

УДК 332.1:571.54/55

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СОВОКУПНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОЦЕССА МЕТОДОМ НЕЧЁТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА (НА ПРИМЕРЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ)

Ковальчук Л.Б., Лесков Б.П.

*Читинский институт Байкальского государственного университета,  
Чита, e-mail: kovalchuklb@mail.ru*

Обоснована необходимость разработки методических подходов к оценке регионального социально-экономического развития. Для оценки регионального социально-экономического развития предлагается использовать показатель интегральной результативности процессов, протекающих в экономической и социальной сферах. Для оценки выделены процессы, связанные с удовлетворением потребностей населения. Показано, что многообразие региональных процессов, объединённых в совокупный региональный процесс, с точки зрения возможностей оценки следует рассматривать в качестве сложного нелинейного объекта, оценку которого возможно осуществить на основе интеллектуальных технологий идентификации и нечёткого логического вывода. Возможности данных технологий использованы для оценки результативности совокупного регионального процесса в Забайкальском крае. Представлена иерархическая база знаний, на основе которой осуществлена свёртка показателей результативности региональных процессов. Разработана компьютерная экспертная система, позволяющая автоматизировать процесс оценки.

**Ключевые слова:** совокупный региональный процесс, нечёткая логика, нечёткая база знаний, лингвистические переменные, аквизитивные, диссипативные процессы

## THE EVALUATION OF THE GROWTH REGIONAL PROCESS'S RESULTS BY MEANS OF FUZZY LOGIC IDENTIFICATION METHOD (ON TRANSBAIKAL KRAY EXAMPLE)

Kovalchuk L.B., Leskov B.P.

*Chita Institute of Baikal State University, Chita, e-mail: kovalchuklb@mail.ru*

The article proves that it is necessary to work out some approaches to regional socio-economic development evaluation. To evaluate regional socio-economic development is to use the integral index of social and economic processes taking place in the region. The processes to evaluate are the processes that satisfy some human needs. It is proved that various regional processes form complex system that requires to use intellectual technologies to get some evaluation. The opportunities of the proposed technologies are used to evaluate the processes in Transbaikal Kray. The article presents the hierarchically arranged knowledge base used to get the integral index. To automatize the process of evaluation the computer expert system were work out.

**Keywords:** growth regional process, fuzzy logic, fuzzy knowledge base, linguistic terms, acquisition, dissipative process

Оценка интегральных результатов социально-экономического развития региона представляет собой одну из сложнейших в методическом аспекте и недостаточно проработанных в теоретико-методологическом плане проблем. Вместе с тем актуальность решения данной проблемы в настоящий момент повышается в связи с углублением регионального неравенства, обострением межрегиональной конкуренции, необходимостью разработки программ, направленных на минимизацию негативных последствий внешнеполитических и внешнеэкономических вызовов. [6, с. 767–774]. С нашей точки зрения получить достаточно полноценную, комплексную оценку социально-экономического развития региона позволяет интегральный показатель, отражающий результа-

ты процессов, протекающих в экономике и социальной сфере. При этом спецификой данной оценки является возможность произвести расчёты на основе нечёткого логического вывода, реализованного компьютерной экспертной системой в пакете MATLAB. Нечёткий логический вывод позволяет решить проблему свёртки разнокачественных показателей, учесть их иерархические взаимосвязи, учесть значимость отдельных процессов в общей структуре совокупного регионального процесса. Представим возможность данной системы на примере оценки результативности совокупного регионального процесса в Забайкальском крае.

Исходным моментом оценки является представление совокупного регионального процесса в виде дерева нечёткого логического вывода (рис. 1).

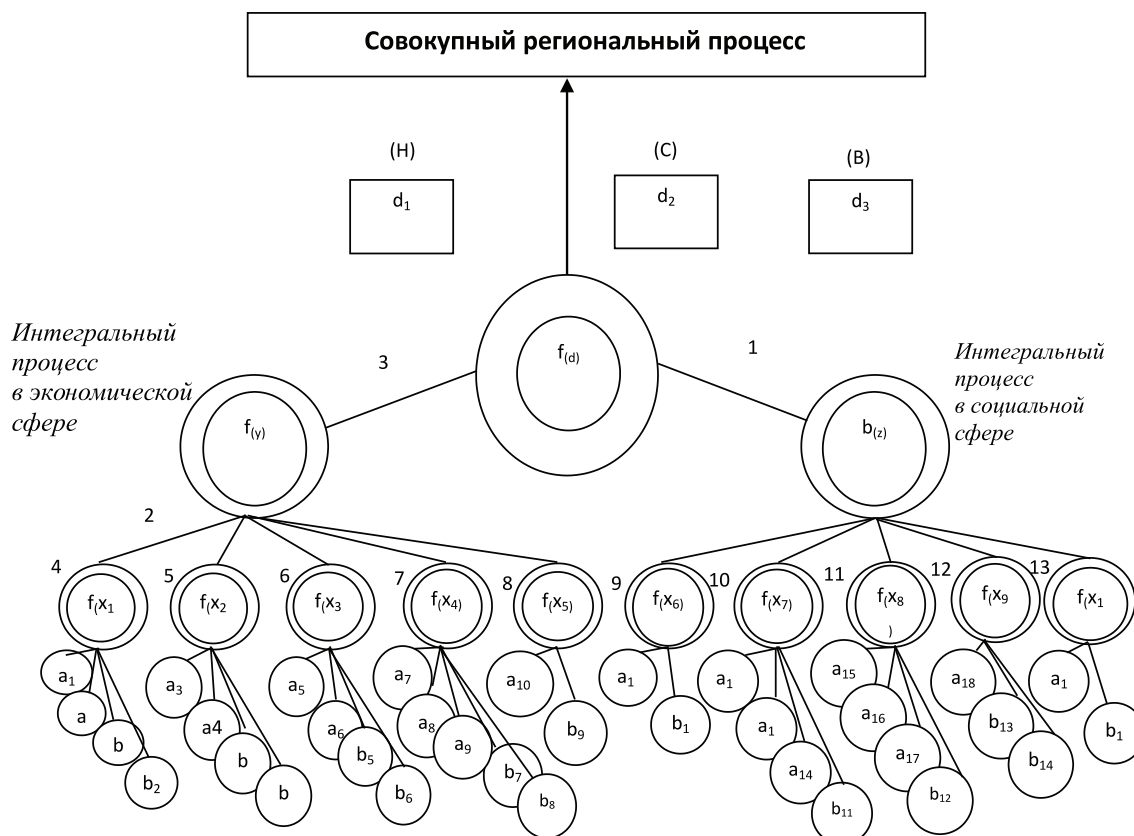


Рис. 1. Дерево нечеткого логического вывода

Представленное на рис. 1 дерево нечёткого логического вывода отражает структуру совокупного регионального процесса в Забайкальском крае. Основание «дерева» образуют процессы, нацеленные на производство товаров, услуг, благ, необходимых для удовлетворения материальных и нематериальных потребностей, названные аквизитивными ( $a_0$ – $a_{19}$ ) [6, с. 26–31]. Кроме того, в основании «дерева» размещаются процессы генерирующие определённые проблемы, вред для развития региональной социально-экономической системы, диссипативные процессы ( $b_1$ – $b_{17}$ ). Данные процессы объединяются в агрегированные экономические и социальные процессы, нацеленные на удовлетворение определённых потребностей населения ( $X_1$ – $X_{10}$ ). Таким образом, уровень удовлетворения каждой потребности формируется не только с учётом произведённых благ, но и с учётом барьеров для их производства и потребления. Агрегированные экономические и социальные процессы формируют интегральный экономический и интегральный социальный процессы, которые, в свою очередь, формируют результативность совокупного регионального процесса (табл. 1).

Учитывая, что выбор процессов, протекающих на территории Забайкальского края, для включения в состав совокупного регионального процесса и их объединение в агрегированные подгруппы осуществляется в соответствии с потребностями населения, оценка интегральной результативности экономических и социальных процессов представляется целесообразной, так как позволяет определить, насколько сбалансированным является удовлетворение материальных и нематериальных потребностей населения края и позволяет сделать вывод о том, насколько устойчивым, с позиций благосостояния, является региональное развитие [1, с. 74–82].

Суть предлагаемого методического подхода к оценке результативности совокупного регионального процесса заключается в использовании интеллектуальных технологий идентификации, которые оперируют нечёткими базами знаний, связывающими входные и выходные переменные. Данные базы знаний представляют собой высказывания экспертов относительно нелинейного объекта: ЕСЛИ <входы>, ТО <выход>. В качестве входных переменных в настоящем исследовании использовались показатели

результативности региональных процессов. Выходной переменной является интегральная оценка результативности совокупного регионального процесса. Таким образом, расчёт

интегрального показателя оценки результативности совокупного регионального процесса сводится к свёртке показателей результативности на основе нечёткой базы знаний.

Таблица 1

## Структура совокупного регионального процесса

Интегральный экономический процесс (Y)		Интегральный социальный процесс (Z)	
Акquisитивные процессы (a0–a10)	Диссипативные процессы (b1–b9)	Акquisитивные процессы (a11–a19)	Диссипативные процессы (b10–b15)
Агрегированный экономический процесс, удовлетворяющий потребность в продовольствии (X1)		Агрегированный социальный процесс, удовлетворяющий потребность в труде (X6)	
Сельскохозяйственное производство (a0); производство продукции пищевой промышленности (a1); услуги розничной торговли (a2)	деградация сельскохозяйственных угодий (b1); рост цен на продовольственные товары (b2)	Предпринимательство (a11)	маргинализация населения (b10)
Агрегированный экономический процесс, удовлетворяющий потребность в жилье (X2)		Агрегированный социальный процесс, удовлетворяющий потребность в физическом здоровье (X7)	
жилищного строительства (a3); улучшение жилищных условий (a4)	удорожание жилья (b3); удорожание жилищно-коммунальных услуг (ЖКУ) (b4)	создание сети больничных учреждений (a12); создание сети поликлинических учреждений (a13); обновление основных фондов учреждений социальной сферы (a14)	пауперизация населения (b11)
Агрегированный экономический процесс, удовлетворяющий потребность в финансовых ресурсах (X3)		Агрегированный социальный процесс, удовлетворяющий потребность в общекультурных компетенциях (X8)	
модернизация производства (a5); создание инноваций (a6)	удорожание промышленных товаров (b5); бюрократизация (b6)	создание сети дошкольных учреждений (a15); создание сети образовательных учреждений (a16); обновление основных фондов образовательных учреждений (a17)	ухудшение условий обучения (b12)
Агрегированный экономический процесс, удовлетворяющий потребность в товарах, услугах, необходимых для жизнедеятельности (X4)		Агрегированный социальный процесс, удовлетворяющий потребность в приобщении к ценностям и достижениям культуры (X9)	
добыча полезных ископаемых (a7); производство товаров обрабатывающих производств (a8), производство и распределение энергии (a9)	износ основных фондов (b7); загрязнение атмосферного воздуха от стационарных источников (b8)	социокультурное развитие (a18)	социокультурная деградация населения (b13); криминализация населения (b14)
Агрегированный экономический процесс, удовлетворяющий потребность в транспортной мобильности (X5)		Агрегированный социальный процесс, удовлетворяющий потребность в информации (X10)	
услуги транспорта (a10)	дорожно-транспортные преступления (b9)	использование информационно-коммуникационных технологий (a19)	удорожание информационно-коммуникационных технологий (b15)

**Таблица 2**  
Знание о соотношении 1

Результативность интегрального экономического процесса (Y)	Результативность интегрального социального процесса (Z)	Результативность совокупного регионального процесса (D)
Н	Н	Н
Н	С	
С	Н	
С	С	С
В	Н	
Н	В	
В	В	В
В	С	
С	В	

Примечание. Н – результативность низкая; С – результативность средняя; В – результативность высокая.

Для оценки входных и выходной переменных использовалась единая шкала качественных термов: Н – «низкий», С – «средний», В – «высокий». Каждый из данных термов представляет собой нечёткое множество, заданное с помощью соответствующей функции принадлежности  $\mu_A(x)$ , принимающей значения на множестве  $M = [0, 1]$ . Функция принадлежности указывает степень принадлежности (от 0 до 1) элемента  $x$  (показателя результативности процесса) нечёткому множеству. Используя данные термы, были сформулированы продукционные правила, отражающие знания о взаимосвязях между процессами и показателями их результативности, выраженными нечётким термами, на каждом уровне [2, с. 118–129]. Пример одного из продукционных правил, входящих в нечёткую базу знаний, – знания о соотношении 1 (то есть о взаимосвязи интегрального экономического, интегрального социального и совокупного регионального процессов), представлен в табл. 2.

Сформулированная экспертами база данных позволяет записать систему нечётких уравнений, связывающих показатели результативности региональных процессов (входные переменные) со значениями термов «низкий», «средний», «высокий» выходной переменной. Для этого использовались операции И-min ( $\cdot$ ) и ИЛИ-max ( $\vee$ ) [4, с. 53–61]. Так, система нечётких уравнений, отражающих знания о соотношении 1, представляет собой:

$$\begin{aligned} \mu_n(D) &= [\mu_n(Y) \cdot \mu_n(Z)] \vee [\mu_n(Y) \cdot \mu_c(Z)] \vee [\mu_c(Y) \cdot \mu_n(Z)]; \\ \mu_c(D) &= [\mu_c(Y) \cdot \mu_c(Z)] \vee [\mu_v(Y) \cdot \mu_n(Z)] \vee [\mu_n(Y) \cdot \mu_v(Z)]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_v(D) &= \\ &= [\mu_v(Y) \cdot \mu_v(Z)] \vee [\mu_v(Y) \cdot \mu_c(Z)] \vee [\mu_c(Y) \cdot \mu_v(Z)]. \end{aligned}$$

Учитывая значительное количество входных переменных, процесс расчёта интегрального показателя совокупного регионального процесса является достаточно трудоёмким. Значительно облегчить и ускорить расчёт данного показателя позволяет компьютерная экспертная система нечёткого логического вывода, основанная на использовании сформулированных нами продукционных правил. Для построения данной компьютерной системы была выбрана среда MATLAB со специальным пакетом расширения Fuzzy Logic Toolbox. Особенностью предлагаемой системы является использование алгоритма Mamdani, который работает по принципу «чёрного ящика»: количественные значения поступают на вход в чёрный ящик и появляются на выходе из него [3]. Среда MATLAB позволяет создать удобный графический интерфейс для работы с системами нечеткого вывода (рис. 2).

Главное окно приложения содержит поля для ввода, расположенные в виде дерева. Представленный на рис. 2 интерфейс используется для ввода значений показателей результативности процессов нижнего уровня (акquisитивных и диссипативных), протекающих в экономической и социальной сферах и получения значений агрегированных и интегральных показателей, а также показателя результативности совокупного регионального процесса. В отдельном файле (\*.txt) была организована запись степеней принадлежности выходных переменных нечётким термам, позволяющая сделать вывод о принадлежности лингвистических переменных (результативности региональных процессов) нечётким термам «низкий», «средний», «высокий». Таким образом, была получена нечёткая оценка результативности агрегированных, интегральных процессов, а также результативности совокупного регионального процесса, которая представляется более корректной, так как ближе к естественным языкам и человеческому мышлению, которое, по мнению учёных-психологов, хранит полученную информацию в виде лингвистических переменных и нечётких термов.

Возможности построенной компьютерной экспертной системы позволили оценить уровень результативности процессов, протекающих в Забайкальском крае, и рассчитать интегральный показатель совокупного регионального процесса (табл. 3).

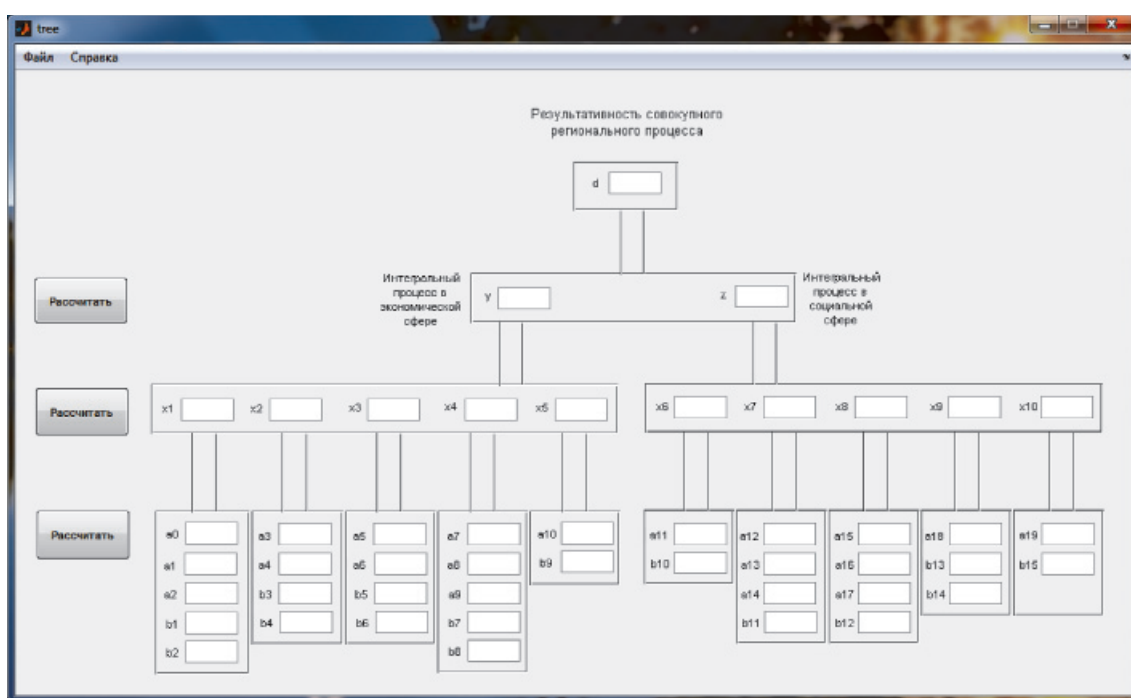


Рис. 2. Главное окно приложения

Таблица 3

Оценка результативности интегральных процессов  
в Забайкальском крае, выраженная нечёткими значениями

Наименование показателя результативности	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Интегральный экономический процесс	С	Н	С	С	С	С	С	С	С	С	С
Интегральный социальный процесс	С	С	Н	Н	С	С	С	Н	Н	Н	С
Совокупный региональный процесс	С	Н	Н	Н	С	С	С	Н	Н	Н	С

Примечание. Н – результативность низкая; С – результативность средняя; В – результативность высокая.

Оценка результативности процессов, протекающих в экономике и социальной сфере Забайкальского края, представленная в табл. 3, демонстрирует низкую и среднюю результативность региональных процессов, а следовательно, неудовлетворённость потребностей населения, необходимых для нормальной жизнедеятельности и развития. Волнообразный характер динамики результативности совокупного регионального процесса в диапазоне «низкий» – «средний», по нашему мнению, следует счи-

тать признаком стагнации в региональном развитии.

Таким образом, использование интеллектуальных технологий идентификации представляется достаточно перспективным направлением исследований регионального развития, так как созданные на их основе экспертные системы дают комплексную оценку региональных процессов, факторов развития, позволяют исследовать их динамику и «проигрывать» различные сценарии регионального развития, определяя наиболее эффективные в стратегическом отношении.

**Список литературы**

1. Демина М.П. Благополучие населения: концепции, проблемы и решения / М.П. Демина, М.А. Хажеева. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2007. – 207 с.
2. Ковальчук Л.Б. Процессная модель региональной социально-экономической системы. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2014. – 149 с.
3. Мелихова О.А. Нечеткие интеллектуальные системы // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2001. – № 1 (5). – <http://pitis.tsure.ru>.
4. Ротштейн А.П. Идентификация нелинейных объектов нечёткими базами знаний / А.П. Ротштейн, Д.И. Кательников // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – № 5. – С. 53–61.
5. Чупров С.В. Особенности управления инновационной реиндустриализацией в нестационарной среде региональной экономики // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2015. – Т. 25, № 5. – С. 767–774.
6. Шиховцева Л.С. Методологические подходы к исследованию региона // Вестник БФУ им. И. Канта. – 2010. – № 3. – С. 26–31.

**References**

1. Demina M. P. Blagosostojanie naselenija: koncepcii, problemy i reshenija [The well-being of the population: concepts, problems and solutions]. Irkutsk, BSUEL Publ., 2007. 207 p.
2. Kovalchuk L.B. Processnaja model regionalnoj socialno-jekonomicheskoj sistemy [Process model of regional social and economic system]. Irkutsk, BSUEL Publ., 2014. 149p.
3. Melihova O.A. Nechetkie intellektualnye sistemy [Fuzzy intelligent systems]. Advanced information technologies and intelligent systems, no. 1 (5) 2001, available at <http://pitis.tsure.ru>.
4. Rotshtejn A.P. Identifikacija nelinejnyh obektov nechjotkimi bazami znaniy [Identification of nonlinear objects fuzzy knowledge bases]. Cybernetics and Systems Analysis. 1998. no. 5, pp. 53–61.
5. Chuprov S.V. Osobennosti upravlenija innovacionnoj re-industrializaciej v nestacionarnoj srede regionalnoj jekonomiki [Features of management of innovative industrialization in non-stationary environment of the regional economy]. News of Irkutsk State Economic Academy. 2015. Vol. 25. no. 5, pp. 767–774.
6. Shihovceva L.S. Metodologicheskie podhody k issledovaniju regiona [Methodological approaches to the study of the region]. Bulletin BFU . 2010. pp. 26–31.