) through a fuzzy logical conclusion; the ideas about the ontology of the innovation process and the effectiveness factors of TI that have been formed in theory and practice; the acceptable methods for construction of fuzzy models.

The developed fuzzy model provides a multifactor assessment of the effectiveness of the technological innovation under study based on the significant market, production and investment characteristics of the analyzed TIs in the context of strategic aspects of an enterprise, taking into account the restrictions that are significant for the enterprise, as well as the current preferences of the decision maker. Implementation of the developed concept and the method of fuzzy multiple modeling in assessing the effectiveness of TI becomes possible provided that the appropriate instrumental support is provided. In the course of the study, the necessary software package was developed for implementation of the FMM W method both in practice and in the educational process; the basis of the software was a special software of the Fuzzy Logic class and the necessary settings.

Keywords: technological innovations, effectiveness, management, strategy, uncertainty, systematic approach, fuzzy modeling, fuzzy sets, methods, software package.

References

1. Pegat, A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy modeling and control]. Moscow, BINOM. Knowledge lab., 2013. 798 p.
2. Nedosekin, A.O. *Metodologicheskie osnovy modelirovaniya finansovoj deyatel'nosti s ispol'zovaniem nechetko-mnozhestvennykh opisaniy* [Methodological foundations of modeling financial activities using fuzzy-multiple descriptions]. 2003.
3. Vilenskij P.L., Livshic V.N., Smolyak S.A. *Ocenka ehffektivnosti investicionnykh proektov. Teoriya i praktika*. [Evaluation of the effectiveness of investment projects. Theory and practice]. Moscow, Delo Publ., 2004. 888 p.
4. *Nadezhnost' i ehffektivnost' v tekhnike. Kn. 3: Ehffektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Reliability and efficiency in engineering, Vol. 3: The effectiveness of technical systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 328 p.
5. Shatalova O.M. *Metodologiya izmereniya regional'noj ehffektivnosti tekhnologicheskikh innovatsij v realizatsii mekhanizmov stimulirovaniya innovatsionnoj aktivnosti (na primere Udmurtskoj Respubliki)* [Methodology for measuring the regional effectiveness of technological innovation in the implementation of incentive mechanisms for innovative activity (for example, the Udmurt Republic)]. Izhevsk, 2015. 256 p.
6. Averkin, A.A. et al. *Myagkie vychisleniya i izmereniya* [Fuzzy calculations and measurements]. Moscow, Publishing House "Scientific Library", 2017. 414 p.
7. Derevyanko P.M. [Assessment of the risk of inefficiency of an investment project from the position of the theory of fuzzy sets]. *Myagkie vychisleniya i izmereniya (SCM'2004). VII mezhdunarodnaya konferentsiya [SCM'2004]*, 2004, pp. 167–171. (in Russ.).
8. Nedosekin A.O., Shmatko A.D., Abdulaeva Z.I. [Fuzzy rapid assessment of industrial risks]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam*, 2017, pp. 311–313. (in Russ.).
9. Khitilova E. and Pokorný M. Supplier Choice Knowledge Support in the Supply Chain. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.*, 2015, vol. 63 (3), pp. 937–945. DOI: 10.11118/actaun201563030937
10. Tenenev V.A., Paklin N.B. [Fuzzy-cognitive approach to managing dynamic systems]. *Iskusstvennyy intellekt* [Artificial Intelligence], 2003, no. 4, pp. 342–349. (in Russ.)
11. Tenenev V.A. *Geneticheskie algoritmy v modelirovanii sistem* [Genetic algorithms in modeling systems]. Izhevsk, 2010. 308 p.

Olga M. Shatalova, Candidate of Sciences (Economics), Associated Professor, Udmurt State University, Izhevsk, oshatalova@mail.ru

Received August 5, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шаталова, О.М. Нечетко-множественное моделирование в оценке эффективности технологических инноваций: актуальные методы и инструментальные средства / О.М. Шаталова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 101–110. DOI: 10.14529/em190310

FOR CITATION

Shatalova O.M. Fuzzy multiple modeling in assessing the effectiveness of technological innovations: current methods and tools. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 101–110. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190310
