

УДК 65.011.4

*О.М. Шаталова***ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ
МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ:
СОДЕРЖАНИЕ МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ¹**

Статья посвящена вопросам разработки методических и инструментальных средств решения проблемы нестохастической неопределенности в управлении технологическими инновациями. В этой связи рассмотрена методология нечетко-множественного моделирования систем, позволяющего учитывать как детерминированные и стохастические данные, так и ментальные знания о системе со стороны лиц, принимающих решения (ЛПР), представленные в лексическом описании и основанные на нечетком механизме оценки. Построение нечетко-множественных моделей направлено на воспроизведение логики принятия решений и основано на использовании интеллектуальных способов обработки информации (в том числе представленной в нечетких и вербальных характеристиках) математическими языковыми средствами, которые могут быть переложены на машинную обработку. Основу исследования составляет положение о векторной форме представления эффективности и реализации функции соответствия между базовыми параметрами эффективности через нечеткий логический вывод. Описаны разработанные базовые условия имитационного нечетко-множественного моделирования в оценке эффективности систем управления технологическими инновациями – структура модели и методы ее построения; представлены разработанные в соответствии с данными условиями средства программной реализации имитационной нечетко-множественной модели; результаты практической апробации разработанных методов и инструментов. Разработанные условия нечетко-множественного моделирования в оценке эффективности технологических инноваций формируют основу развернутого комплексного анализа условий технологического развития предприятия, позволяют выявить значимые факторы управления и сформировать содержание эффективной инновационной стратегии технологического развития предприятия; при этом сама нечетко-множественная модель может рассматриваться в качестве платформы для интеграции детерминированных, стохастических, экспертных знаний о системе.

Ключевые слова: технологические инновации, эффективность, неопределенность, нечеткое моделирование, системный подход.

DOI: 10.35634/2412-9593-2019-29-5-609-620

Устойчивость предприятий в условиях конкурентных рынков в значительной мере зависит от уровня технологического развития предприятий и их способности к оперативному либо превентивному реагированию, в том числе в сфере производственных технологий, на изменения внешней среды – рыночных потребностей и/или технологических возможностей. В этой связи технологические инновации (как новшества в способах производства и обращения товара, обеспечивающие долгосрочные конкурентные преимущества на актуальных для него товарных рынках) рассматриваются в качестве основного элемента стратегий развития современных компаний.

Управление технологическими инновациями представляет собой сложноорганизованный процесс, реализуемый в условиях существенной неопределенности и нечеткости информации о факторах рыночной среды, а также о внутриорганизационных условиях разработки и промышленного освоения технологических новшеств. Высокая стратегическая значимость технологических инноваций (ТИ) при их значительной капиталоемкости и существенной организационной сложности инновационных процессов определяют высокую актуальность действенных управленческих методов и инструментов, в том числе связанных с оценкой эффективности ТИ. Эффективность в данном случае выступает как критерий (основание, правило) принятия управленческих решений на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) ТИ, а оценка эффективности ТИ должна проводиться с позиций комплексного охвата всех существенных аспектов управления инновационным процессом и с позиций высокой неопределенности и нечеткости информации. Данные условия формируют предпосылки к применению специальных методических приемов и соответствующих инструментов.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-010-00942 А).

1. Теоретические и методологические основания исследования.

В основу исследования были приняты, в первую очередь, положения теорий инноватики и стратегического менеджмента: а) предпосылки о стратегически значимой целевой функции ТИ, как средства обеспечения конкурентоспособности предприятия [1]; б) условия создания и сохранения конкурентного преимущества, в числе которых исследователями отмечаются высокая научно-техническая новизна ТИ, уровень производственной мощности, существенные качественные характеристики, уровень производственной экономики, уровень технологичности, соответствие сложившейся товарной стратегии и уровень маркетингового обеспечения инновационного процесса [1-3]; в) сложившаяся типология инновационных стратегий (ИС), классифицирующая существенные управленческие воздействия и факторы целевого эффекта в зависимости от характера и содержания ТИ [4; 5]; г) необходимость проведения оценки ТИ в контексте принятой либо разрабатываемой деловой конкурентной стратегии (ДКС) предприятия; д) высокий уровень неопределенности как априорная предпосылка управления ТИ – экономическое значение проблемы неопределенности обосновано неоклассическими представлениями о предпринимательском ресурсе как результате действий в условиях неопределенности [6]; по заключению Й.А. Шумпетера предпринимательский доход обусловлен принятием неопределенности реализации новых комбинаций факторов производства, обеспечивающих конкурентные преимущества либо монопольное положение на товарном рынке [7].

Существенным методологическим основанием проводимого исследования явилось общее системное понимание эффективности как определяющего свойства любой целенаправленной деятельности, которое с гносеологической точки зрения раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени [8]. Для количественной оценки эффективности при этом предложен обобщенный подход – исходя из меры соответствия между ожидаемым (получаемым) в рамках заданной стратегии (u) целевым результатом $Y(u)$ и результатом, который обеспечивает требуемые свойства системы Y_{tr} – устойчивость, управляемость, надежность и т.д.; под целевым результатом при этом понимается m -мерный вектор трех базовых параметров эффективности (W):

$$Y^{(m)} = \langle q^{(m1)}, C^{(m2)}, T^{(m3)} \rangle, \quad (1)$$

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

В связи с этим предложено расширенное представление оценки эффективности через специально вводимую функцию соответствия ρ :

$$W(u) = \rho(Y_{tr}, Y(u)). \quad (2)$$

Авторами системной теории эффективности отмечается, что «вид функции соответствия зависит от цели исследуемой системы, задачи исследования и других факторов» [8. С. 30].

Системный подход в оценке эффективности ТИ обеспечивает широкие возможности для реализации принципа комплексности оценки, а также формирует методические основания к оценке эффективности с позиций существенной неопределенности и нечеткости информации об условиях реализации ТИ. Для оценки эффективности W с позиций существенной неопределенности, в том числе неопределенности не стохастического характера, предложено реализовывать функцию соответствия ρ через нечеткий логический вывод (НЛВ) [9]; в этом случае отождествляются категории «функция соответствия» и «эффективность» в следующем смысле – полное соответствие между параметрами $Y(u)$ и Y_{tr} можно трактовать как высокую эффективность, и наоборот.

Векторная форма W и применение подходов нечеткого моделирования в оценке W направлены на реализацию принципиальных условий решения проблемы неопределенности: введение формальных средств моделирования новизны; использование семантического принципа тривалентности; возможность использования широкого состава значимых факторов детерминированной, стохастической, не стохастической природы; интервальное задание требуемых значений нечетких переменных; использование субъективных вероятностей; введение элементов обучения модели и др.

2. Результаты исследования

2.1. Содержание модели нечеткого логического вывода W . В разработке содержания модели нечеткого логического вывода W (далее – НЛВ W) исходили из общего понимания модели как знаково-

го отображения исследуемой системы, формируемого для воспроизведения существенных для исследования характеристик этой системы. Модель НЛВ W представляет собой математическую модель, описывающую поведение системы средствами нечеткой обработки; эти средства состоят в сопоставлении данных о системе (детерминированных, стохастических, экспертных) с нечеткими лингвистическими характеристиками, актуальными для данной системы и ЛПП, и использовании правил ее поведения, формируемых на основе сложившейся базы знаний о характере взаимосвязей между входами и выходами системы. Модель НЛВ направлена на воспроизведение логики принятия решений, которая в значительной степени основана на ментальном знании ЛПП о системе и среде ее функционирования, лексическом описании характеристик системы и на нечетком механизме оценки, сопоставления и иной обработки информации. Задача построения нечеткой модели – воспроизведение (имитация) поведения изучаемой системы с использованием интеллектуальных способов обработки информации математическими языковыми средствами, которые могут быть переложены на машинную обработку.

В рамках исследования были изучены возможности и способы построения имитационных нечетких моделей организационных систем управления ТИ, направленных на воспроизведение поведения системы по критерию эффективности, – в таком качестве предложено рассматривать модель нечеткого логического вывода комплексного показателя эффективности W (НЛВ W). В основе построения модели состоит описанный выше методологический подход к системной оценке W при векторной форме представления показателя W и реализации функции соответствия ρ через нечеткий логический вывод. Этот подход позволяет решить методологическую сложность оценки q : в случае оценки эффективности в скалярной форме измерение q должно производиться только в стоимостном выражении (для обеспечения сопоставимости q и C), в то же время в управлении ТИ стоимостная оценка целевого эффекта не всегда целесообразна и возможна. Векторная форма задания параметров W и их соизмерение в модели НЛВ обеспечивают возможность использовать широкий набор методов их представления. Например, q может быть представлена в форме прироста производственной мощности и/или повышения качественных характеристик производимой продукции, и/или улучшения производственной экономичности и т.д.

В рамках проводимого исследования были реализованы: а) экономический подход к оценке W (в этой связи в оценке q были задействованы экономические показатели операционных результатов ТИ и показатели экономической эффективности инвестиций в ТИ); б) комплексное представление каждого из параметров W – q , C , T .

Для оценки эффективности в модели НЛВ W предложен широкий состав входных параметров, структурированный в соответствии с базовыми параметрами эффективности по трем группам – q , C , T и представленный в различных формах измерения (в натуральных, стоимостных единицах измерения, а также в балльных оценках). Параметры C и T структурированы в соответствии со сложившимся содержанием системы разработки и постановкой на производство технологических новшеств (далее – РППТН), регламентированными в комплексе национальных стандартов (в том числе ГОСТ 15.000-2016 и Р 50-605-80-93). В составе параметра T дополнительно выделены структурные элементы стадии коммерциализации – период рыночного роста (T_p) и период рыночной экспансии (T_ϵ). В составе параметра C , наряду с единовременными затратами по стадиям инновационного проекта, введен дополнительный элемент – инвестиционно-финансовые ограничения организационной системы, которые формируют условия интерпретации – нечеткой оценки – C в итоговой оценке W .

Параметр q имеет сложноорганизованную структуру: с одной стороны, за основу приняты «базовые» экономические характеристики инвестиционной привлекательности ТИ – прогноз по прибыли, показатели NPV, RI, DPP и др.; с другой стороны, в оценку приняты ключевые характеристики, позволяющие оценивать целевой эффект в стратегическом контексте с учетом условий ДКС и ИС разработки и коммерциализации ТИ. При этом в качестве «входных» характеристик ТИ рассматривается комплекс стратегически значимых условий, определяющих рыночные перспективы товара – объекта ТИ:

- качественные характеристики товара-объекта ТИ (Q_u) как непосредственная предпосылка товарной дифференциации (фокусирования на дифференциации);
- уровень производственной экономичности (прямые производственные издержки – avc) как предпосылка лидерства в издержках (фокусирования на издержках);
- уровень производственной мощности (PC) как условие обеспечения возможностей реализации конкурентных преимуществ и/или формирования защитных барьеров и/или эффекта масштаба;

– степень научно-технической новизны и уровень правовой охраны результатов НИОКТР, лежащих в основе ТИ (RD), как условие обеспечения эффективной монополии (для нового товарного рынка) либо конкурентных преимуществ за счет уникальных способов производства, а также условие формирования и поддержания рыночно-значимых барьеров в сохранении этих условий;

– характеристика ТИ в контексте сложившегося товарного портфеля и ДКС (PP) как условие обеспечения «синергизма продаж» [2. С.132] в отношении нового либо модернизированного товара и / или нового географического рынка, и / или нового способа производства товара;

– характеристика производственной технологичности (t) как обусловленная конструктивными и технологическими решениями надежность в обеспечении экономичности производства, проектируемых качественных и количественных характеристик производства.

Для корректной обработки параметров модели НЛВ W становится актуальным комплекс методических подходов – детерминированные («четкие») прогнозы и расчеты, экспертное оценивание, нечеткий логический вывод. Таким образом, в составе одной модели становится возможным формализованное представление комплекса существенных условий исследуемого объекта и за счет вычислительных алгоритмов НЛВ такая модель ставится «платформой» для интеграции детерминированных, стохастических, экспертных знаний о системе. Структурное содержание модели НЛВ W, составленной в рамках исследования, представлено на рис. 1.

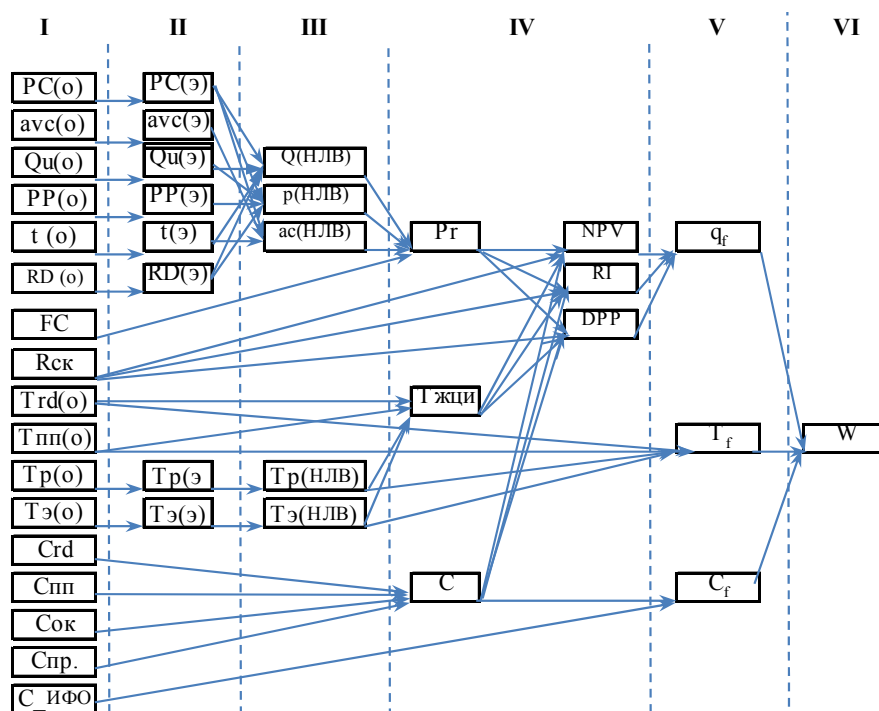


Рис. 1. Структура модели нечеткого логического вывода W ТИ (состав входных параметров модели и формы связи между ними)

В состав модели НЛВ W включены несколько модулей нечеткого логического вывода – III, V, VI уровни модели. В соответствии с общими положениями теории нечетких множеств (ТНМ), каждый модуль НЛВ представлен совокупностью следующих элементов: а) вектор входных параметров; б) блок фаззификации; в) блок вывода; г) блок дефаззификации.

А. Вектор входных параметров модели содержит данные о состоянии объекта и/или о внешних воздействиях. Общий состав входных параметров для каждого из модулей НЛВ показан на рис. 1.

Б. Блок фаззификации обеспечивает преобразование входного вектора модели нечеткого логического вывода в вектор степеней принадлежности данных входных параметров заданным в модели нечетким терм-множествам M_n .

Для итоговой оценки W (VI уровень модели) вектор M_n может быть описан следующим образом:

$$M_W = \begin{bmatrix} \mu_{A_i}(q(u)) \\ \mu_{B_j}(C(u)) \\ \mu_{D_k}(T(u)) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\mu_{A_i}(q(u))$ – степень принадлежности параметра $q(u)$ нечеткому терм-множеству A_i , определенному на заданной числовой предметной области $q(u)$; $\mu_{B_j}(C(u))$ – степень принадлежности параметра $C(u)$ нечеткому терм-множеству B_j , определенному на заданной числовой предметной области $C(u)$; $\mu_{D_k}(T(u))$ – степень принадлежности параметра $T(u)$ нечеткому терм-множеству D_k , определенному на заданной числовой предметной области $T(u)$.

В реализации блока фаззификации для каждого модуля НЛВ были решены следующие задачи:

а) установлены приемлемые – по лингвистическому содержанию и по количественному составу – терм-множества;

б) задан вид функций принадлежности – симметричная гауссовая функция как форма интуитивной функции принадлежности, наиболее приемлемая на стадии построения экспертной системы [10];

в) приняты адекватные границы терм-множеств – исходя из актуальных ограничений функционирования системы и значимости факторов;

г) заданы параметры гауссовой функции (σ , c) – на начальной стадии моделирования были использованы средства экспертизы.

В решении указанных задач следует выделять две стадии формирования модели НЛВ W : а) стадия построения *экспертной системы*, в составе которой решение задач формулирования блока фаззификации осуществляется главным образом экспертом по нечеткому моделированию; б) стадия построения *адаптивной системы*, основанная на сформированной базе знаний о системе, при этом параметры блока фаззификации могут быть уточнены при помощи методов обучения модели.

В. Блок вывода формирует результирующую функцию принадлежности $\mu_{res}(y)$ выходного параметра модели. Основной задачей реализации блока вывода становится формирование базы правил, то есть необходимого и достаточного набора условий (нечетких импликаций), описанных в грамматической конструкции «ЕСЛИ ... (анцедент либо предикат), ТО ... (консеквент)».

Для построения базы правил приняты следующие предпосылки (П., С. 201):

а) база правил состоит из множества «простых» подусловий (R_i) вида:

$$R_i: \text{IF } (x=A_i) \text{ THEN } (y=B_i); \quad (4)$$

б) функция принадлежности заключения подусловий R_i устанавливается на основе оператора импликации Мамдани:

$$\begin{aligned} \mu_{R_i}(x, y) &= \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)) \\ R_i: A_i &\rightarrow B_i; \end{aligned} \quad (5)$$

с) определение общего вывода из m отдельных правил R_i (аккумуляция составляющих его заключений) и определение результирующей функции принадлежности $\mu_{res}(y)$ проводится с использованием оператора ИЛИ (\max):

$$\mu_{R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_m} = \max(\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(x, y), \dots, \mu_{R_m}(x, y)). \quad (6)$$

То есть в проводимом исследовании использован максиминный вывод. В процессе настройки модели возможно уточнение состава используемых операторов, то есть в случае, если максиминный вывод не обеспечивает требуемой точности модели, то перевод, например, на максимумпликативный вывод; в целом нужно отметить высокое значение адекватного выбора операторов в обеспечение точности модели в случае построения нечетко-множественных экспертных систем ([10, С.20]). Степень активизации функций принадлежности заключений R_i устанавливается посредством весовых коэффициентов ω_i ; значения ω_i определяются следующим порядком: на стадии построения экспертной системы – на основании сформированного экспертными методами вектора приоритетов входных параметров (выступающих в качестве анцедентов X_i); при реализации адаптивной системы – методами настройки параметров нечеткой модели.

Г. Блок дефаззификации $\mu_{res}(y)$ обеспечивает нахождение четкого значения выходного параметра y^* , которое наилучшим («рациональным») образом представляет нечеткое множество $B^*(y)$. В зависимости от критериев «рациональности» значения y^* могут быть задействованы различные методы дефаззификации – среднего максимума; первого / последнего максимума; центра тяжести; центра сумм; высот. В проводимом исследовании блок дефаззификации реализован центроидным методом:

$$y^* = \frac{\int y \mu_{res}(y) dy}{\int \mu_{res}(y) dy} \tag{7}$$

При данном методе в дефаззификации участвуют все активные правила, что обеспечивает достаточную чувствительность модели к изменению входных сигналов.

Таким образом, разработанные в рамках исследования содержание и структура модели НЛВ W, а также условия реализации НЛВ в оценке итогового показателя W и «промежуточных» параметров W могут служить методической основой комплексного исследования и управления в системе РПШТН на промышленном предприятии. Использование модели связано со значительными по объему и сложности вычислениями и требует адекватных программных средств ее реализации.

2.2. Условия разработки средств программной реализации модели НЛВ W. Основной предпосылкой разработки являются функциональные требования к разрабатываемому программному продукту: 1) обеспечение возможностей экспертной оценки входных параметров модели; 2) реализация разработанных условий НЛВ – по каждому модулю (III, V, VI уровни модели); 3) интеграция с информационной системой (ИС) учета хозяйственных средств и операций, обеспечивающая возможность актуализации входных параметров модели при реализации инновационного процесса; 4) комплексная визуализация результатов моделирования.

Исходя из названных требований были сформированы технические условия разработки и структура разрабатываемого программного продукта (ПП), схематично представленные на рис.2.

Программная реализация модели НЛВ W представлена несколькими модулями (в соответствии с уровнями самой модели), выполняемыми с использованием: а) платформы 1С:Предприятие 8.3; б) MS Excel; в) специализированной программы для ЭВМ для нечеткого моделирования.

Выбор используемых программных средств обусловлен следующими предпосылками.

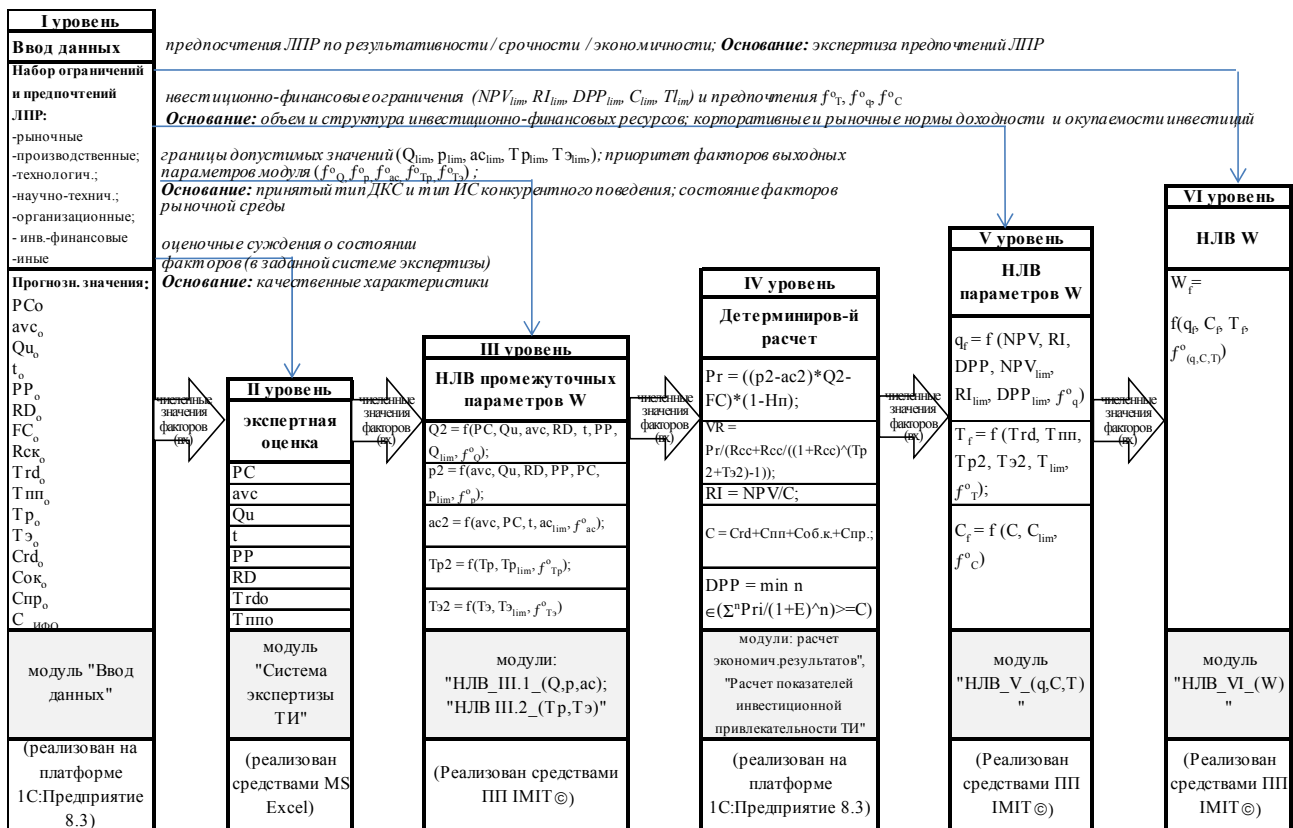


Рис. 2. Структурное описание программной реализации модели НЛВ W

А. Для организации *системы экспертизы ТИ* требуется набор методически корректных инструментов, обеспечивающих:

- сбор данных (проведение опроса и получение экспертных оценок);
- обработку данных (полученных экспертных оценок);
- построение результата (построение «группового мнения» – центроида системы векторов $x_1 \dots x_j \dots x_m$, где x – объекты оценивания, j – эксперты);
- анализ результата (оценку согласованности суждений экспертов для установления степени достоверности полученных результатов; математическая интерпретация достоверности экспертизы состоит в количественной оценке плотности распределения суждений экспертов через оценку дисперсионного коэффициента конкордации и проверку его на значимость, например, по квантилям распределения Пирсона).

В организации инструментов решения данных «типовых» задач необходимо обеспечить гибкость системы – возможность корректировки состава критериев оценивания. В этой связи в форме электронной таблицы MS Excel были реализованы следующие функции: 1) обоснование состава критериев экспертного оценивания факторов целевого эффекта ТИ и факторов, определяющих долговременность периода коммерциализации ТИ (Тр, Тэ); при решении данной задачи была предусмотрена техническая возможность корректировки состава критериев; 2) ранжирование факторов целевого эффекта ТИ (q); 3) количественная экспертная оценка каждого фактора q , а также факторов Тр, Тэ; 4) количественная экспертная оценка предпочтений ЛПР по факторам W (результативность / экономичность / срочность). Разработанный средствами MS Excel модуль «Системы экспертизы ТИ» полностью обеспечивает необходимые для выполнения указанных функций расчетные процедуры; также обеспечивается хорошая возможность экспорта получаемых данных со смежными программными модулями.

Б. Для организации программными средствами *нечеткой обработки данных* был проведен обзор известных на российском рынке программных продуктов класса Fuzzy Logic (FL): CubiCalc (HyperLogic's), FuziCalc (FuziWare), Бизнес – прогноз (Тора – Инфо – Центр (дистрибьютер)), NeuFuz и Fide (Aptronics), FuzzyTECH (Inform Software), Fuzzy Logic Toolbox (MatLab) и др. При высоком уровне проработанности существующих программных продуктов FL следует отметить некоторые функциональные ограничения в их использовании для целей проводимого исследования; при этом закрытый исходный программный код усложняет их адаптацию к решению задач проводимого исследования.

Исходя из критериев функционального и стоимостного характера, представляется обоснованным использование для программной реализации модели НЛВ W специализированной некоммерческой программы для ЭВМ – ИМТ©, – разработанной проф., д. ф.-м. н. В.А. Теневым. Данная программа для ЭВМ направлена на решение задач нечеткого моделирования и реализацию нечетко-когнитивного подхода к исследованию систем; основные положения о содержании и функциональных возможностях данного программного продукта изложены в работах [11; 12]. Программа имитационного нечеткого моделирования ИМТ© выполнена в среде разработки Delphi. ИМТ© реализует необходимые и достаточные функциональные возможности для программной реализации разрабатываемой модели НЛВ W (в части III, V, VI уровней модели), описанные в п.2 данной статьи: а) использование в блоке фазификации симметричных гауссовых функций при высоких возможностях настройки параметров функций принадлежности; б) реализация базы правил через простые подусловия и использование максиминного вывода на основе оператора импликации Мамдани; в) высокая возможность активизации подусловий через задание весовых коэффициентов, значения которых могут корректироваться через обучение модели; г) хорошие возможности настройки содержания создаваемых моделей и их исчерпывающее визуальное представление; д) интуитивно доступный пользовательский интерфейс; е) простая организация экспорта / импорта данных; ж) высокая чувствительность создаваемых средствами ИМТ© моделей к изменению входных параметров, обеспечиваемая, в том числе, использованием в блоке дефазификации центроидного метода; е) высокие возможности настройки параметров модели через ее «обучение». Долговременная практика использования ИМТ© в моделировании технических систем показала высокую валидность результатов; о надежности и достоверности результатов свидетельствуют также результаты экспериментального использования ИМТ© в рамках проводимого исследования.

Использование ПП ИМТ© сопряжено с некоторыми ограничениями: поскольку средствами данного ПП могут быть реализованы только функции нечеткого моделирования, то для выполнения функций детерминированных экономических расчетов, а также формирования и использования необходимой базы данных о факторах модели НЛВ W (совместимая с ИС управленческого учета на

предприятии) потребовалась дополнительная программная разработка, которая была реализована средствами технологической платформы 1С:Предприятие 8.3.

В. Использование программных средств технологической платформы 1С: Предприятие 8.3 направлено на реализацию следующих функций: хранение данных; обмен данными с программными модулями, реализующими II, III, V, VI уровни модели НЛВ W; детерминированная обработка данных (IV уровень модели НЛВ W). Данная программная разработка представляет собой «оболочку», объединяющую программные модули модели НЛВ W.

Использование технологической платформы 1С:Предприятие 8.3 обусловлено следующими предпосылками: возможность интеграции разрабатываемого ПП с ИС бухгалтерского (управленческого) учета на предприятии, это позволит проводить актуализацию данных при использовании модели НЛВ W на протяжении всего ЖЦ ТИ; высокие программные возможности хранения, детерминированной обработки и экспорта / импорта данных со связанными программными модулями; хорошие возможности визуального представления результатов обработки данных.

Поскольку программные модули, входящие в состав модели НЛВ W, осуществляются последовательно, то для настройки графического интерфейса пользователя была использована интерактивная функция «Мастер»; соответственно, пользовательский интерфейс представлен последовательностью диалоговых окон, каждое из которых обеспечивает решение определенной задачи в соответствии с общим алгоритмом программной реализации модели НЛВ W (рис. 2). Разработанный ПП «Мастер ИМТ: эффективность технологических инноваций» позволяет реализовать модель НЛВ W в следующем порядке.

Шаг 1: ввод данных – вводятся численные значения входных параметров, интервальные диапазоны оцениваемых промежуточных параметров W.

Шаг 2: проведение экспертной оценки входных параметров и приоритета предпочтений ЛПР.

Шаг 3: реализация НЛВ в оценке промежуточных параметров W – вводятся границы допустимых значений оцениваемых (выходных для данного модуля) параметров, уточняются параметры функций принадлежности, устанавливаются весовые коэффициенты для активизации подусловий базы правил НЛВ.

Шаг 4: реализация детерминированных расчетов экономических показателей.

Шаг 5: реализация НЛВ в оценке параметров W – вводятся границы допустимых значений входных (для данного модуля) параметров, уточняются параметры функций принадлежности, устанавливаются весовые коэффициенты для активизации подусловий базы правил НЛВ.

Шаг 6: реализация НЛВ в оценке W – уточняются параметры функций принадлежности, устанавливаются весовые коэффициенты для активизации подусловий базы правил НЛВ.

В реализации описанной процедуры необходимо участие как эксперта по исследуемой системе, обладающего исчерпывающим знанием о системе и способного составить корректное ее вербальное описание и интерпретацию получаемых результатов, так и эксперта по нечеткому моделированию, обеспечивающего реализацию модели средствами нечеткой логики.

Составленный в рамках исследования ПП реализации модели НЛВ W позволяет получить качественные (в форме лингвистических характеристик) и количественные (в баллах) оценки; при этом следует принимать во внимание, что балльная оценка W имеет относительный (не абсолютный) характер, то есть может быть использована в рамках конкретной исследуемой организационной системы как сравнительная характеристика оцениваемых альтернатив.

Модель НЛВ W обеспечивает развернутую многофакторную оценку эффективности ТИ. Содержащийся в разработанном ПП «Мастер ИМТ: эффективность технологических инноваций» инструмент визуализации позволяет представить численные значения исследуемых факторов в их взаимосвязи. Таким образом, создаются предпосылки к использованию ПП в качестве управленческого инструмента, позволяющего исследовать влияние каждого из факторов при формировании эффективной стратегии в системе РППТН.

2.3. Численная реализация модели НЛВ W. Оценка эффективности ТИ как сравнительной характеристики исследуемых альтернатив в управлении инновационными процессами в системе РППТН проводилась в описанной выше модели НЛВ W средствами разработанного ПП «Мастер ИМТ: эффективность технологических инноваций».

1. Постановка задачи исследования. Исследование проводилось для сопоставления по критерию W двух альтернативных вариантов инновационной стратегии. *Первый вариант* основан на собственных НИОКТР и организации небольшого технологически простого производства продукции,

пользующейся стабильным рыночным спросом. Данный проект характеризуется невысокими инвестициями, существенной производственной экономичностью (обеспечивающей ценовое лидерство на товарном рынке). В то же время масштабы проекта (по уровню РС) невысокие, существуют ограничения по уровню качества производства Q_u и производственной технологичности t . *Второй вариант* связан с приобретением готовой технологии и создании на этой основе производства продукции, имеющей уникальные технические характеристики. Для проекта характерны высокие инвестиции, более существенный (по уровню РС) масштаб производства, высокие уровни показателей Q_u и avc . В то же время экспертами отмечается существенная неопределенность в достижении проектируемых параметров производства и в условиях рыночного оборота продукции.

Предварительные оценки. На основании имеющейся по каждому из рассматриваемых вариантов технологической схемы были рассчитаны количественные характеристики – РС, avc , FC, C_{rd}, C_{пп}; на основании результатов эксперимента определены характеристики Q_u ; составлен прогноз по T_{rd}, T_{пп}; заданы инвестиционно-финансовые условия реализации ТИ (R_{ск}, C_ИФО), определены инвестиционные предпочтения; составлены в интервальной оценке прогнозы по допустимой продолжительности рыночного оборота продукции, ценовым и объемным характеристикам продаж; определены предпочтения ЛПП – экономичность.

II. Оценки в модели НЛВ W. В рамках модели НЛВ W была составлена оценка W по каждой альтернативе.

На первом этапе проведено экспертное оценивание факторов целевого эффекта, а также T_p, T_э. Экспертные оценки по каждому из факторов целевого эффекта заложены в качестве входных параметров на III уровне модели. Ранжирование факторов позволило составить вектор приоритетов по факторам целевого эффекта, который был использован при установлении весовых коэффициентов ω_i , определяющих степень активизации подусловий базы правил, а также при установлении параметров функций принадлежности. Ранжирование факторов проводилось в контексте деловой конкурентной стратегии, исходно заданной для каждой оцениваемой альтернативы.

Экспертиза предпочтений ЛПП в инвестиционно-финансовом аспекте позволила выявить соотношение (по значимости) показателей экономической эффективности инвестиций в проект ТИ и на этой основе сформировать правила вывода q_f через соответствующие весовые коэффициенты ω_i , а также уточнить параметры фаззификации входов. Для фаззификации входов также были составлены оценки диапазонов используемых терм-множеств; данные оценки основывались на имеющихся данных о состоянии (по объему и структуре) доступных инвестиционно-финансовых ресурсах и проводились в контексте актуальной для предприятия финансовой стратегии. Аналогичный подход был использован и при формировании вычислительного аппарата нечеткого логического вывода по параметрам C_f и T_f.

На VI уровне модели были использованы результаты экспертизы предпочтений ЛПП по результативности / экономичности / срочности; оценка предпочтений в данном случае позволила сформировать вектор приоритетов, свидетельствующий об очевидной значимости фактора S:

$$P = \begin{vmatrix} q \\ C \\ T \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 \\ 5 \\ 2 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Полученные значения были использованы для активизации подусловий базы правил вывода $\mu_{R_i}(W)$, а также при установлении условий фаззификации входов – q_f , C_f, T_f (модуль VI).

Результаты оценки эффективности в модели НЛВ W, реализованной в ПП «Мастер ИМТ: эффективность технологических инноваций», представлены заложенными в данном ПП средствами визуализации (рис. 3).

Использование модели НЛВ W проводилось в несколько итераций – с последовательным уточнением входных параметров и характера связей между ними с соответствующей корректировкой содержания инновационной стратегии. Приведенные на рис. 3 итоговые результаты сравнительной характеристики альтернатив в модели НЛВ W позволяют составить комплексное представление об уровне и характере влияния широкого круга факторов при рассмотрении этих факторов как в количественных, так и в нечетких интервальных и лингвистических оценках в стратегическом контексте. Анализируя приведенные результаты численной реализации модели НЛВ W, можно отметить, с одной стороны, альтернатива 2 обеспечивает более высокие оценки инвестиционной привлекательности, однако установленные со стороны ЛПП предпочтения – по экономичности – обусловили более высокий уровень W по альтернативе 1, то есть в условиях существующих инвестиционно-финансовых ограничений, аль-

тернатива 1 становится более выигрышной, так как снижает угрозы недостаточного финансирования и / или финансовой неустойчивости предприятия. При этом данная альтернатива характеризуется достаточным уровнем результативности и долговременности.

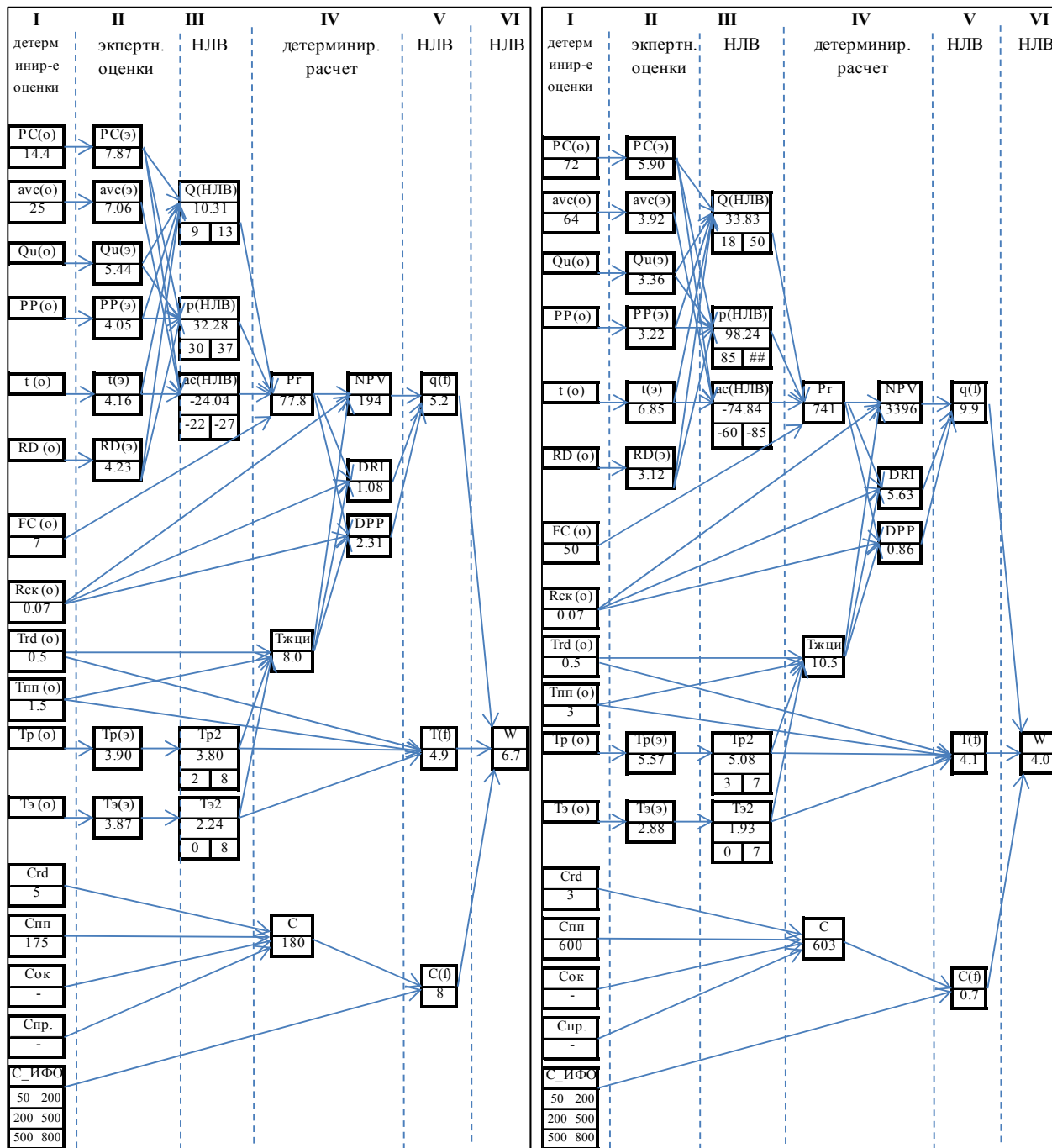


Рис. 3. Результаты оценки эффективности в модели НЛВ W, реализованной в ПП «Мастер ИМТ: эффективность технологических инноваций» (по вариантам разрабатываемой стратегии)

Использование модели НЛВ W формирует предпосылки к обеспечению комплексности, транспарентности, согласованности используемой информации, а также результатов оценки W. Таким образом, раскрываются и уточняются мотивы принятия решений по формированию инновационной стратегии технологического развития на производственном промышленном предприятии.

Выводы

Проблема существенной неопределенности в управлении инновационными процессами может найти свое решение в корректном применении методов ТНМ. Методология нечеткого моделирования позволяет формировать имитационные модели исследуемых систем на основании, в том числе, ментальных знаний ЛПР и экспертов и обеспечивает перевод применяемых в человеческом мышлении вербальных нечетких оценок на пригодные для машинной обработки языковые средства математики. Это создает предпосылки к обработке больших массивов данных и построению сложных многофакторных моделей, интегрирующих детерминированные, стохастические, экспертные знания о системе и ее окружении. Использование методов нечеткого моделирования в оценке эффективности ТИ как критерия управленческих решений позволяет сформировать оценочные суждения об уровне эффективности на основе соизмерения ключевых параметров управления ТИ – целевого эффекта, производственных инвестиций, срока ЖЦ ТИ. При этом становится возможным расширенное представление каждого из этих параметров и соотношений между ними в стратегическом контексте, исходя из предпочтений ЛПР и ограничений функционирования системы. Построение моделей НЛВ W дополняет методологию инвестиционной оценки ТИ: помимо финансово-экономических аспектов управления ТИ модели НЛВ W позволяют раскрывать стратегически значимые условия управления с учетом актуальных предпочтений и ограничений, обеспечивают обоснование ключевых технико-экономических параметров ТИ. Для получения корректного результата оценки эффективности в модели НЛВ W требуется, с одной стороны, использование научно обоснованных представлений о содержании инновационного процесса и его движущих силах, с другой стороны, правильное использование вычислительного аппарата.

В этой связи в рамках исследования были разработаны: структура модели НЛВ W; условия формирования параметров нечеткого моделирования при фазификации, выводе, дефазификации; система экспертного оценивания факторов модели, имеющих субъективный характер.

Поскольку применение нечетко-множественных моделей сопряжено со значительными по объему и сложности вычислениями, для их практического применения, как правило, требуется адекватный инструментарий. В ходе исследования был разработан ПП, обеспечивающий экспертизу факторов, имеющих субъективный характер, нечетко-множественную обработку факторов модели, детерминированные расчеты, развернутую визуализацию результатов исследования.

Практическая апробация разработанных методов и инструментов показала практическую значимость модели НЛВ W и программных средств ее реализации, а также высокую валидность получаемых результатов. Модель НЛВ W формирует основу развернутого комплексного анализа условий технологического развития предприятия, позволяет выявить значимые факторы управления и сформировать содержание эффективной инновационной стратегии РППТН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портер М. Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. 2-е изд. / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 715 с.
2. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. СПб.: Питер Ком, 1999. 416 с.
3. Друкер П. Задачи менеджмента в XXI веке / пер. с англ. и ред. Н. М. Макаровой. М.: Вильямс, 2003.
4. Санто Б. Инновация как средство экономического развития. М.: Прогресс, 1991. 255 с.
5. Твисс Б. Управление нововведениями / Б. Твисс. М.: Экономика, 2009. 272 с.
6. Frank H. Knight. The Meaning of Risk and Uncertainty. In: F.Knight. Risk, Uncertainty, and Profit. Boston: Houghton Mifflin Co, 1921. P.210-235.
7. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982.
8. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1988. (в пер.). Т. 3: Эффективность технических систем / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. 328 с.
9. Шаталова О.М. О функции соответствия в измерении эффективности технологических инноваций с научных позиций системного подхода // Вестн. ИжГТУ. 2016. №1. С.40-42.
10. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. 2-е изд. / пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.
11. Тененев В.А., Паклин Н.Б. Нечетко-когнитивный подход к управлению динамическими системами // Искусственный интеллект. 2003. № 4. С. 342-349.
12. Тененев В.А., Якимович Б.А. Генетические алгоритмы в моделировании систем: монография. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2010. 308 с.

Шаталова Ольга Михайловна, кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 4)
E-mail: oshatalova@mail.ru

O.M. Shatalova

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS BY FUZZY MODELING METHODS: THE CONTENT OF THE MODEL AND THE CONDITIONS FOR SOFTWARE IMPLEMENTATION

DOI: 10.35634/2412-9593-2019-29-5-609-620

The article is devoted to the development of methods and instruments for solving the problem of non-stochastic uncertainty in the management of technological innovations. In this regard, the methodology of fuzzy-multiple modeling of systems is considered. It allows you to take into account both deterministic and stochastic data, as well as mental knowledge of the system on the part of decision makers, presented in the lexical description and based on fuzzy evaluation mechanism. The construction of fuzzy-multiple models is aimed at reproducing the logic of decision making and is based on the use of intelligent methods of information processing, including those presented in fuzzy and verbal characteristics, by mathematical language means, which can be transferred to machine processing. The basis of the study is the provision on the vector form of the efficiency indicator and the implementation of the correspondence function between the basic parameters of efficiency through fuzzy inference. The article describes the developed basic conditions for simulation of fuzzy-multiple modeling in assessing the effectiveness of technological innovation management systems - the structure of the model and methods for its construction; presents the means of software implementation of a simulation fuzzy-plural model developed in accordance with these conditions and the results of its practical testing. The developed conditions of fuzzy-multiple modeling in assessing the effectiveness of technological innovations form the basis of a comprehensive analysis of the conditions of technological development of the enterprise, allow to identify significant management factors and form the content of an effective innovative strategy for the technological development of the enterprise; the fuzzy model itself can be considered as a platform for the integration of deterministic, stochastic, expert knowledge of the system.

Keywords: technological innovations, effectiveness, uncertainty, fuzzy modeling, systems approach.

Received 17.09.2019

Shatalova O.M., Candidate of Economics, Associate Professor
Udmurt State University
Universitetskaya st., 1/4, Izhevsk, Russia, 426034
E-mail: oshatalova@mail.ru