

УДК 510

¹ В.Г. Чаплыгин, ² Ш.И. Алибеков

¹ Высшая банковская школа Гданьска, Польша, г. Гданьск, email: vchaplygin@wsb.gda.pl

² Северо-Кавказский институт Всероссийского государственного университета юстиции (РПА Минюста России), Республика Дагестан, г. Махачкала, email: shahizin@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ТИПА ИННОВАЦИЙ

Ключевые слова: нечеткое множество, функция принадлежности, инновационность, конкурентоспособность, регрессионно-корреляционный анализ

В настоящей работе автором впервые предложено применение теории нечетких множеств в регрессионно-корреляционном анализе зависимости конкурентоспособности инновационных проектов от уровня их инновационности. Особое внимание уделяется методике определения наиболее оптимального для организации типа инноваций, посредством анализа зависимости между степенью принадлежности реализованных за определенный период времени проектов по созданию и внедрению новшеств к нечеткому множеству «высокая конкурентоспособность», и уровнем их инновационности.

¹ V.G. Chaplygin, ² Sh.I. Alibekov

¹ Wyższa Szkoła Bankowa w Gdańsku (WSB University), Poland, Gdańsk, email: vchaplygin@wsb.gda.pl

² North Caucasian Institute of the All-Russian State University of Justice (RPA of the Ministry of Justice of Russia), Republic of Dagestan, Makhachkala, email: shahizin@mail.ru

THE USE OF FUZZY SET THEORY FOR DETERMINATION OF THE MOST OPTIMAL TYPE OF INNOVATIONS FOR ENTERPRISE

Keywords: fuzzy set, membership function, innovativeness, competitiveness, regression and correlation analysis.

In this article the author first offers the use of fuzzy set theory in the regression and correlation analysis of the dependence of competitiveness of innovation projects on their levels of innovativeness. The special attention is given to determination of the most optimal type of innovation for organization through the analysis of the dependence between degrees of membership to the fuzzy set "high competitiveness" of innovation projects, realized during the specified time period, and their levels of innovativeness.

Как отмечает ряд исследователей, инновации, или нововведения, являются одним из главных факторов развития современного мира. В настоящее время организациям для поддержания конкурентоспособности необходимо постоянное, непрерывное инновационное развитие, создание новой и совершенствование выпускаемой продукции [1, с. 11-13]. Вместе с тем, эффективное управление инновациями требует разработки оптимальной стратегии на основе оценки эффективности инновационной деятельности и ее влияния на конкурентоспособность предприятия. Одним из составляющих данной стратегии является,

на наш взгляд, определение наиболее продуктивного в конкретной ситуации типа инноваций для организации – «под-рывные» или улучшающие.

В связи с этим, мы полагаем, особую актуальность приобретает ретроспективный анализ инновационности проектов, реализованных ранее предприятием, и ее связи с его конкурентоспособностью. Британский исследователь Питер Р. Друкер в качестве одного из требований к инновациям, основным на знаниях (Knowledge innovation), выделяет четкий фокус на стратегической позиции [12, с. 107]. Проведение указанного анализа с применением современных математи-

ческих методов и моделей, по нашему мнению, позволит организации занять правильную стратегическую позицию.

Основная часть

Одним из наиболее продуктивных способов осуществления вышеобозначенного анализа является, на наш взгляд, подход, основанный на теории нечетких множеств. Как отмечают Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк [3], при изучении так называемых «гуманистических» систем, в которых принимает участие человек, как правило, нельзя провести четкую грань между принадлежностью и не принадлежностью объекта множеству. Границы такого множества как бы размыты или расплывчаты, и поэтому само множество получило название нечеткого. Здесь они приводят следующий пример. Человек классифицирует предметы по цвету (розовый, алый, красный, бордовый), относя в один класс одноцветные, с его точки зрения, предметы. Некоторые объекты могут быть отнесены к множеству предметов данного цвета весьма приблизительно, степень этой приблизительности называется степенью принадлежности объекта расплывчатому множеству и, как правило, определяется субъективно человеком, производящим классификацию. Высказывание о принадлежности или не принадлежности объекта нечеткому множеству также является приблизительно верным или ложным [3, с. 7]. Инновационность и конкурентоспособность проектов по созданию и внедрению новшеств относятся, по нашему, именно к «гуманистическим» системам, в которых принадлежность объекта к множеству относительна.

Понятие «нечеткое множество» впервые ввёл в науку Л. Заде [4]. Нечеткое множество A универсального множества U , по его словам, характеризуется функцией принадлежности $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$, которая ставит в соответствие каждому элементу $u \in U$ число $\mu_A(u)$ из интервала $[0, 1]$, характеризующее степень принадлежности элемента u подмножеству A . Носителем нечеткого множества A называется множество таких точек в U , для которых величина $\mu_A(u)$ положительна. Высотой нечеткого множества называется величина $\sup_U \mu_A(u)$.

Точкой перехода нечеткого множества A называется такой элемент множества U , степень принадлежности которого множеству A равна 0,5 [4, с. 32].

Здесь Л. Заде приводит следующий пример. Пусть универсальное множество U представляет собой интервал $[0, 100]$, и переменная u , принимающая значения из этого интервала, интерпретируется как «возраст». Нечеткое подмножество универсального множества U , обозначенное термином «старый», можно определить функцией принадлежности вида [4, с. 32-33; 9, с. 70-75]:

$$\mu_a(u) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq u \leq 50 \\ \left(1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^2\right)^{-1} & \text{при } 50 \leq u \leq 100 \end{cases}$$

В этом примере носителем нечеткого множества «старый» является интервал $[50, 100]$, высота множества «старый» близка к 1, а точкой перехода является значение $u = 55$. С целью упрощения представления нечетких множеств Л. Заде предлагает использовать следующие обозначения. Обычное (нечеткое) конечное множество

$U = \{u_1 \dots u_n\}$ он предлагает записывать в виде $U = u_1 + \dots + u_n$ или $U = \sum_{i=1}^n u_i$,

где знак $+$ обозначает объединение, а не арифметическое суммирование. Таким образом, данную модель, по его словам, можно рассматривать как представление множества U в виде объединения составляющих его одноточечных множеств. Обобщая вышеуказанную запись, Л. Заде предлагает нечеткое подмножество A универсального множества U записывать следующим образом [4, с. 33]:

$$A = \mu_1 u_1 + \dots + \mu_n u_n$$

или

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_i u_i,$$

где $\mu_i, i = 1, \dots, n$ – степень принадлежности элемента u_i нечеткому множеству A . В случаях, когда u_i – числа, по его словам, может возникнуть двоякое толкование записи $\mu_i u_i$, связанное с невозможностью различить компоненты μ_i и u_i . Чтобы избежать этого, Л. Заде

предлагает разделять такие значения μ_i и u_i чертой:

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_i / u_i$$

А.В. Могиленко обозначает универсальное множество через X , а его элементы через x . Таким образом, по его словам, нечеткое множество «Eqn0020.wmf» определяется как совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$. Функция принадлежности (membership function), по его определению, – это функция, которая каждому значению переменной (в границах каждого множества) ставит в соответствие значение в интервале от 0 до 1 [5, с. 9-10]. Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский выделяют следующие классы функции принадлежности [7, с. 48-50].

1. Функция принадлежности класса S определяется как

$$s(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \leq a \\ 2 \left[\frac{x-a}{c-a} \right]^2 & \text{для } a \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left[\frac{x-c}{c-a} \right]^2 & \text{для } b \leq x \leq c \\ 1 & \text{для } x \geq c, \end{cases}$$

где $b = (a+c)/2$.

Функция принадлежности, относящая к этому классу, имеет графическое представление, напоминающее букву «S», причём ее форма зависит от подбора параметров a , b и c . В точке $x = b = (a+c)/2$ функция принадлежности класса S принимает значение равное 0,5.

2. Функция принадлежности класса π определяется через функцию принадлежности класса S :

$$\pi(x; b, c) = \begin{cases} s(x; c-b, c-b/2, c) & \text{для } x \leq c \\ 1 - s(x; c, c+b/2, c+b) & \text{для } x \geq c \end{cases}$$

Функция принадлежности класса π принимает нулевые значения для $x \geq c+b$ и $x \leq c-b$. В точках $x = c \pm b/2$ её значение равно 0,5.

3. Функция принадлежности класса γ задаётся выражением:

$$\gamma = (x; a, b) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{для } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{для } x \geq b \end{cases}$$

Данная функция аналогична функции класса S .

4. Функция принадлежности класса t определяется в виде:

$$t(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{для } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{для } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{для } x \geq c \end{cases}$$

В некоторых приложениях, как отмечают Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский, функция принадлежности класса t может быть альтернативой по отношению функции класса π .

5. Функция принадлежности класса L определяется выражением:

$$L(x; a, b) = \begin{cases} 1 & \text{для } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{для } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{для } x \geq b \end{cases}$$

При использовании теории нечетких множеств для оценки инновационности и конкурентоспособности инновационных проектов, мы полагаем, необходимо сначала определить методику расчета данных показателей и диапазон их значений. Здесь наиболее приемлемой нам представляется методика, предложенная Г.М. Мутановым, Ж.С. Есенгалиевой [6]. Инновационные проекты, по их словам, являются объектами двух взаимодействующих сегментов: науки и бизнеса. Поэтому, по их мнению, их целесообразно формализовать как двухмерные объекты: инновационность (I) и конкурентоспособность (K). Для вычисления этих показателей они предлагают способ, связанный с определением средних значений оценок экспертов по каждому

критерию инновационности и конкурентоспособности. К критериям инновационности они относят соответствие проекта приоритетным направлениям индустриально-инновационной стратегии, актуальность исследования и уникальность проекта (отсутствие аналогов), научную новизну предлагаемых в проекте решений, технологический уровень проекта (новая технология), преимущества проекта по сравнению с существующими аналогами в мире, экономическую целесообразность проекта. Общие значения критериев инновационности и конкурентоспособности, на их взгляд, определяются следующим образом [6, с. 713; 10, с. 136-144]:

$$I_j = \sum_{i=1}^n x_i f_{ij}, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1;$$

$$K_j = \sum_{k=1}^m y_k g_{kj}, \quad \sum_{k=1}^m y_k = 1$$

$$I_{\min} \leq I_j \leq I_{\max}, \quad K_{\min} \leq K_j \leq K_{\max},$$

где f_{ij} – значение i -го критерия j -го проекта для показателя инновационности; x_i – значение весового коэффициента i -го критерия для показателя инновационности; n – число критериев для показателя инновационности; g_{kj} – значение весового коэффициента k -го критерия j -го проекта для показателя конкурентоспособности; y_k – значение весового коэффициента k -го фактора для показателя конкурентоспособности; m – число критериев для показателя конкурентоспособности; $I_{\min}$, $I_{\max}$, $K_{\min}$, $K_{\max}$ – минимальные и максимальные значения показателей инновационности и конкурентоспособности.

На наш взгляд, при оценке инновационных проектов можно выделить два универсальных множества X : множество показателей инновационности проектов, реализованных и реализуемых в определенный период времени t , и множество показателей конкурентоспособности данных проектов с интервалами значений от 1 до 9. Затем нужно на множестве показателей инновационности выделить два нечетких множества – множество показателей «подрывных» и множество показателей улучшающих инноваций

и одно нечеткое множество на множестве показателей конкурентоспособности – множество значений, характеризующих уровень конкурентоспособности проекта как «высокий». Функции принадлежности нечетких множеств «подрывные инновации» и «высокая конкурентоспособность», мы полагаем, можно представить в виде функций типа S , а функцию принадлежности «улучшающие инновации» как функцию типа π . В соответствии со значениями функции принадлежности $\mu_A(x)$ предлагается установить следующее ранжирование степеней принадлежности: 0,9-1 – очень высокая; $0,7 \leq \mu_A(x) < 0,9$ – высокая; $0,5 < \mu_A(x) < 0,7$ – достаточно высокая; 0,4-0,5 – средняя; $0,3 \leq \mu_A(x) < 0,4$ – достаточно (допустимо) низкая; $0,2 \leq \mu_A(x) < 0,3$ – низкая; $< 0,2$ – очень низкая.

При этом степень принадлежности к нечеткому множеству «подрывных» инноваций выражает, по нашему мнению, общий уровень инновационности проекта, аналогичным образом дело обстоит и с конкурентоспособностью, а значения функции принадлежности к нечеткому множеству улучшающих инноваций указывает на меру близости к точке перехода.

Далее необходимо определить значения универсального множества X , соответствующие вышеуказанным степеням принадлежности, и точку перехода. На основе формулы, выражающей функцию принадлежности класса S , предложенной Д. Рутковской, М. Пильнским, Л. Рутковским [7, с. 48], нами установлены следующие соответствия для нечетких множеств «подрывные инновации» и «высокая конкурентоспособность» (табл. 1).

Таким образом, для нечетких множеств «подрывные инновации» и «высокая конкурентоспособность» точкой перехода будет значение показателей равное 5, очень высокий уровень принадлежности начинается с показателя 7,22, а наименьшее значение допустимо низкой степени принадлежности составляет 4,1. Данное значение, мы полагаем, можно рассматривать как критическую точку, ниже которой проект не может считаться принадлежащим к «подрывным» инновациям и имеющим приемлемый уровень конкурентоспособности.

Таблица 1

Соответствие значений функции принадлежности $\mu_A(x)$ класса S «подрывные инновации» показателям инновационности от 1 до 9

Значение функции принадлежности $\mu_A(x)$ класса S для нечетких множеств «подрывные» инновации» и «высокая конкурентоспособность»	Характеристика степени принадлежности	Соответствующие значения универсальных множеств показателей инновационности и конкурентоспособности на интервале от 1 до 9
$0,9-1$	очень высокая	7,22–9
$0,7 \leq \mu_A(x) < 0,9$	Высокая	5,91–7,21
$0,5 < \mu_A(x) < 0,7$	Достаточно высокая	5,01–5,9
0,5	Точка перехода	5
0,4–0,5	Средняя	4,58–5
$0,3 \leq \mu_A(x) < 0,4$	Достаточно (допустимо) низкая	4,1–4,57
$0,2 \leq \mu_A(x) < 0,3$	Низкая	2,53–4
$< 0,2$	Очень низкая	1–2,52

Таблица 2

Соответствие значений функции принадлежности $\mu_A(x)$ класса π «улучшающие инновации» показателям инновационности от 1 до 9

Значение функции принадлежности $\mu_A(x)$ класса π для нечеткого множества «улучшающие инновации»	Характеристика степени принадлежности	Соответствующие значения универсального множества показателей инновационности
1	высота нечёткого множества	5
$0,9-1$	очень высокая	4,11–5,89
$0,7 \leq \mu_A(x) < 0,9$	высокая	3,46–4,1; 5,3–6,54
$0,5 < \mu_A(x) < 0,7$	достаточно высокая	3,01–3,45; 6,55–6,99
0,5	точка перехода	3; 7
0,4–0,5	средняя	2,79–3; 7–7,21
$0,3 \leq \mu_A(x) < 0,4$	достаточно (допустимо) низкая	2,55– 2,78; 7,22–7,45
$0,2 \leq \mu_A(x) < 0,3$	низкая	2,27–2,54; 7,46–7,73
$< 0,2$	очень низкая	1–2,26; 7,74–9

Для улучшающих инноваций соответствие значений универсального множества показателей инновационности и функции принадлежности будет выглядеть следующим образом (табл. 2).

Таким образом, для нечеткого множества «улучшающие инновации» высота равна 5 (точке перехода для «подрывных» инноваций), точками перехода являются значения 3 и 7, а критическими точками являются значения 2,55 и 7,45. Нижнюю критическую точку для улучшающих инноваций, равную 2,55, мы полагаем, можно рассматривать в качестве минимально приемлемого уровня инновационности проекта.

Для определения наиболее оптимального для предприятия типа инноваций с использованием аппарата теории нечетких множеств, мы полагаем, следует, посредством регрессионно-корреляционного анализа, установить меру зависимости степени принадлежности проектов по созданию и внедрению новшеств к высокой конкурентоспособности от показателей инновационности, выраженных в натуральных величинах, в интервале значений от 1 до 9. Данный подход, на наш взгляд, позволит установить тип инноваций – «подрывные» или улучшающие – в наибольшей мере способствующий росту конкуренто-

способности организации, что поможет выработать правильную инновационную стратегию. При этом, важную роль, по нашему мнению, играет тип регрессии. Если данная зависимость выражается прямой линейной регрессией

(уравнение $y_x = a_0 + a_1x$ либо степенной

(уравнение $y_x = a_0 - x^{a_1}$ показательной

(уравнение $y_x = a_0 - a_1^x$ экспоненциаль-

ной (уравнение $y_x = e^{a_0 + a_1x}$ или иной, где с ростом факторного признака (x) возрастает значение результативного (y), предприятию следует делать упор на «подрывные» инновации, однако возможно также активное создание и внедрение улучшающих нововведений, если показатель инновационности, имеющий наибольшую степень принадлежности к улучшающим инновациям, обеспечивает степень принадлежности проекта к высокой конкурентоспособности не ниже точки перехода. Если зависимость между функцией принадлежности «высокая конкурентоспособность» и показателями инновационности выражает-

ся параболой (уравнение $a_0 + a_1x_1 + a_2x^2$ ветви которой направлены вниз, необходимо определить экстремум (максимум) функции и его степень принадлежности как к «подрывным, так и к улучшающим инновациям. В случае, если степень принадлежности экстремального значения x , при котором достигается максимум y , к улучшающим нововведениям выше, чем к «подрывным», предприятию, соответственно, нужно специализироваться на улучшающих инновациях, в то время как более высокая степень принадлежности к «подрывным» нововведениям, по сравнению с улучшающими, свидетельствует о целесообразности «подрывных» инноваций с показателем инновационности, не превышающем экстремума. Если ветви параболы направлены вверх, предприятию нужно разрабатывать и внедрять либо исключительно «подрывные» инновации, либо, помимо указанных, новшества, обладающие минимальным уровнем инновационности, соответствующим низкой или очень низкой степени принадлежности

как к «подрывным», так и к улучшающим инновациям, поскольку это свидетельствует о том, что с ростом степени принадлежности проекта к улучшающим нововведениям снижается его степень принадлежности к высокой конкурентоспособности, в особенности если экстремум (в данном случае минимум) равен 5, что соответствует точке перехода для нечеткого множества «подрывные» инновации и высоте нечеткого множества «улучшающие инновации». В случае, если регрессия, указывающая на зависимость функции принадлежности «высокая конкурентоспособность» от показателей инновационности, является гиперболической (уравнение

$y_x = a_0 + a_1 \frac{1}{x}$ с возрастанием y , наиболее предпочтительными для предприятия будут «подрывные» инновации, поскольку увеличение результативного признака в этом случае характеризуется замедленностью, поэтому обеспечение приемлемого уровня конкурентоспособности (т.е. степени принадлежности к высокой конкурентоспособности от точки перехода и выше) посредством улучшающих нововведений затруднено. Если гиперболическая регрессия выражает обратную зависимость между вышеуказанным критериями, предприятию следует специализироваться на улучшающих инновациях, с показателем инновационности, не превышающем уровня, за которым идет снижение степени принадлежности проекта к высокой конкурентоспособности ниже точки перехода.

Далее мы бы хотели привести следующий пример. За определенный период времени (t) в организации было реализовано 10 инновационных проектов. Данные проекты имели значения инновационности 2,5; 3,6; 4,8; 5,1; 6,4; 6,8; 7,3; 8,2; 8,5; 8,9; и конкурентоспособности – 2,9; 3,8; 4,6; 5,5; 5,9; 6,3; 6,7; 7,8; 8,5; 8,8, что соответствует значениям функции принадлежности «высокая конкурентоспособность» класса S 0,11; 0,25; 0,41; 0,62; 0,7; 0,77; 0,83; 0,96; 0,99; 1. Рис. 5 указывает на то, что зависимость между указанными критериями линейная, требующая построения модели парной линейной регрессии.

Система уравнений МНК имеет вид:

$$\begin{cases} 10a_0 + 62,1a_1 = 6,64; \\ 62,1a_0 + 427,45a_1 = 47,267. \end{cases}$$

Параметры регрессии в данном случае, по нашему мнению, следует вычислять на основе определителей 2-го порядка. Для коэффициентов a_1 и a_0 формулы будут следующими [8, с. 245]:

$$a_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \sum x},$$

$$a_0 = \frac{\sum y - a_1 \sum x}{n}.$$

Подставляя значения из системы уравнений, получим:

$$a_1 = \frac{10 \cdot 47,267 - 62,1 \cdot 6,64}{10 \cdot 427,45 - 62,1 \cdot 62,1} = \frac{60,326}{418,09} = 0,14.$$

Аналогичным образом можно определить параметр a_0 :

$$a_0 = \frac{6,64 - 0,14 \cdot 62,1}{10} = -0,2054.$$

Таким образом:

$$y_x = -0,2054 + 0,14x.$$

Результат данного вычисления свидетельствует о том, что при увеличении показателя инновационности проекта на одну единицу степень принадлежности его к высокой конкурентоспособности будет возрастать в среднем на 0,14 единицы или 0,014. Далее необходимо определить тесноту связи (коэффициент корреляции) между обозначенными показателями и долю вариации результативного признака – степени принадлежности проекта по созданию и внедрению новшества к нечеткому множеству «высокая конкурентоспособность», обусловленную влиянием факторного – уровня инновационности (коэффициент детерминации). Здесь, мы полагаем, коэффициент корреляции лучше всего рассчитывать по итоговым значениям (суммам) исходных переменных [8, с. 224]:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}.$$

В данном случае расчет будет выглядеть следующим образом:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} = \frac{60,326}{\sqrt{(4274,5 - 3856,41) \cdot 8,9164}} \approx 0,99.$$

$$r^2 \approx 0,98.$$

Таким образом, между уровнем инновационности и степенью принадлежности проектов к высокой конкурентоспособности в этом случае существует очень сильная связь. Вариация показателей инновационности обуславливает около 98% вариации степени принадлежности проектов к высокой конкурентоспособности. Регрессионная таблица здесь будет выглядеть следующим образом (табл. 3).

На основе проведенного регрессионно-корреляционного анализа зависимости между вышеуказанными показателями, на наш взгляд, можно сделать следующий вывод: фирме при разработке дальнейшей инновационной стратегии следует делать упор на «подрывные» инновации, поскольку с ростом инновационности возрастает и степень принадлежности проекта к высокой конкурентоспособности и данные критерии характеризуются сильной прямой связью. Далее, мы полагаем, следует проанализировать возможность создания и внедрения улучшающих инноваций в последующей инновационной деятельности. Здесь наиболее близкими к высоте нечеткого множества «улучшающие инновации» показателями инновационности являются значения равные 4,8 и 5,1. Для значения 4,8 степень принадлежности к улучшающим нововведениям в соответствии с функцией принадлежности $\mu_A(x)$ класса π составит:

$$\pi_{(x;b,c)} = \begin{cases} S(x; c-b, c-b/2, c) & \text{for } x \leq c, \\ 1 - S(x; c, c+b/2, c+b) & \text{for } x \geq c. \end{cases}$$

$$S(x; c-b, c-b/2, c) =$$

$$1 - 2 \left(\frac{x-c}{c-(c-b)} \right)^2 =$$

$$1 - 2 \left(\frac{4,8-5}{5-3} \right)^2 = 0,98.$$

Таблица 3

Регрессионный анализ зависимости функции принадлежности $\mu_A(x)$ «высокая конкурентоспособность» от показателей инновационности, выраженных в натуральных величинах (линейная регрессия)

Номер инновационного проекта	Уровень инновационности x	Функция принадлежности $\mu_A(x)$ «высокая конкурентоспособность» y	$xу$	x^2	y_x
1	2,5	0,11	0,275	6,25	0,1446
2	3,6	0,25	0,9	12,96	0,2986
3	4,8	0,41	1,968	23,04	0,4664
4	5,1	0,62	3,162	26,01	0,5084
5	6,4	0,7	4,48	40,96	0,6906
6	6,8	0,77	5,236	46,24	0,7466
7	7,3	0,83	6,059	53,29	0,8166
8	8,2	0,96	7,872	67,24	0,9426
9	8,5	0,99	8,415	72,25	0,9846
10	8,9	1	8,9	79,21	1,0406
Итого	62,1	6,64	47,267	427,45	6,6396
Среднее значение	6,21	0,664	4,7267	42,745	0,66396

Значение 5,1 будет соответствовать следующему значению функции принадлежности $\mu_A(x)$ класса π «улучшающие инновации»:

$$\pi_{(x;b,c)} = \begin{cases} S(x; c-b, c-b/2, c) & \text{for } x \leq c, \\ 1-S(x; c, c+b/2, c+b) & \text{for } x \geq c \end{cases}$$

$$1-S(x; c, c+b/2, c+b) =$$

$$1-2\left(\frac{x-c}{(c+b)-c}\right)^2 =$$

$$1-2\left(\frac{5,1-5}{9-5}\right)^2 = 0,999.$$

Таким образом, наибольшей степени принадлежности к улучшающим инновациям соответствует показатель инновационности, равный 5,1.

Данный показатель соотносится со значением функции принадлежности $\mu_A(x)$ «высокая конкурентоспособность», равным 0,62, т. е. превышающим точку перехода и, по нашему мнению, характеризующим степень принадлежности как достаточно высокую. Это, на наш взгляд, свидетельствует о целесообразности создания и внедрения помимо «подрывных» инноваций, на которые, как было отмечено выше, нужно делать в данном случае упор, также улучшающих нововведений.

Далее мы бы хотели привести пример ситуации, при которой фирме, при разработке дальнейшей инновационной стратегии, следует делать упор именно на улучшающие инновации. Если показатели инновационности оставить прежними, а показатели конкурентоспособности заменить на 2,6; 3,4; 4,6; 5,4; 7; 6,5; 5,8; 4,7; 3,5; 2,6, что будет соответствовать значениям функции принадлежности «высокая конкурентоспособность» класса S 0,08; 0,18; 0,405; 0,595; 0,875; 0,8; 0,68; 0,43; 0,195; 0,08, то зависимость между инновационностью и степенью принадлежности проектов к высокой конкурентоспособности будет выражена параболой, ветви которой направлены вниз (рис. 6), и представлена следующим уравнением регрессии:

$$y_x = a_0 + a_1x_1 + a_2x^2.$$

В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев, Т.И. Гуляева представляют уравнение параболической регрессии в следующем виде [2, с.64]:

$$\hat{y} = a + bx + cx^2.$$

Параметры уравнения параболы a , b , c , по их словам, определяются из решения нормальных уравнений МНК [2, с.64]:

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i. \end{cases} \quad \begin{cases} 0,086a_1 + a_2 = 0,002 \\ 0,084a_1 + a_2 = 0,0002 \\ 0,002a_1 = 0,0018 \\ a_1 = 0,9. \end{cases}$$

Поскольку в настоящей работе мы придерживаемся обозначений параметров регрессии a_0 , a_1 и a_2 , в нашем примере указанная система уравнений МНК примет вид:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x + a_2 \sum x^2 = \sum y; \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum x^3 = \sum xy; \\ a_0 \sum x^2 + a_1 \sum x^3 + a_2 \sum x^4 = \sum x^2 y. \end{cases}$$

Данная система уравнений решается способом, аналогичным тому, который применяется в случае множественной линейной регрессии. При анализе параболической связи между инновационностью и степенью принадлежности проектов к высокой конкурентоспособности она будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} 10a_0 + 62,1a_1 + 427,45a_2 = 4,32; \\ 62,1a_0 + 427,45a_1 + 3141,579a_2 = 27,726; \\ 427,45a_1 + 3141,579a_1 + 24085,5733a_2 = 186,0479. \end{cases}$$

Если каждый член трех уравнений разделить на коэффициенты при a_0 , получится следующее:

$$\begin{cases} a_0 + 6,21a_1 + 42,749a_2 = 0,432; \\ a_0 + 6,883a_1 + 50,589a_2 = 0,446; \\ a_0 + 7,35a_1 + 56,347a_2 = 0,435. \end{cases}$$

Далее, при вычитании из первого уравнения второго и третьего, получим:

$$\begin{cases} -0,673a_1 + (-7,844)a_2 = -0,014 \\ -1,14a_1 + (-13,602)a_2 = -0,003. \end{cases}$$

Если разделить все члены уравнений на коэффициенты при a_2 и вычесть из первого уравнения второе, получится:

или

$$\begin{aligned} a_2 &= 0,0002 - 0,084 \cdot 0,9 = -0,0754, \\ a_2 &= 0,002 - 0,086 \cdot 0,9 = -0,0754. \end{aligned}$$

Подставив параметры a_1 и a_2 в уравнение, получим:

$$a_0 + 6,21 \cdot 0,9 + 42,745 \cdot (-0,0754) = 0,432,$$

откуда

$$a_0 = 0,432 - 5,589 - (-3,222973) = -1,934.$$

Аналогичный результат получится, если параметры a_1 и a_2 подставить в другое уравнение:

$$a_0 + 6,883 \cdot 0,9 + 50,589 \cdot (-0,0754) = 0,446,$$

откуда

$$a_0 = 0,446 - 6,1947 - (-3,8144106) = -1,934.$$

Таким образом, уравнение регрессии примет следующий вид:

$$y_x = -1,934 + 0,9x - 0,0754x^2.$$

Далее, для определения наиболее оптимального для фирмы уровня инновационности, необходимо найти экстремум, в данном случае максимум, функции. Как отмечают А.А. Афанасьев, М.М. Юзбашев, Т.И. Гуляева, для нахождения того значения фактора x , при котором достигается максимум y , необходимо первую производную уравнения регрессии приравнять к нулю [2, с. 66]:

$$\hat{y}' = (a + bx + cx^2)' = b + 2cx = 0,$$

отсюда:

$$x = -\frac{b}{2c}.$$

В нашем примере данная формула будет выглядеть следующим образом:

$$x = -\frac{a_1}{2a_2}.$$

Подставив в нее параметры регрессии, получим:

$$x = -\frac{a_1}{2a_2} = -\frac{0,9}{0,1508} = 5,97.$$

Таким образом, в этом случае наиболее оптимальным для фирмы уровнем инновационности, при котором степень принадлежности проекта по созданию и внедрению новшества к высокой конкурентоспособности достигает максимального значения, является показатель, соответствующий 5,97.

С целью выявления типа инноваций, на который фирме следует делать упор при разработке дальнейшей инновационной стратегии, мы полагаем, нужно вычислить степень принадлежности данного показателя к двум нечетким множествам: «подрывные» инновации и улучшающие инновации. Степень принадлежности к «подрывным» инновациям в соответствии с функцией принадлежности класса S составит:

$$S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq a, \\ 2\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2 & \text{for } a \leq x \leq b, \\ 1-2\left(\frac{x-c}{c-a}\right)^2 & \text{for } b \leq x \leq c, \\ 1 & \text{for } x \geq c. \end{cases}$$

$$S(x; a, b, c) = 1-2\left(\frac{x-c}{c-a}\right)^2 \\ = 1-2\left(\frac{5,97-9}{9-1}\right)^2 = 0,71.$$

Степень принадлежности показателя инновационности, равного 5,97, к улучшающим инновациям, в соответствии с функцией принадлежности класса π будет равна:

$$\pi(x; b, c) = \begin{cases} S(x; c-b, c-b/2, c) & \text{for } x \leq c, \\ 1-S(x; c, c+b/2, c+b) & \text{for } x \geq c \end{cases} \\ 1-S(x; c, c+b/2, c+b) = \\ 1-2\left(\frac{x-c}{(c+b)-c}\right)^2 = \\ 1-2\left(\frac{5,97-5}{9-5}\right)^2 = 0,88.$$

Расчеты указывают на то, что степень принадлежности экстремума к улучшающим инновациям на 0,17 единиц выше, чем к «подрывным». Из этого, по нашему мнению, следует, что фирме при осуществлении дальнейшей инновационной деятельности нужно, в основном, специализироваться на улучшающих нововведениях. Возможность создания и внедрения «подрывных» инноваций в определенной мере ограничена, поскольку степень принадлежности максимума к «подрывным» нововведениям находится практически на нижней границе значения функции принадлежности, характеризующего данную степень как высокую. Это может являться следствием определенного консерватизма потребителей. В данном случае, если фирма впоследствии решит реализовывать проекты, связанные с «подрывными» инновациями, ей потребуется проведение серьезных и крупномасштабных мероприятий по формированию спроса и стимулированию сбыта (ФОССТИС) и усиление маркетинговой деятельности в целом.

Мы полагаем необходимым измерить тесноту связи между инновационностью и степенью принадлежности проектов к высокой конкурентоспособности. Как отмечают Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова, в случае наличия как линейной, так и нелинейной зависимости между двумя признаками, для измерения тесноты связи применяют так называемое корреляционное отношение. Различают теоретическое и эмпирическое корреляционное отношение [11, с. 367].

Эмпирическое корреляционное отношение рассчитывается по данным группировки, когда δ^2 характеризует отклонения групповых средних результативного показателя от общей средней [11, с. 367]:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma^2 - \bar{\sigma}^2}{\sigma^2}} = \sqrt{1 - \frac{\bar{\sigma}^2}{\sigma^2}} = \sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma^2}},$$

где η – корреляционное отношение; σ^2 – общая дисперсия; $\bar{\sigma}^2$ – средняя из частных (групповых) дисперсий; δ^2 – межгрупповая дисперсия (дисперсия групповых средних).

Как утверждают Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова, эти дисперсии являются дисперсиями результативного признака [11, с. 367].

Теоретическое корреляционное отношение определяется по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma^2}},$$

где δ^2 – дисперсия выравненных значений результативного признака, т.е. рассчитанных по уравнению регрессии; σ^2 – дисперсия эмпирических (фактических) значений результативного признака.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (y_x - \bar{y})^2}{n}} = \sqrt{\delta \frac{2}{y_x}};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_x - \bar{y})^2}{n}} = \sqrt{\sigma \frac{2}{y}}.$$

Тогда:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum (y_x - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}.$$

объясняется влиянием факторного признака.

В нашем примере следует использовать теоретическое корреляционное отношение. Расчёт данного отношения будет выглядеть следующим образом:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum (y_x - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}} = \sqrt{\frac{0,808898382}{0,78796}} \approx 1.$$

Теоретическое корреляционное отношение, по нашему мнению, как и линейный коэффициент корреляции, мож-

но вычислить по итоговым значениям (суммам) исходных переменных. Расчёт в этом случае примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \eta &= \sqrt{\frac{n \sum y_x^2 - (\sum y)^2}{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{26,75371662 - 18,6624}{26,542 - 18,6624}} = \\ &= \sqrt{\frac{8,09131662}{7,8796}} \approx 1. \\ \eta^2 &\approx 1. \end{aligned}$$

Результат данного вычисления свидетельствует об очень сильной связи между инновационностью и степенью принадлежности проектов к высокой конкурентоспособности. Вариация показателей инновационности обуславливает почти 100% вариации значений функции принадлежности «высокая конкурентоспособность». Наличие подобной связи в условиях параболической регрессии с ветвями параболы, направленными вниз, и более высокой степени принадлежности экстремума к улучшающим инновациям по сравнению с «подрывными», является на наш взгляд, дополнительным аргументом в пользу специализации фирмы именно на улучшающих нововведениях при реализации дальнейших проектов по созданию и внедрению новшеств.

Таким образом, на основе регрессионно-корреляционного анализа зависимости между вышеуказанными критериями, возможно, на наш взгляд, определить тип инноваций, на который следует фирме делать упор при планировании дальнейшей инновационной деятельности, что, по нашему мнению, позволит существенно повысить эффективность данного планирования и прогнозирования, а также минимизировать и оптимизировать риски, что, в свою очередь, является значимым фактором успеха в реализации последующих проектов по созданию и внедрению новшеств.

Выводы

На основе проведенного в настоящей работе исследования можно сделать следующий вывод: применение теории нечетких множеств в сочетании с регрессионно-корреляционным анализом для оценки оптимального типа нововведе-

ний может рассматриваться в качестве продуктивной формы ретроспективного анализа инновационной деятельности предприятия. Данный анализ позволит установить зависимость между критериями, характеризующими инновационный процесс, которые являются лингвистическими переменными, что значительно расширит возможности оценки разрабатываемой инновационной стратегии, посредством выявления значимости для конкурентоспособности предприятия критериев, количественный анализ

которых затруднен, например «подрывных» и улучшающих нововведений. Оценка инновационности и конкурентоспособности проектов по созданию и внедрению новшеств с применением теории нечетких множеств будет способствовать направлению инновационной деятельности предприятия в русло повышения его конкурентоспособности и, таким образом, становлению инноваций главным фактором развития организации, что соответствует современным тенденциям экономического развития.

Библиографический список

1. Алибеков Ш.И., Каирбекова Л.З. Понятие нематериального актива // Профессия бухгалтера – важнейший инструмент эффективного управления сельскохозяйственным производством: Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора В.П. Петрова. 2015. С.11-13.
2. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М., Гуляева Т.И. Эконометрика, М.: Финансы и статистика, 2005. 256 с.
3. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие графы и гиперграфы, М.: Науч. Мир, 2005. 255 с.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: МИР, 1976. 165 с.
5. Могиленко А.В. Теория нечетких множеств. Нечеткий регрессионный анализ, Томск: Печатная мануфактура, 2004. 61 с.
6. Мутанов Г.В., Есенгалиева Ж.С. Метод оценки инновационности и конкурентоспособности инновационных проектов // Фундаментальные исследования. 2012. № 3. С. 712-717.
7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 383 с.
8. Теория статистики / под ред. Громыко Г.Л., М.: ИНФРА-М, 2009. 475 с.
9. Чаплыгин В.Г., Дельцова Т.А. Анализ взаимосвязи криптовалюты биткоин с использованием корреляционного-регрессионного анализа // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия «Гуманитарные и общественные науки». 2018. № 2. С. 70-79.
10. Чаплыгин В.Г., Мороз В.Н. Математическое определение эффективности трансфера технологий // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56. № 3. С. 136-144. DOI: 10.31857/S042473880010522-3.
11. Шмойлова Р.А., Минашкин В.Г., Садовникова Н.А., Шувалова Е.Б. Теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2005. 656 с.
12. Drucker Peter F. Innovation and Entrepreneurship. Practice and Principles, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 258 p.