

УДК 338.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИЗИСОУСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СО СЛАБОЙ ДИНАМИКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМОВ МАМДАНИ И ЛАРСЕНА



А.В. Седельников

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
г. Самара, Российская Федерация
e-mail: axe_backdraft@inbox.ru

A.V. Sedelnikov

*Samara National Research University
named after S.P. Korolev*
Samara, Russian Federation
e-mail: axe_backdraft@inbox.ru



Е.С. Хнырёва

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
г. Самара, Российская Федерация
e-mail: khnyryova@gmail.com

E.S. Khnyryova

*Samara National Research University
named after S.P. Korolev*
Samara, Russian Federation
e-mail: khnyryova@gmail.com

Аннотация. В работе проводится оценка кризисоустойчивости предприятия со слабой динамикой с помощью экспертной системы и аппарата нечёткой логики. Для получения результата используются два принципиально различных алгоритма построения функции принадлежности переменной выхода: алгоритм Мамдани, основанный на отсечении, и алгоритм Ларсена, основанный на масштабировании. При формировании комбинированной функции принадлежности переменной выхода также использовались различные подходы, связанные с максимизацией и суммированием исходных функций принадлежности. Проведён сравнительный анализ полученных результатов между собой и другими работами. Полученные в работе результаты могут быть использованы для оценки кризисоустойчивости предприятий со слабой динамикой с целью разработки комплекса мероприятий по повышению эффективности их функционирования в кризисный период.

Ключевые слова: предприятие со слабой динамикой, кризисоустойчивость, интегральный показатель нединамичности, экспертная система, алгоритм Мамдани, алгоритм Ларсена.

Информация о статье. Дата поступления: 5 апреля 2020 г.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CRISIS RESILIENCE OF ENTERPRISES WITH WEAK DYNAMICS USING THE EXPERT SYSTEM AND MAMDANI AND LARSEN ALGORITHMS

Annotation. The work evaluates the crisis stability of an enterprise with weak dynamics with the help of an expert system and an apparatus of fuzzy logic. Two fundamentally different algorithms were used to calculate the output variable's ownership function: the cut-off-based Mamdani algorithm and scale-based Larsen algorithm. Different approaches to maximizing and summing the original ownership functions were also used in forming a combined output variable assignment function. The results were compared with other research findings. The results of the study can be used to assess the crisis resilience of enterprises with weak dynamics in order to develop a set of measures to improve their performance during a crisis period.

Keywords: enterprise with weak dynamics, crisis resilience, integral index of non-dynamicity, expert system, Mamdani algorithm, Larsen algorithm.

Article info. Received 5 April, 2020.

Введение. Ставшие в последнее десятилетие традиционными экономические санкции крайне негативно отражаются на устойчивом развитии предприятий. По оценкам авторов [1] санкции со стороны стран ЕС к России и контрсанкции России к ЕС вылились экспортными потерями в 2014–15 гг. соответственно в 53 и 42 млрд. долларов США.

Больше всего от этих санкций страдают предприятия со слабой динамикой [2]. Под слабой динамикой понимается неспособность существенно изменять объем производства продукции в ответ на изменяющийся спрос в короткий промежуток времени из-за ряда объективных причин, не связанных с качеством работы менеджмента, а являющихся неотъемлемыми характеристиками самого производственного процесса. Такие предприятия являются наиболее уязвимыми в кризис [3] и нуждаются в эффективном мониторинге кризисоустойчивости, разработке и своевременной реализации антикризисных мер.

В настоящее время рисками для устойчивого развития предприятий являются не только геополитические, выражающиеся наложением односторонних санкций со стороны одного или нескольких государств [1], но и угрозы мирового масштаба, не связанные напрямую с экономикой. К ним можно отнести, например, экологическую [4], природную [5] и эпидемиологическую¹.

¹ Coronavirus: The World Economy at Risk // OECD Interim Economic Assessment. 2020. March 2. 18 p

Ярким примером реализации таких угроз является сегодняшняя пандемия вируса COVID-19 [6]. Закрытие границ государствами, объявление карантинных мер, резкое изменение структуры потребительского спроса, нарушение экономических связей как внутри отдельных государств, так и между государствами, — всё это требует быстрых и существенных вмешательств в процесс функционирования предприятий. При этом наблюдаются серьёзные финансовые потери. Так экономика КНР, по оценке экспертов [7] в первом квартале 2020 г. потеряла почти 150 млрд. долларов США, а мировая экономика, начиная со второго квартала 2020, может терять по 200 млрд. долларов США [8–13]. Однако предприятия со слабой динамикой обладают особенностями, которые не позволяют без существенного ущерба быстро изменять объёмы производства. Если не работать на опережение и не проводить своевременно оценку кризисоустойчивости, то спасти такие предприятия в условиях стремительно надвигающегося кризиса практически невозможно.

Актуальность работы связана со своевременной оценкой кризисоустойчивости предприятий со слабой динамикой, используя при этом накопленный опыт преодоления кризисной динамики другими предприятиями. Этот опыт является базой знаний для экспертной системы. Инструменты нечёткой логики позволяют, работая с экспертной системой, использовать нечёткую продукционную модель для оценки кризисоустойчивости исследуемых предприятий.

Экспертная система для оценки кризисоустойчивости. Опыт практического моделирования показывает, что для получения адекватной оценки кризисоустойчивости можно использовать простую продукционную экспертную систему [14]. Она имеет структуру, представленную на рисунке 1.

База исходных данных во многом определяет точность оценки кризисоустойчивости и адекватность полученного решения. Для её формирования в данной работе предлагается построить лингвистическую переменную «Предприятия со слабой динамикой» с базовым терм-множеством: «Высокая степень неединичности» (нечёткое подмножество А), «Умеренная степень нединамичности» (нечёткое подмножество В) и «Низкая степень нединамичности» (нечёткое подмножество С). Тогда каждое исследуемое предприятие будет иметь определённые значения функции принадлежности к этим нечётким подмножествам. Поскольку предприятия с различной численностью сотрудников по-разному переживают кризис, то в базе исходных данных должна быть представлена среднегодовая численности сотрудников для каждого исследуемого предприятия. Таким образом, база исходных данных может быть представлена в виде таблицы 1.

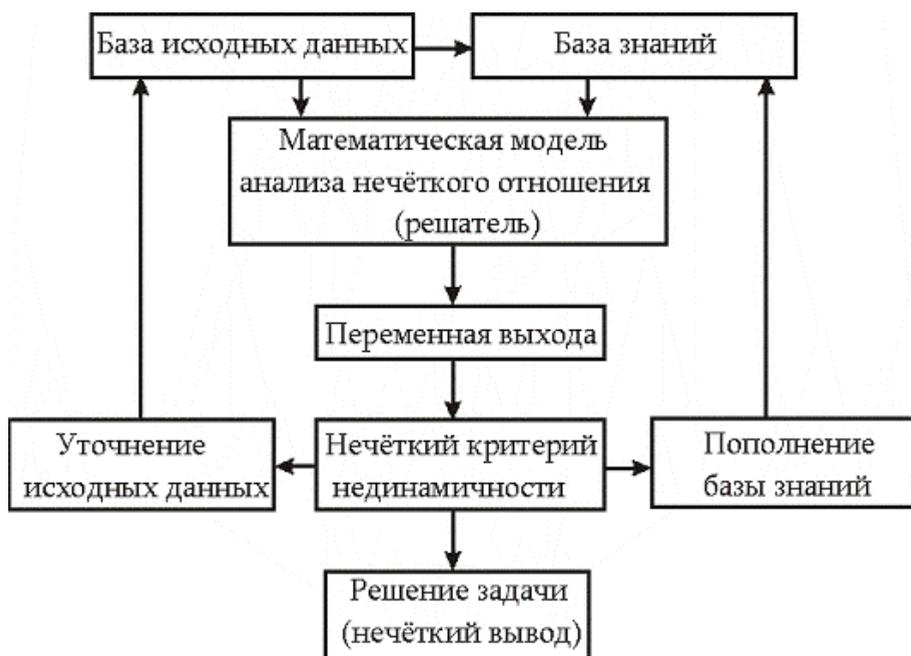


Рис.1. Блок-схема экспертной системы База исходных данных

Таблица 1

База исходных данных

Предприятие	Значения функции принадлежности лингвистической переменной «Предприятия со слабой динамикой»			Численность сотрудников
	A	B	C	
1	$\mu_A(x_1)$	$\mu_B(x_1)$	$\mu_C(x_1)$	N_1
...
n	$\mu_A(x_n)$	$\mu_B(x_n)$	$\mu_C(x_n)$	N_n

Такое наглядное представление исходных данных позволит лицу, принимающему решение, выделить предприятия, имеющие первостепенный приоритет. Чем выше значение функции принадлежности $\mu_A(x_i)$, тем оно является более уязвимым в кризисный период. С другой стороны, численность сотрудников — это потенциальное число безработных в случае банкротства предприятия. Исходя из этих соображений, лицо, принимающее решение, должно сформировать перечень исследуемых предприятий.

Если в процессе оценки кризисоустойчивости база исходных данных уточняется, то следует заново начать работу с экспертной системой. Изменённые значения переменных входа могут существенно повлиять на выбор стратегии функционирования предприятия в кризисный период.

База знаний состоит из предикатных правил с двумя предпосылками и одним выводом. Предпосылки содержат переменные входа: интегральный показатель нединамичности [15] и численность сотрудников, представленная в базе исходных данных. Интегральный показатель нединамичности является количественной оценкой степени нединамичности предприятия и может быть вычислен по предлагаемой в [15] методике. В качестве вывода в работе используется оценка вероятности успешного преодоления кризиса предприятием [14]. Отличительной чертой данной работы является то, что при оценке кризисоустойчивости предприятий рассматриваются только особенности их производственных процессов, благодаря которым эти предприятия можно отнести к предприятиям со слабой динамикой. При этом качество менеджмента считается близким к оптимальному и в качестве фактора, влияющего на кризисоустойчивость, не рассматривается. Предикатное правило имеет вид:

$$\text{Если } \eta_0 = \eta_{0i} \text{ и } N = N_i, \text{ то } P = P_i, \quad (1)$$

где η_0 — интегральный показатель нединамичности, а P — вероятность успешного преодоления кризиса.

Все переменные, входящие в (1), являются нечёткими числами. Эта нечёткость является результатом влияния многих факторов:

- погрешности прямых измерений;
- погрешности моделирования переменных входа и выхода;
- отличие реального менеджмента от оптимального;
- влияние не переменную выхода других факторов, кроме кризиса;
- отличия параметров различных кризисов и кризисных ситуаций друг от друга;
- существенная стохастичность самой решаемой задачи оценки кризисоустойчивости и т.д.

Набор предикатных правил включает в себя опыт преодоления прошедших кризисов реальными предприятиями и должен быть достаточно большим для достижения нужной точности оценки.

Математическая модель анализа нечёткого отношения (решатель) является нечёткой математической реализацией связи переменной выхода с переменными входа. Эта реализация в данной работе представляется в виде нечёткого отношения. Анализ нечёткого отношения позволяет получить переменную выхода из баз знаний и исходных данных для исследуемых предприятий:

$$R = (A_1 \times A_2) \rightarrow B, \quad (2)$$

где R — нечёткое отношение; A_1 и A_2 — множества значений переменных входа; \times — операция нечёткого прямого произведения универсальных множеств переменных входа; \rightarrow — нечёткая импликация; B — множество значений переменной выхода.

Результатом анализа нечёткого отношения (2) с учётом (1) и базы исходных данных с помощью математической модели является формирование переменной выхода в виде:

$$B^* = (A_1^* \times A_2^*) \circ R = (A_1^* \times A_2^*) \circ ((A_1 \times A_2) \rightarrow B), \quad (3)$$

где B^* — сформированная переменная выхода в виде функции принадлежности; A_1^* и A_2^* — чёткие значения переменных входа для исследуемых предприятий; \circ — операция нечёткой свёртки.

В настоящей работе в качестве алгоритма формирования переменной выхода (3) используются два известных универсальных алгоритма, основанных на различных принципах построения функции принадлежности: алгоритмы Мамдани и Ларсена [14; 16].

Переменная выхода формируется с помощью математической модели анализа нечёткого отношения (3) в виде нечёткой импликации с использованием операций отсечения (алгоритм Мамдани) или масштабирования (алгоритм Ларсена) функций принадлежности переменных входа. Из этой импликации составляется композиция интегральной функции принадлежности с использованием операции максимума. Область определения интегральной функции принадлежности и область допустимых значений представляют собой единичные отрезки; поскольку в этих пределах изменяются функция принадлежности и вероятность успешного преодоления кризиса исследуемым предприятием Переменная выхода является конечной целью и результатом работы экспертной системы.

Для построения нечёткого критерия нединамичности следует сформировать ограничения переменной выхода. Они могут быть связаны, например, с заданием допустимой вероятности банкротства предприятия или критическим значением функции принадлежности к нечёткому подмножеству A (таблица 1) и т.д. В работе [14] предлагается формирование нечёткого критерия нединамичности в виде лингвистической переменной с базовым терм-множеством: «Высокая кризисоустойчивость» (нечёткое подмножество D), «Умеренная кризисоустойчивость» (нечёткое подмножество E), «Низкая кризисоустойчивость» (нечёткое подмножество F).

После формирования нечёткого критерия нединамичности может быть сделан нечёткий вывод о степени кризисоустойчивости исследуемых предприятий. В случае лингвистической переменной этот вывод будет иметь вид, аналогичный таблице 1 (таблица 2).

Таблица 2

**Нечеткий вывод о кризисоустойчивости
исследуемых предприятий**

Предприятие	Значения функции принадлежности лингвистической переменной «Нечёткий критерий нединамичности»		
	D	E	F
1	$\mu_D(x_1)$	$\mu_E(x_1)$	$\mu_F(x_1)$
...
n	$\mu_D(x_n)$	$\mu_E(x_n)$	$\mu_F(x_n)$

С помощью различных методов приведения к чёткости, например центроидного [14; 16], можно получить чёткие значения вероятности успешного преодоления кризиса исследуемыми предприятиями.

Численное моделирование. В [14] проведена оценка кризисоустойчивости предприятия со значениями переменных входа:

$$\eta_0^* = 0,7 \pm 0,2; N^* = 500 \pm 50, \quad (4)$$

где η_0^* — интегральный показатель нединамичности предприятия, а N^* — среднегодовая численность сотрудников предприятия.

Эта оценка основана на базе знаний преодолению кризиса 2008–10 гг. предприятиям Самарской области, которые участвовали в мониторинге своего функционирования в рамках городской антикризисной программы [17]. Используя данные официальной статистики¹ и инструментарий оценок переменных входа и выхода (например, [18]), расширим базу знаний по сравнению с работой [18] (там было рассмотрено 38 предприятий) до 100 предприятий. Значения переменных входа оставим в виде (4).

Для удобства работы с базой знаний трансформируем её в лингвистическую переменную, используя базовые термы [14; 19]:

- «Малое значение» ($\eta_0 \in [0; 0,5)$ и $N \in [0; 100)$,
- «Среднее значение» ($\eta_0 \in [0,5; 0,7)$ и $N \in [100; 500)$,
- «Большое значение» ($\eta_0 \in [0,7; 1,0)$ и $N \in [500; \infty)$.

¹ Доклад о результатах деятельности Федеральной службы государственной статистики в 2018 году и основных направлениях на 2019 год и плановый период 2020 и 2021 годов. М. : РОССТАТ, 2019. 122 с. URL: <https://gks.ru/storage/mediabank/Pr-docl-19.pdf>.

В результате этого вся база знаний будет состоять из девяти различных сочетаний переменных входа, т.е. из девяти предикатных правил вида (1). При этом вместо чётких значений переменных входа будут присутствовать базовые термы (5), а вместо чётких значений переменной выхода — параметры её статистического распределения.

Фактически (4) представляют собой с учётом погрешностей нечёткие числа. Эти погрешности имеют различную природу. При оценке интегрального показателя нединамичности предприятия мы имеем дело с погрешностью моделирования. Она включает в себя две классические неустранимые погрешности:

- ограничение число факторов, влияющих на интегральный показатель нединамичности при моделировании (например, в работе [2] рассмотрены три таких фактора);

- погрешность прямых и косвенных измерений величин, входящих в интегральный показатель нединамичности.

В случае с другой переменной входа («Численность сотрудников») погрешность заключается в том, что среднегодовая численность сотрудников может вообще не быть равной реальной численности в течение всего года. Это свойство самой переменной. Погрешность в этом случае может быть представлена, как максимальное или среднее отклонение от среднегодовой численности в течение года.

Для описания нечётких чисел выберем линейные функции принадлежности S , T и Z классов, которые чаще всего используют для моделирования таких объектов [16]. Сами функции принадлежности будем строить из соображения точности переменных входа (4), которая, безусловно, влияет на результат моделирования. Правда, в этом случае стохастичность задачи повышается. Действительно, в общем случае при одних и тех же средних значения переменных входа (4) и разных значениях или даже распределениях среднеквадратичных отклонений результат моделирования будет различным. Тем более, что, как уже отмечалось выше, существует несколько способов представления погрешности переменной входа «Численность сотрудников».

Принимая это во внимание, будем считать, что функция принадлежности равна единице в обозначенных границах (5) нечётких подмножеств базовых термов. При отступлении от левой границы диапазонов (5) влево или правой границы вправо на величину, превышающую погрешность, функция принадлежности равна нулю. Построенные по этим правилам кусочно-линейные функции принадлежности базовых термов (5) представлены на рисунке 2.

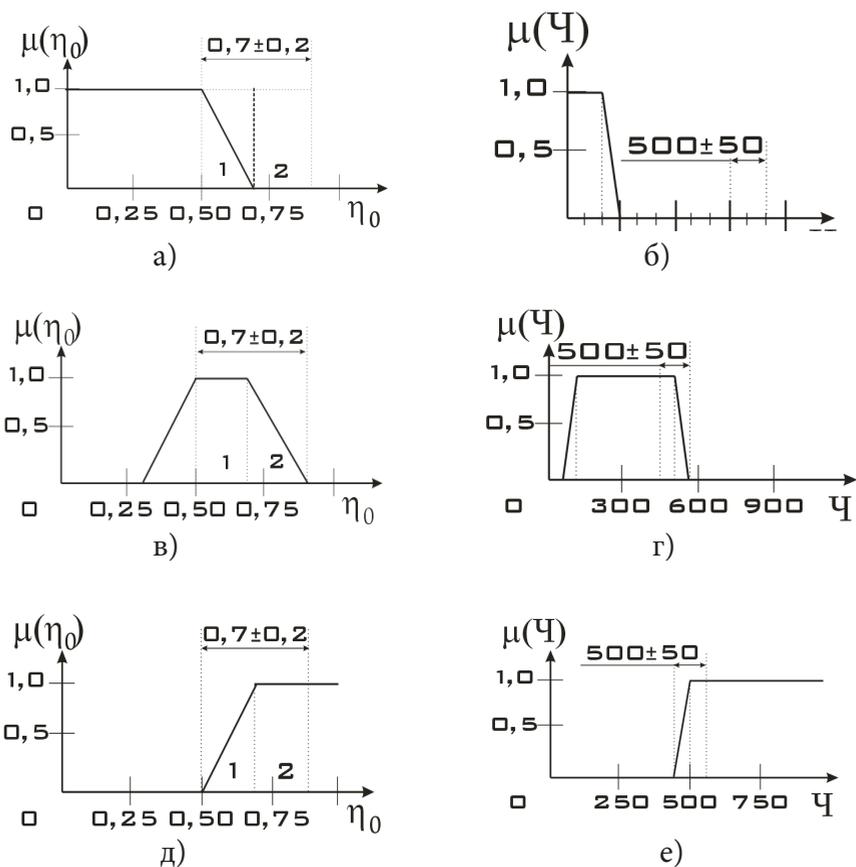


Рис.2. Кусочно-линейные функции принадлежности переменных входа, соответствующие базовым термам: а) малое значение η_0 ; б) малое значение N ; в) среднее значение η_0 ; г) среднее значение N ; д) большое значение η_0 ; е) большое значение N .

На рисунке 2 к построенным функциям принадлежности применены значения переменных входа (4) для определения степени истинности предпосылок предикатных правил (1). Причём, если диапазон значений переменной входа с учётом погрешности оказывается в зоне нулевых значений функции принадлежности (рисунок 2 б), то степень истинности данной предпосылки равна нулю. В ситуации с рисунком 2 б это означает, что предприятие с численностью сотрудников определённно нельзя считать малым. В дальнейшем это будет означать, что часть базы знаний, относящейся к базовому терму «Малое значение» переменной «Численность сотрудников» участвовать в формировании переменной выхода не будет. Опыт предприятий, оказавшихся в этой части базы знаний, нельзя корректно интерпретировать к применительно к моделируемому предприятию со значениями переменных входа (4).

Кусочно-линейные функции принадлежности вместе с координатными осями образуют на плоскости прямоугольники (фигуры 2 на рисунках 2 а и д и фигура 1 на рисунке 2 в) и треугольники (фигуры 1 рисунках 2 а и д и фигура 2 на рисунке 2 в). Для определения степени истинности предпосылок предикатных правил требуется найти ординату центра тяжести фигуры, ограниченной координатными осями, функцией принадлежности и линиями, параллельными оси ординат, абсциссы которых равны граничным значениям соответствующих базовых термов (5). Для применённых значений переменных входа (4) к функциям принадлежности (рисунок 2) вычисленные значения степени истинности приведены в таблице 3. В скобках представлены значения для переменной «Численность сотрудников».

Таблица 3

Значения степени истинности предпосылок предикатных правил для базы знаний в виде лингвистической переменной

Значение переменной «Интегральный показатель нединамичности»	Значение переменной «Численность сотрудников»		
	«Малое значение»	«Среднее значение»	«Большое значение»
«Малое значение»	$\alpha_{11}^* = \frac{1}{6} (\alpha_{12}^* = 0)$	$\alpha_{21}^* = \frac{1}{6} (\alpha_{22}^* = \frac{2}{3})$	$\alpha_{31}^* = \frac{1}{6} (\alpha_{32}^* = \frac{2}{3})$
«Среднее значение»	$a_{41}^* = \frac{2}{3} (a_{42}^* = 0)$	$a_{31}^* = \frac{1}{6} (a_{32}^* = \frac{2}{3})$	$a_{61}^* = \frac{2}{3} (a_{62}^* = \frac{2}{3})$
«Большое значение»	$a_{71}^* = \frac{2}{3} (a_{72}^* = 0)$	$a_{81}^* = \frac{2}{3} (a_{82}^* = \frac{2}{3})$	$a_{91}^* = \frac{2}{3} (a_{92}^* = \frac{2}{3})$

Определив степень истинности каждой предпосылки в аспекте заданных значений переменных входа (4), назначим уровни отсечения предикатных правил. Эти уровни отсечения фактически являются степенью истинности правила в целом. Обычно их определяют как минимальное значение степени истинности входящих в правило предпосылок. В рассматриваемом случае это — минимальное значение из пары приведённых в таблице 3 значений.

Сформируем теперь функции принадлежности переменной выхода для каждого из девяти предикатных правил, используя для этого статистические характеристики предикатных правил (таблица 4).

В таблице 4 под объёмом выборки понимается количество предприятий из базы знаний, соответствующих значениям переменных выхода. Так, например значениям обеих переменных входа «Малое значение» из 100 предприятий, вошедших в базу знаний, соответствует 13. α_1^* — это уровень отсечения правила, определяемый с помощью таблицы 3.

Статистические характеристики переменной выхода

Номер правила	Значение переменной «Интегральный показатель нединамичности»	Значение переменной «Численность сотрудников»	Объём выборки	α_i^*	Статистические характеристики переменной выхода	
					Среднее выборочное значение	Выборочное средне-квадратичное отклонение
1	«Малое значение»	«Малое значение»	13	0	0,911	0,075
2	«Малое значение»	«Среднее значение»	22	$\frac{1}{6}$	0,888	0,057
3	«Малое значение»	«Большое значение»	10	$\frac{1}{6}$	0,918	0,088
4	«Среднее значение»	«Малое значение»	7	0	0,804	0,077
5	«Среднее значение»	«Среднее значение»	10	$\frac{2}{3}$	0,777	0,055
6	«Среднее значение»	«Большое значение»	10	$\frac{2}{3}$	0,814	0,078
7	«Большое значение»	«Малое значение»	6	0	0,428	0,034
8	«Большое значение»	«Среднее значение»	10	$\frac{2}{3}$	0,677	0,091
9	«Большое значение»	«Большое значение»	12	$\frac{2}{3}$	0,606	0,104

Как было отмечено выше, три правила (1-е, 4-е и 7-е) не будут учитываться при формировании комбинированной функции принадлежности переменной выхода, поскольку имеют нулевые уровни отсечения. Это соответствует сужению базы знаний до 74 предприятий вместо ста.

Выберем для построения функции принадлежности кусочно-линейную функцию Т-класса. Фактически это означает необходимость задания на оси абсцисс четырёх точек. Обозначим абсциссы этих точек через a , b , c и d . Тогда, согласно общему виду функции Т-класса [16], она задаётся следующим образом:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ 1, & b < x < c; \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d; \\ 0, & x > d. \end{cases} \quad (6)$$

В работе [14] предлагается использовать для определения границ выборочное среднее квадратичное отклонение. Тогда точки b и c можно определить как:

$$b = \bar{y} - \sigma_y; \quad (7)$$

$$c = \bar{y} + \sigma_y,$$

где \bar{y} и σ_y — соответственно среднее выборочное значение и выборочное среднее квадратичное отклонение, приведённые в двух последних столбцах таблицы 4.

Для определения a и d в [14] предлагается использовать правило «трёх сигм». Однако в данном случае большинство величин переменных выхода, представленных соответствующими объёмами выборки внутри каждого предикатного правила, не распределены по нормальному закону. Поэтому будем считать значимым отклонение в $2\sigma_y$ и установим следующие значения a и d :

$$a = \bar{y} - 2\sigma_y; \quad (8)$$

$$d = \bar{y} + 2\sigma_y,$$

Это более строгие условия, допускающие ненулевые значения функции принадлежности в области, не превышающей величину доверительного интервала среднего выборочного значения в каждую сторону. Подставляя (7) и (8) в (6), получим функции принадлежности переменной выхода для каждого предикатного правила. На таблице 5 представлены значения a , b , c и d , соответствующие статистическим характеристикам переменной выхода (таблица 4).

При построении функции принадлежности следует иметь в виду, что значения c и d не могут превышать единицу, т.к. речь идёт о вероятности. В таблице 5 есть три таких значения. В этом случае следует отсекал функцию принадлежности прямой $y = 1$.

Таблица 5

Абсциссы точек, определяющих вид функции принадлежности переменной выхода

Параметр	Номер предикатного правила (см. таблица 4)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	0,761	0,774	0,742	0,650	0,667	0,658	0,360	0,495	0,398
b	0,836	0,831	0,830	0,727	0,722	0,736	0,394	0,586	0,502
c	0,986	0,945	1,006	0,881	0,832	0,892	0,462	0,768	0,710
d	1,061	1,002	1,094	0,958	0,887	0,970	0,496	0,859	0,814

Воспользуемся далее алгоритмами Мамдани и Ларсена для построения комбинированной функции принадлежности переменной выхода. Согласно алгоритму Мамдани, с учётом уровня отсечения функция принадлежности будет иметь вид [16]:

$$\mu_i^*(P_+) = \min\{\alpha_i^*, \mu_i(P_+)\}, \quad (9)$$

где P_+ — вероятность успешного преодоления кризиса предприятием.

По алгоритму Ларсена с учётом масштабирования [16]:

$$\mu_i^*(P_+) = \alpha_i^* \cdot \mu_i(P_+), \quad (10)$$

Полученные с помощью (9) и (10) отсечённые и отмасштабированные функции принадлежности для предикатных правил, уровень отсечения которых больше нуля, показаны на рисунке 3.

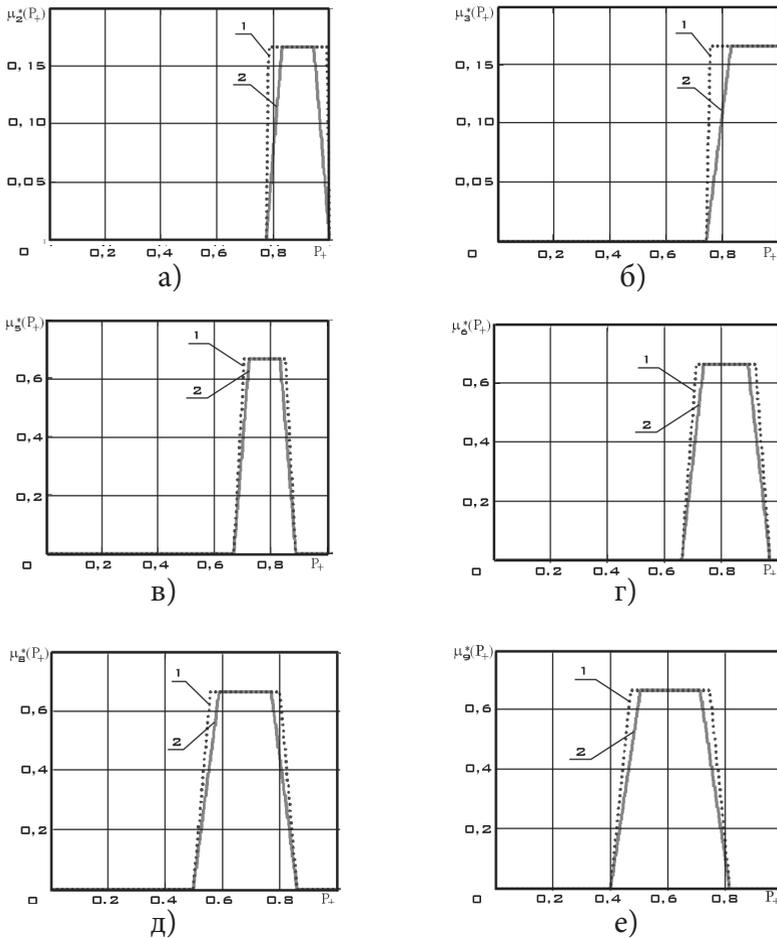


Рис.3. Отсечённые (1) и отмасштабированные (2) функции принадлежности предикатных правил (таблица 4): а) № 2; б) № 3; в) № 5; г) № 6; д) № 8; е) № 9

Далее используем операцию максимизации и суммирования для построения комбинированной функции принадлежности переменной выхода [14; 16]:

$$\mu_{\Sigma}^*(P_+) = \max \{ \mu_2^*(P_+), \mu_3^*(P_+), \mu_5^*(P_+), \mu_6^*(P_+), \mu_8^*(P_+), \mu_9^*(P_+) \}. \quad (11)$$

$$S\mu_{\Sigma}^*(P_+) = \sum_{i=1}^9 \mu_i^*(P_+). \quad (12)$$

На рисунке 4 представлены построенные с помощью (11) и (12) комбинированные функции принадлежности переменной выхода для отсечённых по алгоритму Мамдани и отмасштабированных по алгоритму Ларсена функций принадлежности (см. рисунок 3).

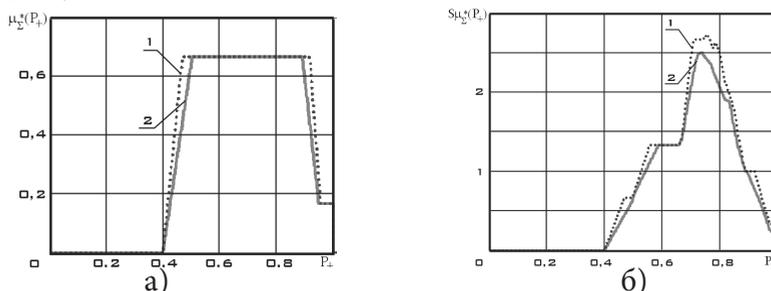


Рис.4. Комбинированные функции принадлежности переменной выхода для отсечённых (1) и отмасштабированных (2) функций принадлежности, полученные путём: а) максимизации (уравнение (11)); б) суммирования (уравнение (12))

Приведение к чёткости центроидным методом [16] даёт результаты, представленные в таблице 6.

Таким образом, использование базы знаний для 100 различных предприятий позволило получить оценку успешного преодоления кризиса предприятием с переменными входа (4).

Таблица 6

Оценка вероятности успешного преодоления кризиса исследуемым предприятием

Используемый алгоритм	Способ построение комбинированной функции принадлежности	
	Максимизация	Суммирование
Мамдани	0,6933	0,7210
Ларсена	0,6959	0,7202

Обсуждение и выводы. Полученные оценки кризисоустойчивости несколько отличаются друг от друга и от значения, приведённого в работе [14] ($P_+ \approx 0,670$). Отличия с работой [14] объясняются расширением базы знаний экспертной системы. Если в [14] использовалось 38 предприятий (с ненулевым значением уровня отсечения — 33), то в данной работе — 100 предприятий (с ненулевым значением уровня отсечения — 74).

С одной стороны, изменение базы знаний, безусловно, влияет на результат работы экспертной системы. Поэтому для получения корректной оценки база знаний должна быть достоверной и репрезентативной.

Это касается не только общего количества предприятий в базе, но и их распределения по предикатным правилам. Внутри каждого из девяти предикатных правил должно быть достаточное количество предприятий для репрезентативной оценки статистических характеристик переменной выхода.

С другой стороны, более чем двукратное расширение базы знаний даёт меньшее отличие в оценках, чем применение разных подходов в формировании комбинированной функции принадлежности. Это является особенностью самого аппарата нечёткой логики. То же самое можно было бы наблюдать, если заменить центроидный метод приведения к чёткости каким-либо другим. Например, метод среднего максимума (Middle-of-Maxima) [16] дал бы значения оценок: 0,7566 и 0,7360 для алгоритмов Мамдани и Ларсена соответственно. Всё это связано с нечётким представлением переменной выхода, которое заложено в сути самого подхода. В случае нецелесообразности оставления переменной выхода в нечёткой форме можно следовать идее гарантированного результата, выбирая из всех оценок наименьшую.

Сравнение оценок, полученных разными алгоритмами формирования функций принадлежности (путём отсека — алгоритм Мамдани и масштабирования — алгоритм Ларсена), показывает их хорошее совпадение. Несмотря на принципиальные различия в подходах формирования функций принадлежности некоторые различия комбинированных функций принадлежности (рисунок 4), интегральные оценки после приведения к чёткости практически идентичны. При этом данный результат характерен для комбинированных функций принадлежности, сформированных как методом максимизации, так и методом суммирования. В данном случае применения различных алгоритмов показало отсутствие значимых различий в оценках и оснований для предпочтения одного из них другому.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Crozet M. Friendly Fire: the Trade Impact of the Russia Sanctions and Counter-Sanctions / M. Crozet, J. Hinz // 68th Economic Policy Panel Meeting. — Vienna, 2018. — 4–5 oct. — P. 1–52.
2. Sedelnikov A. V. Main Criteria Which Help to Identify Enterprises with Weak Dynamic / A. V. Sedelnikov, E. S. Khnyryova // International Business Management. — 2016. — Vol. 10, no 18. — P. 4311–4312.
3. Sedelnikov A. V. Developing the Expert System for Assessing the Resilience to Crisis of Enterprises with Weak Dynamics / A. V. Sedelnikov, E. S. Khnyryova // Advances in Economics, Business and Management Research. — 2020. — Vol. 128. — P. 2612–2616.

4. Camps J. A Matter of Learning: how Human Resources Affect Organizational Performance / J. Camps, R. Luna-Arocas // *British Journal of Management*. – 2012. – Vol. 23, no. 1. – P. 1–21.
5. Mazzocchi M. The 2010 Volcanic ash Cloud and its Financial Impact on the European Airline Industry / M. Mazzocchi, F. Hansstein, M. Ragona // *CESifo Forum*. – 2010. – No. 2. – P. 92–100.
6. McKibbin W. The Global Macroeconomic Impacts of COVID-19: Seven Scenarios / W. McKibbin, R. Fernando // *Brookings*. – 2020. – 2 March. – URL: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/03/20200302_COVID19.pdf.
7. Shangguan Z. What Caused the Outbreak of COVID-19 in China: From the Perspective of Crisis Management / Z. Shangguan, M. Y. Wang, W. Sun // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, iss. 9. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/341260474>.
8. McKee M. If the World Fails to Protect the Economy, COVID-19 will Damage Health not just now but also in the Future / M. McKee, D. Stuckler // *Nature Medicine*. – 2020. – Vol. 26, iss. 5. – P. 640–642.
9. Yamin M. Counting the Cost of COVID-19 / M. Yamin // *International Journal of Information Technology*. – 2020. – Vol. 12. – P. 311–317.
10. Boissay F. Macroeconomic Effects of Covid-19: an Early Review / F. Boissay, P. Rungcharoenkitkul // *BIS Bulletin*. – 2020. – No. 7. – P. 1–7.
11. Michie J. The Covid-19 Crisis – and the Future of the Economy and Economics / J. Michie // *International Review of Applied Economics*. – 2020. – No. 34. – P. 301–303.
12. Anti-crisis Approach in the Industrial Enterprise Management: Methodological Tools of Preventive Regulation / O. Maslak, P. Sokurenko, N. Grishko [et al.] // *SHS Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 73. – URL: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207301018>.
13. The Socio-Economic Implications of the Coronavirus and COVID-19 Pandemic: A Review / M. Nicola, Z. Alsafi, C. Sohrabi [et al.] // *International Journal of Surgery*. – 2020. – Vol. 78. – P. 185–193.
14. Хнырева Е. С. Оценка кризисоустойчивости предприятия со слабой динамикой с использованием нечёткой логики / Е. С. Хнырева // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2019. – Т. 21, № 5 (91). – С. 144–153.
15. Седельников А. В. Формирование интегрального показателя нединамичности предприятия со слабой динамикой для эффективного управления им в кризисный период / А. В. Седельников, Е. С. Хнырева // *Экономика и управление*. – 2017. – № 6 (140). – С. 36–42.
16. Рыбин В. В. Основы теории нечётких множеств и нечёткой логики / В. В. Рыбин. – Москва: Изд-во МАИ, 2007. – 96 с.
17. Ермоленко Л. И. Развитие методов оценки степени необходимости организационных изменений и готовности промышленных предприятий к их проведению: дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / Л. И. Ермоленко. – Самара, 2011. – 217 с.

18. Царев В. В. Оценка конкурентоспособности предприятий (организаций). Теория и методология / В. В. Царев, А. А. Кантарович, В. В. Черныш. — Москва: Юнити- Дана, 2008. — 799 с.

19. Нечеткий критерий нединамичности: патент № 2020611151 Рос. Федерация / А. В. Седельников, Е. С. Хнырева; заявитель и патенто-обладатель Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С. П. Королева; заяв. 31.12. 2019; опубл. 03.02.2020. — URL: <https://ssau.ru/>.

REFERENCES

1. Crozet M., Hinz J. Friendly Fire: the Trade Impact of the Russia Sanctions and Counter-Sanctions. *68th Economic Policy Panel Meeting*, Vienna, 2018, October 4–5, pp. 1–52.

2. Sedelnikov A.V., Khnyryova E. S. Main Criteria Which Help to Identify Enterprises with Weak Dynamic. *International Business Management*, 2016, vol. 10, no. 18, pp. 4311–4312.

3. Sedelnikov A.V., Khnyryova E. S. Developing the Expert System for Assessing the Resilience to Crisis of Enterprises with Weak Dynamics. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 2020, vol. 128, pp. 2612–2616.

4. Camps J., Luna-Arocas R. A Matter of Learning: how Human Resources Affect Organizational Performance. *British Journal of Management*, 2012, vol. 23, no. 1, pp. 1–21.

5. Mazzocchi M., Hansstein F., Ragona M. The 2010 Volcanic ash Cloud and its Financial Impact on the European Airline Industry. *CESifo Forum*, 2010, no. 2, pp. 92–100.

6. McKibbin W., Fernando R. The Global Macroeconomic Impacts of COVID-19: Seven Scenarios. *Brookings*, 2020, March 2. Available at: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/03/20200302_COVID19.pdf.

7. Shangguan Z., Wang M. Y., Sun W. What Caused the Outbreak of COVID-19 in China: From the Perspective of Crisis Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, iss. 9. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/341260474>.

8. McKee M., Stuckler D. If the World Fails to Protect the Economy, COVID-19 will Damage Health not just now but also in the Future. *Nature Medicine*, 2020, vol. 26, iss. 5, pp. 640–642.

9. Yamin M. Counting the Cost of COVID-19. *International Journal of Information Technology*, 2020, vol. 12, pp. 311–317.

10. Boissay F., Rungcharoenkitkul P. Macroeconomic Effects of Covid-19: an Early Review. *BIS Bulletin*, 2020, no. 7, pp. 1–7.

11. Michie J. The Covid-19 Crisis — and the Future of the Economy and Economics. *International Review of Applied Economics*, 2020, no. 34, pp. 301–303.

12. Maslak O., Sokurenko P., Grishko N., Buriak I., Maslak M. Anticrisis Approach in the Industrial Enterprise Management: Methodological Tools of Preventive Regulation. *SHS Web of Conferences*, 2020, vol. 73. Available at: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207301018>.

13. Nicola M., Alsafi Z., Sohrabi C., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha M., Agha R. The Socio-Economic Implications of the Coronavirus and COVID-19 Pandemic: A Review. *International Journal of Surgery*, 2020, Vol. 78, pp. 185–193.

14. Khnyryova E. S. Evaluation of Crisis Resistance of the Enterprise with Weak Dynamics with use of Fuzzy Logic. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2019, vol. 21, no. 5 (91), pp. 144–153. (In Russian).

15. Sedelnikov A.V., Khnyryova E. S. *Formation of an Integrated Non-Agility Index of an Enterprise with Poor Agility for Efficient Management during a Downturn. Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*, 2017, no. 6 (140), pp. 36–42. (In Russian).

16. Rybin V. V. *Osnovy teorii nechetskikh mnozhestv i nechetkoi logiki* [Fundamentals of Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic]. Moscow, MAI Publ., 2007. 96 p.

17. Ermolenko L. I. *Razvitie metodov otsenki stepeni neobkhodimosti organizatsionnykh izmenenii i gotovnosti promyshlennykh predpriyatii k ikh provedeniyu. Kand. Diss.* [Development of methods for assessing the degree of need for organizational change and industry preparedness to undertake it. Cand. Diss.]. Samara, 2011. 217 p.

18. Tsarev V.V., Kantarovich A. A., Chernysh V. V. *Otsenka konkurentosposobnosti predpriyatii (organizatsii). Teoriya i metodologiya* [Assessment of the Competitiveness of Enterprises (Organizations). Theory and Methodology]. Moscow, Yuniti-Dana Publ., 2008. 799 p.

19. Sedelnikov A.V., Khnyryova E. S. *Nechetkii kriterii nedinamichnosti. Patent no. 2020611151, Rossiiskaya Federatsiya, zayavitel' i patentoobladatel' Samarskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet im. akad. S. P. Koroleva; zayav. 31.12. 2019; opubl. 03.02.2020.* [Fuzzy Non-dynamic Criterion. Patent, no. 2020611151, Russian Federation, Applicant and Patent Holder Samara University, <url>. 31.12. 2019, publ. 03.02.2020]. Samara, 2020. Available at: <https://ssau.ru/>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей Валерьевич Седельников — доктор технических наук, профессор, доцент кафедры космического машиностроения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: axe_backdraft@inbox.ru.

Екатерина Сергеевна Хнырева — аспирант, кафедра высшей математики, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: khnyryova@gmail.com.

AUTHORS INFORMATION

Andrey V. Sedelnikov – Dr. hab. in Technical Sciences, Professor, Associate Professor of Space Engineering, Samara National Research University named after S. P. Korolev, Samara, Russian Federation, e-mail: axe_back@inbox.ru.

Ekaterina S. Khnyryova – Graduate Student, Department of Higher Mathematics, Samara National Research University named after S. P. Korolev, Samara, Russian Federation, e-mail: khnyryova@gmail.com.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Седельников А. В., Хнырева Е. С. Сравнительный анализ кризисоустойчивости предприятий со слабой динамикой с использованием экспертной системы и алгоритмов Мамдани и Ларсена / А. В. Седельников, Е. С. Хнырева // System Analysis & Mathematical Modeling. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 18–36.

FOR CITATION

Sedelnikov A. V., Khnyryova E. S. Comparative analysis of the crisis resilience of enterprises with weak dynamics using the expert system and Mamdani and Larsen algorithms. System Analysis & Mathematical Modeling, 2020, vol. 2, no. 2, pp. 18–36. (In Russian).