

## **МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**Никифорова С.В.<sup>1</sup>, Губернаторов А.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Владимирский филиал Финуниверситета, Владимир, Россия (600037, г. Владимир, ул. Тихонравова, 1) e-mail: niki\_sv@mail.ru*

---

Появление в последнее время методов моделирования, основанных на теории нечеткой логики, позволяет поднять уровень прогнозирования процессов инновационного развития на качественно новую ступень. Это позволит значительно усилить эффективность деятельности экономистов по прогнозированию тех или иных экономических процессов. В связи с этим по данной проблеме в статье проведены исследования, предусматривающие применение новейших методов моделирования для прогнозирования инновационных процессов. Данные методы являются актуальными и перспективными. Представленная статья посвящена формированию методологии информационного обеспечения механизма прогнозирования уровня инновационного развития экономических систем. Основой методологии послужила концепция теории нечеткой логики и ее модели прогнозирования. Программная реализация модели прогнозирования инновационного развития осуществлена в среде MATLAB. Нечеткое моделирование в среде MATLAB осуществляется с использованием расширения Fuzzy Logic Toolbox, в котором реализованы десятки функций нечеткого вывода и нечеткой логики. Выводы и конкретные рекомендации при принятии инновационных решений были апробированы и внедрены в практику конкретной отрасли экономики (стекольной отрасли).

---

Ключевые слова: инновации, инновационное развитие, инновационная среда, теория нечеткой логики, стекольная отрасль

## **METHODOLOGY INFORMATION SECURITY MECHANISM OF FORECASTING LEVEL OF INNOVATIVE DEVELOPMENT BRANCH COMPLEXES BASED ON THE CONCEPT FUZZY LOGIC**

**Nikiforova S.V.<sup>1</sup>, Gubernatorov A.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Vladimir branch Finuniversiteta, Vladimir, Russia (600037, Vladimir, ul. Tikhonravov 1) e-mail: niki\_sv@mail.ru*

---

The recent emergence of modeling techniques based on the theory of fuzzy logic, allows you to raise the level of prediction of innovative development processes to a new level. This will greatly enhance the effectiveness of the economists forecasting of certain economic processes. In this connection, the study carried out in an article on the issue, providing for the use of advanced modeling techniques to predict the innovation processes are relevant and promising. The presented paper is devoted to the formation of the methodology of information security mechanisms predict the level of innovation development of economic systems. The basis of the methodology was the concept of the theory of fuzzy logic and its forecasting model. Software implementation of predictive models of innovation development implemented in the environment of MATLAB. Fuzzy modeling in MATLAB is done using extensions Fuzzy Logic Toolbox, which carried dozens of functions of fuzzy inference and fuzzy logic. Conclusions and specific recommendations when making innovative solutions have been tested and put into practice a particular sector of the economy (glass industry).

---

Keywords: innovation, innovative development, innovative environment, the theory of fuzzy logic, the glass industry.

Принятие решений об инновационном развитии отраслевого комплекса осуществляется в условиях неопределенности, обусловленной неточностью или неполнотой входных данных, стохастической природой внешних воздействий, отсутствием адекватной математической модели функционирования, нечеткостью цели, человеческим фактором и др. Классические методы оценки уровня инновационного развития, такие как: матричный, корреляционно-регрессионный, ранговый и другие эвристические методы, терпят фиаско, поскольку не свободны от влияния субъективных факторов. В связи с этим разработка и

доказательство объективности модели прогнозирования уровня инновационного развития отрасли, объясняющей сущность взаимодействия факторов в инновационной среде, являются приоритетным направлением в вопросе перехода отраслевого комплекса к новому технологическому укладу, и концепция нечеткой логики должна стать базой для моделирования инновационного развития.

Анализ факторов, влияющих на уровень инновационного развития отрасли, позволяет спрогнозировать динамику колебаний соотношения различных показателей.

Математическим аппаратом модели прогнозирования является теория нечеткой логики, позволяющая формализовать причинно-следственные связи между входными и выходными переменными. Эти связи определяются с помощью специалистов (экспертов) в данной области знаний и составляют базу знаний в модели прогнозирования. На основе созданной таким способом базы знаний предлагается осуществлять моделирование и прогнозирование уровня инновационного развития отрасли.

Построение модели прогнозирования уровня инновационного развития отрасли на основе нечеткой логики целесообразно осуществлять на основе следующих принципов [1]:

1) принципа лингвистичности переменных модели (определенные входящие и исходящие параметры модели рассматриваются как лингвистические качественные переменные);

2) принципа лингвистичности высказываний (выводов) при принятии конкретных решений. Причинно-следственные связи между входящими и исходящими параметрами модели описываются словестно (вербально), а затем формализуются в виде совокупности нечетких логических высказываний (выводов) типа: «если – то», «иначе» и т. п.;

3) принципа иерархичности лингвистических высказываний (заключений);

4) классификации входящих переменных (параметров) модели и построения «дерева» вывода, которое является системой вложенных друг в друга высказываний (выводов, знаний) экспертов «меньшей размерности». Это позволяет избежать трудностей, связанных с анализом и формализацией большого количества входных переменных (параметров). Соблюдение этого принципа позволяет учитывать практически неограниченное количество входных переменных, влияющих на формирование инновационного потенциала отрасли.

Таким образом, построение модели прогнозирования уровня инновационного развития отрасли на основе использования теории нечеткой логики можно свести к таким этапам, как [2]:

1) определение четких и нечетких входящих переменных (параметров) модели или получения лингвистических высказываний (заключений) экспертов;

2) построение дерева вывода;

- 3) определение границы изменения входящих переменных (параметров);
- 4) оценки лингвистических высказываний экспертов, которые принимаются за входящие переменные (параметры) модели;
- 5) создание базы знаний;
- 6) формализация базы знаний в виде нечетких логических высказываний (выводов);
- 7) построение системы нечетких логических уравнений;
- 8) выбор метода построения функций принадлежности, которые обеспечат представление количественных и качественных переменных (параметров) в виде нечетких множеств для лингвистических термов, входящих в базу знаний [4].

В нечеткой базе знаний каждая строка является нечетким правилом, которое представляет собой высказывание типа «если — то». Нечеткие правила, имеющие одинаковый исходящий параметр, объединяются между собой в уравнение с помощью слова «и».

Для получения нечеткого логического выражения (заключения) необходимо осуществить переход от лингвистических высказываний в нечеткие логические уравнения. Результатом решения системы нечетких логических уравнений является нечеткий логический вывод (совокупность значений функций принадлежности исходящего параметра модели). Переход от полученной совокупности значений функций принадлежности к значению прогнозного выходного параметра осуществляется с помощью операции дефазификации. Дефазификация представляет собой обратное преобразование найденного нечеткого логического выражения (заключения) в выходной прогнозный параметр (переменную), подлежащий моделированию и прогнозированию.

Рассмотрим процесс построения нечетких высказываний и определение уровня инновационного развития на примере.

Обозначим все входящие переменные следующим образом:

$Z = fz(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  – профессионально-квалификационный потенциал;

$M = fm(x_6, x_7, x_8)$  – состояние финансового потенциала;

$N = fn(x_9, x_{10}, x_{11})$  – состояние интеллектуального потенциала;

$Y = fy(x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15})$  – состояние информационной среды;

$W = fw(x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19})$  – состояние инфраструктуры;

$V = fv(x_{20}, x_{21}, x_{22})$  – состояние производственной среды;

$L = fl(x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26})$  – управление производственным процессом;

$H = fh(x_{27}, x_{28})$  – состояние ресурсного потенциала;

$T = ft(x_{29})$  – период прогнозирования;

$D = fd(z, \dots, t)$  – прогнозируемый уровень инновационного развития отрасли.

На рисунке 1 представлен граф структуры модели прогнозирования уровня инновационного развития, в котором показывается зависимость между входящими и выходным показателем модели. Для упрощения процесса построения модели сведем дополнительные обобщенные лингвистические исходные параметры.

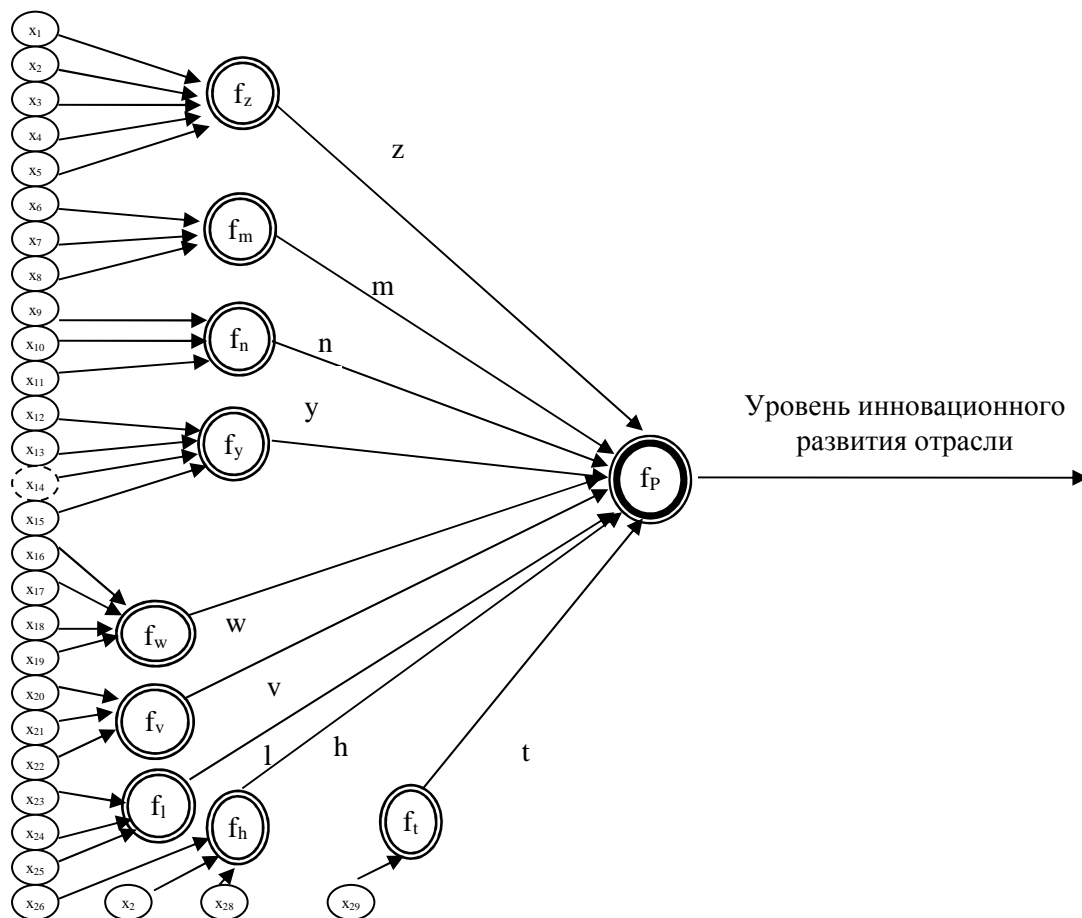


Рис. 1. Дерево логического вывода оценки уровня инновационного развития отрасли

При построении модели прогнозирования уровня инновационного развития отрасли будем использовать входные количественные и входные качественные одновременно для описания входных параметров  $\{x_1 \dots x_4, x_6 \dots x_{11}\}$ , которые являются количественными, могут использоваться официальные статистические данные, для описания других входных параметров, кроме  $\{x_{29}\}$ , которые являются качественными, можно использовать условную балльную шкалу оценок от «0» до «100» баллов. Для входной переменной  $x_{23}$  введем термы 1, 2, 3 года соответственно периодам прогнозирования.

Таким образом, полученная структура модели оценки уровня инновационного развития отрасли показывает, что эта модель фактически содержит в себе восемь моделей:

- 1) модель зависимости уровня инновационного развития от уровня квалификационных факторов;
- 2) модель зависимости уровня инновационного развития от финансовых показателей;

3) модель зависимости уровня инновационного развития от состояния информационной среды;

4) модель зависимости от производственных условий;

5) модель зависимости от состояния инфраструктуры;

6) модель зависимости от управленческих воздействий;

7) модель зависимости от ресурсного потенциала;

8) модель зависимости от интеллектуального потенциала.

В таблице 1 приведены термы, используемые для лингвистической оценки этих переменных, их диапазонов.

**Таблица 1**

**Входные переменные модели и их лингвистическая оценка**

З.	Показатели	Значения	Термы
1	2	3	4
X <sub>1</sub>	Профессиональное продвижение	0...100	очень низкий ( <b>ДН</b> ); средний ( <b>С</b> ); стабильный ( <b>СТ</b> ); выше среднего ( <b>ВС</b> ); высокий ( <b>В</b> ).
X <sub>29</sub>	Прогноз	1...1000 дней	1 год ( <b>1Д</b> ); 2 года ( <b>2Д</b> ); 3 года ( <b>3Д</b> ).

Для оценки значений обобщенных исходных параметров {Z, M, N, Y, W, V} будем использовать шкалу оценок от «0» до «100» баллов. Для переменной «прогнозирование» X<sub>29</sub> введем термы, соответствующие диапазонам составления прогноза: 1–3 года (краткосрочное прогнозирование). При этом введем следующие обозначения: низкий (Н), ниже среднего (НС), средний (С), выше среднего (ВС), высокий (В) уровень обобщенного исходящего параметра. Определяем также характерные уровни изменения главного исходящего параметра D, подлежащего прогнозированию. Возможные значения уровня инновационного развития обозначим следующими уровнями: d1 – уровень инновационного развития выше среднего (80–100%), d2 – средний уровень инновационного развития (67–80%), d3 – уровень инновационного развития ниже среднего (37–67%), d4 – низкий уровень инновационного развития (20–37%), d5 – абсолютное отсутствие инноваций (0–20%). Приведенные уровни будем считать качественными характеристиками, которые определяют изменение уровня инновационного развития.

Рассмотрим базу знаний и нечеткие логические высказывания.

Входные переменные: fz — уровень профессионально-квалификационного потенциала (Н, НС, С, ВС, В); fm – состояние финансового потенциала (Н, НС, С, ВС, В); fn — уровень интеллектуального потенциала (Н, НС, С, ВС, В); fy — уровень производственных параметров (Н, НС, С, ВС, В); fw – состояние инфраструктуры (Н, НС, С, ВС, В); fv – состояние производственной среды (Н, НС, С, ВС, В); fl – состояние производственных процессов (Н, НС, С, ВС, В); fh – состояние ресурсного потенциала (Н, НС, С, ВС, В); t —

уровень периода прогнозирования (1М, 2М, 3М). Входные переменные при формировании правил системы нечеткого вывода связаны функцией конъюнкции (нечеткое логическое И).

Выходная переменная:  $d$  — уровень инновационного развития отрасли ( $d_1$  – уровень инновационного развития выше среднего,  $d_2$  — средний уровень инновационного развития,  $d_3$  – уровень инновационного развития ниже среднего,  $d_4$  – низкий уровень инновационного развития,  $d_5$  – абсолютное отсутствие инноваций).

**Таблица 2**

Правила системы нечеткого вывода  $d$

	fz	fm	fn	fy	fw	fv	fl	fh	t		d
Если	НС	НС	НС	НС	НС	НС	Н	С	2Д	то	$d_1$
Если	С	С	С	С	С	С	ВС	Н	3Д	то	$d_1$
Если	Н	Н	Н	Н	Н	Н	С	НС	1Д	то	$d_1$
Если	С	С	С	С	С	С	С	С	3Д	то	$d_2$
Если	ВС	НС	НС	ВС	НС	НС	ВС	ВС	2Д	то	$d_2$
Если	НС	В	В	НС	В	В	В	ВС	1Д	то	$d_2$
Если	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС	С	НС	1Д	то	$d_3$
Если	ВС	С	С	ВС	С	С	С	С	3Д	то	$d_3$
Если	С	В	В	С	В	В	НС	ВС	2Д	то	$d_3$
Если	ВС	В	В	ВС	В	В	С	ВС	1Д	то	$d_4$
Если	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС	ВС	НС	С	2Д	то	$d_4$
Если	В	С	С	В	С	С	Н	НС	3Д	то	$d_4$
Если	В	В	В	В	В	В	НС	В	1Д	то	$d_5$
Если	В	С	С	В	С	С	Н	С	3Д	то	$d_5$
Если	В	В	В	В	В	В	Н	ВС	2Д	то	$d_5$

Сформируем нечеткие логические выражения:

ЕСЛИ  $[z = \text{НС}]$  и  $[y = \text{НС}]$  и ... и  $[t = 1\text{Д}]$  ТО  $d = d_1$ .

ЕСЛИ  $[z = \text{С}]$  ... и  $[t = 3\text{М}]$  И  $[z = \text{ВС}]$  и  $[y = \text{НС}]$  и ... и  $[t = 1\text{Д}]$  ТО  $d = d_2$ .

ЕСЛИ  $[z = \text{ВС}]$  и ... и  $[t = 2\text{Д}]$  ТО  $d = d_3$ .

ЕСЛИ  $[z = \text{ВС}]$  и  $[y = \text{В}]$  и ... и  $[t = 3\text{Д}]$  ТО  $d = d_4$ .

ЕСЛИ  $[z = \text{В}]$  и ... и  $[t = 2\text{Д}]$  ТО  $d = d_5$ .

Программная реализация модели прогнозирования осуществлена в среде MATLAB. Нечеткое моделирование в среде MATLAB осуществляется с использованием расширения Fuzzy Logic Toolbox, в котором реализованы десятки функций нечеткого вывода и нечеткой логики (рис. 2, 3) [3, 5].

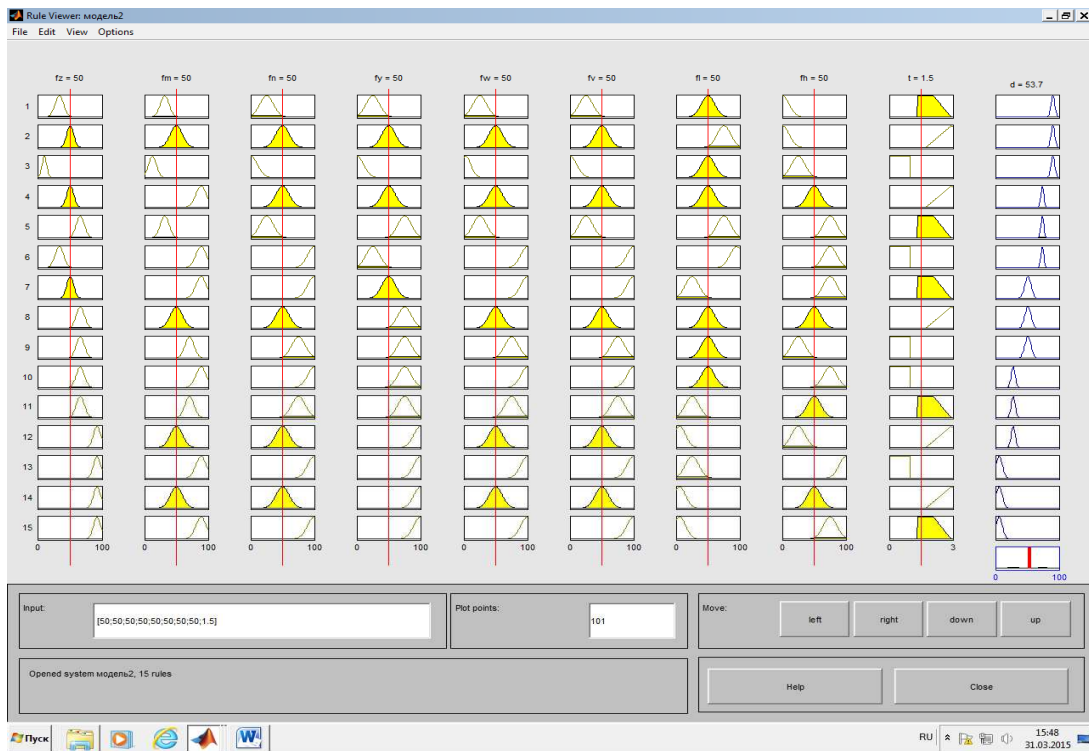


Рис.2. Результат дефазификации выходной переменной  $d$

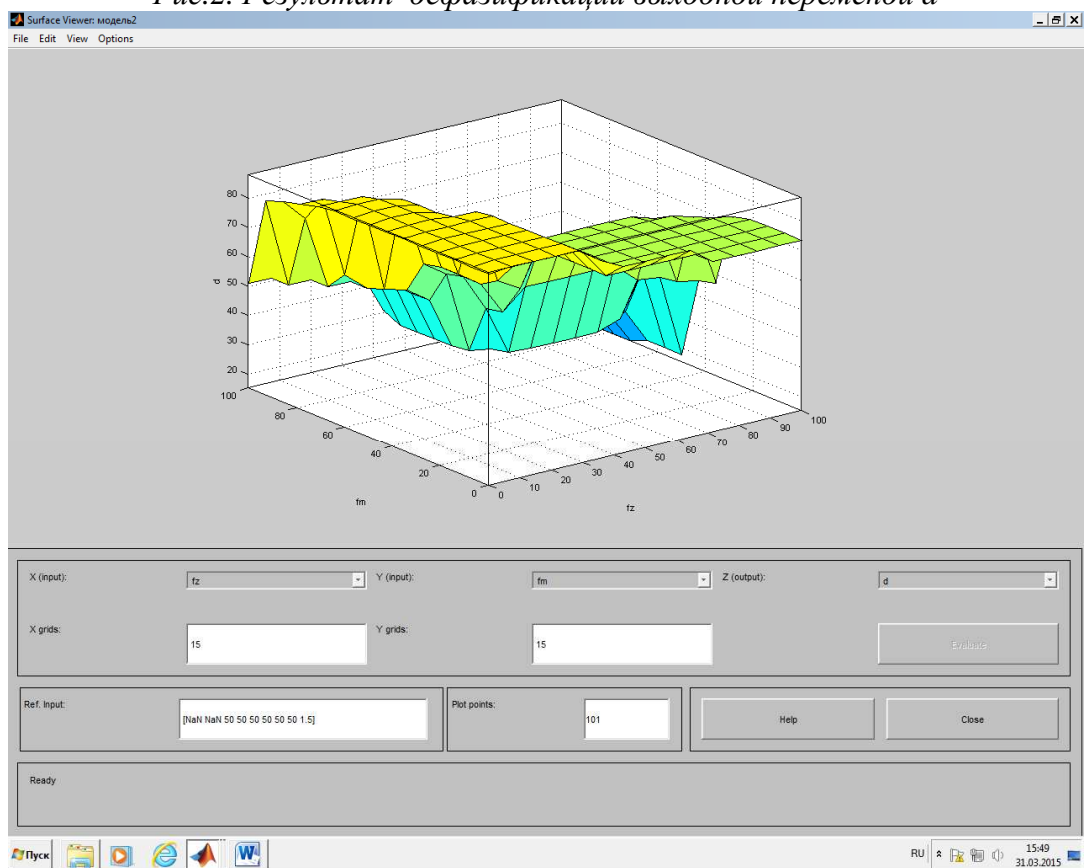


Рис. 3. Графическое представление результатов дефазификации выходной переменной  $d$

Разработанная система является иерархической.

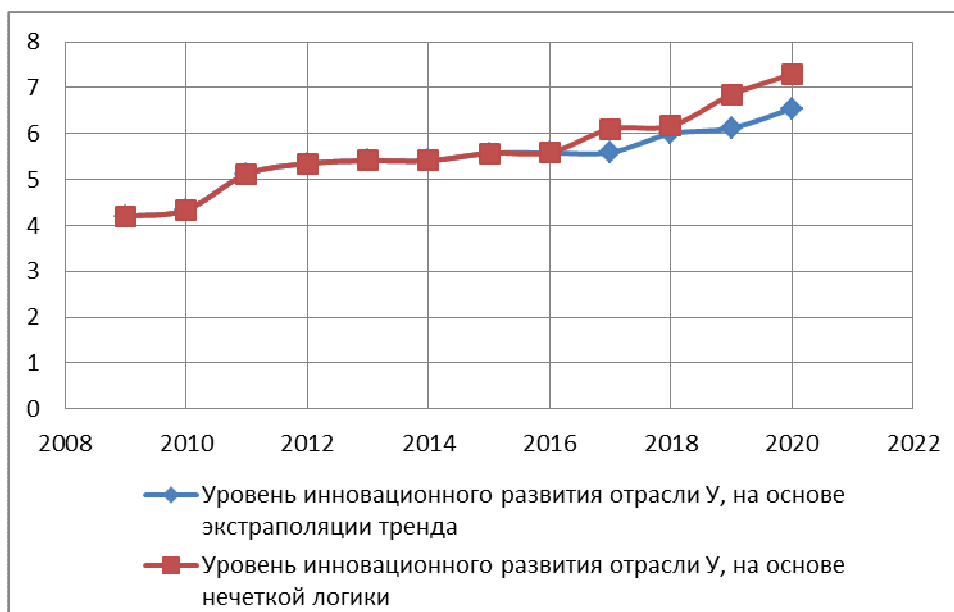
К сожалению, расширение Fuzzy Logic Toolbox, которое отвечает за нечеткое моделирование, не может одновременно проводить операции фазификации и дефазификации. Нечеткий вывод выполняется для промежуточных переменных с

последующей передачей четких значений этих переменных в нечеткие системы следующего уровня иерархии. Поэтому над каждым промежуточными значениями выполняются операции фазификации и дефазификации.

Разработанная модель прогнозирования уровня инновационного развития отрасли позволяет с достаточной достоверностью прогнозировать динамику при известных статистических и экспертных значениях входных параметров. Модель прогнозирования является универсальной и может быть адаптирована к различным отраслям. При накоплении базы знаний, т. е. зависимости выходных характеристик от входных переменных, модель будет работать в режиме реального времени, постоянно «самообучаться» и повышать достоверность сделанных прогнозов.

Выяснено, что модель прогнозирования имеет достаточно большую степень достоверности – уровень погрешности составляет чуть менее 3%.

На рисунке 4 представлено сравнение реального и прогнозного значений уровня инновационного развития отрасли.



*Рис. 4. Фактические и прогнозные значения показателя уровня инновационного развития отрасли, полученные на основе экстраполяции линии тренда и прогноза на основе нечеткой логики*

## **Выводы**

Введение разработанной модели оценки и прогнозирования уровня инновационного развития должно обеспечить адекватное управление инновационными процессами в данной стратегически важной отрасли экономики. Кроме того, указанная модель может рассматриваться как типичная для приведенного класса объектов, а разработанная на ее базе методология моделирования может применяться для других экономических систем,



характеризующихся нечеткой связью между входными и выходными параметрами, трудностями формализации факторов влияния. Есть возможность привлечения экспертных знаний для построения модели.

Использование инструмента нечеткой логики при построении прогнозов развития отрасли должно стать составной частью общей методологии управления инновационным развитием.

### Список литературы

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде пакета MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.
2. Резник А. М. Информационный анализ результатов финансового прогнозирования с использованием классификатора со случайными подпространствами / Жора Д. В., Дорошенко А. Е. // Математические машины и системы. – 2005. – № 1. – С. 39–59
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. Grzegorzewski, Mrowkam.E, Trapezoidal approximation of fuzzy numbers - revisited, Fuzzy Sets and Systems, 158 (2007) 757–768.
5. Ying-Shen Juang, Shui-Shun Lin & Hsing-Pei Kao (2007), «Design and Implementation of a fuzzy inference system for supporting customer requirements», Expert Systems with Applications 32, pp. 868–878.

### Рецензенты:

Корецкая Л.К., д.э.н., профессор, профессор кафедры «Экономика и финансы» Владимирского филиала Финуниверситета, г. Владимир;

Тесленко И.Б., д.э.н., зав. кафедрой «Бизнес-информатика и экономика», профессор, ВлГУ, г. Владимир.