

11.3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРО- ЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ

Терелянский П.В., д.э.н., к.т.н., доцент,
зав. кафедрой «Информационные
системы в экономике»;

Костикова А.В., магистр экономики,
старший преподаватель кафедры
«Информационные системы в экономике»

*Волгоградский государственный
технический университет*

В статье предложен новый подход к оценке качества жизни, который базируется на концепции динамических нечетких множеств. Разработан алгоритм построения динамических нечетких функций принадлежности, описывающих нечеткие подмножества уровней значений частных и интегрального показателя качества жизни. Каркас динамических нечетких функций принадлежности формируется из реперных и бифуркационных точек, для которых даны описания. Для поиска неизвестных точек применяются методы аппроксимации. При определении уровня каждого индикатора качества жизни предлагается использовать кластерное распределение, на основе пяти сформированных лингвистических термов. Предложен подход к решению задачи ранжирования критериев альтернатив на основе вычисления площадей фигур, ограниченных соответствующими функциями принадлежности. Интегральный показатель качества жизни получен на основе аддитивной свертки. Указано соответствие между полученным значением класса интегрального показателя качества жизни и уровнем социального риска. На основе разработанной методики произведен расчет интегрального показателя качества жизни населения Волгоградской агломерации за 2009-2010 гг.

Отечественными и зарубежными специалистами разработаны различные методики оценки качества жизни [5, 7-9]. Современные методики исследования качества жизни населения значительно различаются между собой по целям оценки и используемому инструментарию. С определенной долей условности можно выделить две группы критериев оценки: оценки, основанные на статистической информации и оценки населения, основанные на социологических опросах, при которых респондентов просят высказать свое отношение к тем или иным сторонам их жизни. При этом критерии оценки качества жизни должны учитывать как объективные характеристики (потребление материальных благ, продолжительность жизни, система образования и др.), так и субъективное восприятие людьми условий существования. Ряд документов [1-3] указывает на стратегическое значение надлежащей оценки качества жизни населения, что обуславливает необходимость разработки комплексной методики оценки качества жизни населения отдельной территории. Для достижения намеченной цели поставлены и выполнены следующие задачи:

- сформировать оптимальную номенклатуру показателей для оценки качества жизни населения;
- разработать оптимальную методику оценки качества жизни, которая позволит учитывать объективные и субъективные оценки;
- оценить качество жизни Волгоградской агломерации на основе разработанной методики.

Особенности анализа качества жизни вытекают из природы самой категории.

- В первую очередь необходимо отметить, что качество жизни – чрезвычайно широкое, многогранное понятие, несравнимо более емкое, чем уровень жизни, показатели которого определяет российская статистика.
- Во-вторых, качество жизни выступает в двух формах: как степень удовлетворения научно обоснованных потребностей и интересов – объективная оценка, и как удовлетворенность людей качеством жизни – субъективная оценка. Поэтому в мировой литературе наряду с понятием «качество жизни» (quality of life, **QOL**) используется также термин «субъективное благополучие» (subjective well-being, **SWB**).
- В-третьих, качество жизни является многокомпонентной категорией, и включает в себя социально-экономические характеристики, такие как образ жизни, окружающая среда и др.
- В-четвертых, качество жизни отражает духовное состояние общества, которое определяется по характеру, спектру и числу творческих инициатив, инновационных проектов, а также по частоте нарушений общечеловеческих нравственных заповедей.

Составление целостной картины качества жизни осложнено тем обстоятельством, что оценки уровня и качества жизни существенно изменяются во времени и в пространстве. Оценивая качество жизни необходимо обратить внимание на риски, угрозы и опасности, характеризующие условия человеческой жизнедеятельности, реализация которых может привести к реальным неблагоприятным последствиям для человека. Такой подход опирается на интерпретацию понятия «качества» японским специалистом в области менеджмента качества Г. Тагучи [9]. Для обозначения вероятности снижения или полной потери исходного уровня качества жизни, возникновения соответствующего дефицита смысла жизни человека выбрано понятие социальной риск. Рост социальной напряженности и повышение уровня социального риска отрицательно влияют на качество жизни населения в регионе. Многогранность и широта понятия качества жизни диктуют необходимость применять такие измерительные инструменты и методики, которые позволят по ряду критериев оценить как уровень субъективной удовлетворенности граждан своим личным положением, так и рассчитать отдельные статистические показатели.

Построением методик количественного оценивания качества жизни, без которого сегодня практически невозможно обеспечить эффективное функционирование экономических и социальных структур, занимается раздел специального научного направления – квалиметрии, квалиметрия жизни [4]. В вопросах оценки информации об объекте, имеющей качественный характер, прибегают к методикам экспертного оценивания, разработанным в рамках теории принятия решений. Если рассматривать узкую задачу принятия решения по управлению качеством жизни, оценке отдельных показателей качества жизни и оптимизации получаемого интегрального показателя, квалиметрия может пониматься как часть теории принятия решений, а именно та ее ветвь, которая связана с обоснованием агрегированных критериев при принятии решений, относящихся к качеству объектов [4].

Система оценки качества жизни (СОКЖ) в соответствии с требованиями современного общества должна отличаться мобильностью, гибкостью, оперативностью обработки и анализа информации, возможностью моделирования и прогнозирования показателей качества.

В связи с изложенной проблемой, авторами предлагается использовать комплексный подход к оценке качества жизни населения, основанного на применении

динамических нечетких систем. Такие системы позволяют работать одновременно с качественными и количественными характеристиками, изменяющимися во времени, что необходимо для учета подвижной социально-психологической природы качества жизни.

Нечеткость границ системы оценки характеристик, в частности описания качества жизни, использование дифференциальных признаков «высокое – низкое», неоднозначность семантики отдельных терминов, которые используются при построении концептуальных моделей систем, таких как «жизнь», «благополучие», «благосостояние», «качество и уровень жизни» обуславливают целесообразность применения аппарата динамических нечетких чисел.

Среди очевидных преимуществ динамических нечетких систем при оценке качества жизни можно выделить следующие:

- возможность оперировать одновременно нечеткими входными данными, непрерывно изменяющимися во времени, и значениями, полученными в результате статистических опросов, т.е. такими, которые невозможно задать однозначно;
- возможность применения лингвистических описаний для выражения знаний о степени соответствия наблюдаемого объекта или его характеристик некоторому объективному или субъективному критерию. Примерами лингвистических выражений могут быть такие как, «большинство», «возможно», «преимущественно», «удовлетворительно»;
- возможность качественного описания входных данных и выходных результатов;
- возможность оперировать степенью достоверности данных с использованием их при распределении потока информации;
- возможность быстрого моделирования сложных динамических систем и их сравнительного анализа с заданной степенью точности.

Даже при отсутствии точных данных о значениях каких-либо критериев человек в состоянии описать их словами, например, «мой сосед обладает высоким уровнем достатка», «мнение об уровне преступности в районе скорее положительное, чем негативное». Такой оценки вполне достаточно для определения функций принадлежности лингвистических переменных и их компьютерной обработки наряду с другими, более детерминированными показателями. Для распознавания результата оценки интегрального показателя «качество жизни» удобнее всего использовать качественные характеристики, понятные как населению, не обладающему специальными навыками восприятия сложных математических оценок, так и экспертам – профессионалам в области социально-экономических отношений.

Уровень каждого показателя качества жизни – частного и интегрального предлагается оценивать пятью возможными значениями (низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий), для которых формируются соответствующие лингвистические термы. Распределение показателей по уровням, в общем случае, схоже с кластерным распределением, в результате проведения которого, определяется, к какому классу принадлежит текущее значение качества жизни населения в регионе. Таким образом, авторами предлагается использовать лингвистические выражения при описании, как интегрального показателя качества жизни, так и каждого отдельного показателя из сформированного набора.

В общем виде алгоритм оценки качества жизни населения представляется следующим образом:

- выбор системы показателей для достоверной оценки состояния качества жизни;
- определение для каждого показателя качества жизни, включая интегральный лингвистической переменной и формирование области ее определения;
- кластеризации области определения на конкретные подмножества для каждого показателя качества жизни, включая интегральный. Число подмножеств устанавливается экспертом;
- описание нечетких подмножеств путем формирования соответствующих динамических функций принадлежности:
 - указание реперных и бифуркационных точек на всем горизонте построения модели;
 - формирование массивов экспериментальных данных из указанных экспертом точек, описывающих степень принадлежности каждого исследуемого параметра заданному нечеткому множеству в разные моменты времени;
 - поиск неизвестных точек путем применения алгоритмов аппроксимации;
 - описание динамических нечетких множеств и их графическое представление в виде построения динамических функций принадлежности;
 - построение динамического терм-множества значений показателей, состоящего из определенных на этапе 2 уровней.
- построение таблицы классификации уровней значений показателей на каждый период времени и определение принадлежности текущего значения показателя к одному из нечетких подмножеств;
- оценка значимости показателей;
- формирование и расчет интегрального показателя качества жизни на основе аддитивной свертки;
- соотнесение рассчитанного значения интегрального показателя качества жизни на предыдущем этапе с подмножествами лингвистической переменной «Качество жизни», заданной на этапе 2 и определение класса, что и является искомым решением задачи;
- определение уровня социального риска, исходя из полученного на этапе 8 значения класса качества жизни.

Пусть заданы n временных интервалов, для которых осуществляется процесс динамического нечеткого моделирования. В данном случае, за один временной интервал принимается один календарный год. Состояние качества жизни населения в регионе характеризуется набором показателей, рассчитанных на основе математических вычислений и данных статистической отчетности региона. Набор показателей для каждого периода времени одинаков. Показатели, характеризующие состояние отдельных составляющих социально-экономической жизни населения региона могут быть сгруппированы в блоки, которые в свою очередь составляют систему оценки качества жизни. Предполагается, что выбранная система показателей достаточно полно описывает качество жизни в регионе.

Создание эффективно действующей СОКЖ предусматривает охват следующих блоков:

- благосостояние населения;
- здоровье;
- жилищные условия;
- образование;
- рынок труда;
- экологическая обстановка в регионе;
- безопасность.

Каждый блок включает один или несколько показателей (табл. 1).

Лингвистическая переменная «качество жизни» разбита на следующие подмножества:

- QL_1 – нечеткое подмножество «низкое качество жизни»;
- QL_2 – нечеткое подмножество «качество жизни на уровне ниже среднего»

- QL_3 – нечеткое подмножество «удовлетворительное качество жизни»;
- QL_4 – нечеткое подмножество «качество жизни на уровне выше среднего»;
- QL_5 – нечеткое подмножество «высокое качество жизни».

Таблица 1

УРОВНИ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

№	Блок показателей	Индикатор	Формула для расчета / источник информации	Ед. изм.
1		Валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения	Данные Росстата	Тыс. руб.
2	Благополучие населения	Уровень финансовых доходов населения	$Ф_{ср} = (З_{ср} * Н_{р} + П_{с} * Н_{п}) / 2С_{пм} * Н$, где $З_{ср}$ – среднемесячная заработная плата работающих в экономике, руб.; $Н_{р}$ – численность занятых в экономике, тыс. руб.; $П_{с}$ – средний размер начисленных пенсий, руб.; $Н_{п}$ – численность пенсионеров, тыс. чел.; $С_{пм}$ – прожиточный минимум в среднем за месяц, руб.; $Н$ – численность населения, тыс. чел.	-
3		Уровень восприятия коррупции	Определяется по шкале от единицы до десяти	-
4		Уровень бедности	Численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума (данные Росстата)	Млн. человек
5	Здоровье	Ожидаемая продолжительность жизни населения территории	$В_{ср} = В_{у} / В_{ср}$, где $В_{у}$ – продолжительность жизни населения на данной территории, лет; $В_{ср}$ – продолжительность жизни населения в субъекте РФ передовому по данному показателю, лет	-
6	Инфраструктура	Обеспеченность населения местами организованных форм отдыха, включая мероприятия спортивной, культурной, патриотической и иной направленности	Данные Росстата	Шт.
7	Жилищные условия	Обеспеченность населения жильем	$Ж_{к} = Ж_{пср} / Ж_{пн}$, где $Ж_{пср}$ – средняя площадь жилищного фонда приходящаяся на одного жителя, $м^2$; $Ж_{пн}$ – норма жилой площади, утвержденная в регионе, $м^2$	-
8	Образование	Охват обучением в высших и средних учебных заведениях	$С_{ср} = С_{уз} / 1000$, где $С_{уз}$ – количество учащихся и студентов средних и высших учебных заведений на 1 000 жителей населения территории	-
9	Рынок труда	Уровень безработицы	$У_{б} = (Н_{тв} * Н_{б}) / Н_{тв}$, где $Н_{тв}$ – численность населения в трудоспособном возрасте, тыс. чел.; $Н_{б}$ – число безработных трудоспособной возрастной группы, тыс. чел.	-
10		Состояние водных ресурсов	$ЭВР_{к} = (П_{пр} * П_{пдк}) / П_{пр}$, где $П_{пр}$ – общее число проб экологического состояния водных ресурсов; $П_{пдк}$ – число проб, не отвечающих действующим нормативам	-
11	Экологическая обстановка в регионе	Уровень загрязненности атмосферного воздуха	$ЭВ_{к} = (П_{ав} * П_{пдк}) / П_{ав}$, где $П_{ав}$ – общее число проб экологического состояния атмосферного воздуха; $П_{пдк}$ – число проб, не отвечающих действующим нормативам	-
12		Состояние экологии	$Э_{к} = (З * З_{пдк}) / З$, где $Э_{к}$ – общее число замеров показателей экологического состояния природных объектов территории; $З_{пдк}$ – число замеров с обнаруженным превышением нормативных показателей предельно допустимых концентраций	-
13	Безопасность	Уровень преступности	Число зарегистрированных преступлений для на 100 000 чел. населения	Шт.

Авторская концепция взаимосвязи социального риска и качества жизни позволяет привести для лингвистической переменной S – уровень социального риска, ряд значений:

- S_1 – нечеткое подмножество «очень высокий социальный риск»;
- S_2 – нечеткое подмножество «высокий социальный риск»;
- S_3 – нечеткое подмножество «средний уровень социального риска»;

- S_4 – нечеткое подмножество «низкий уровень социального риска»;
- S_5 – нечеткое подмножество «очень низкий уровень социального риска».

Анализ заданного множества значений лингвистической переменной «качество жизни», представляющих собой наименование нечетких переменных, показывает, что терм-множество лингвистической переменной «качество жизни» состоит из пяти компонентов-кластеров.

Каждому из подмножеств $QL_1 - QL_5$ на всем временном интервале анализа соответствуют свои динамические функции принадлежности:

$$\sum \mu_{QL_i}(x, t_n) = \mu_{QL_i}(x, t_n),$$

где QL_i – интегральный показатель, характеризующий качество жизни населения, причем, чем выше QL_i , тем выше уровень кластера и, соответственно, лучше качество жизни населения.

Наличие пяти компонентов лингвистической переменной «качество жизни» позволяет выделить пятерку нечетких T -чисел $\{\beta\}$ вида:

- $\beta_1(0,0; 0,0; 0,15; 0,25)$;
- $\beta_2(0,15; 0,25; 0,35; 0,45)$;
- $\beta_3(0,35; 0,45; 0,55; 0,65)$;
- $\beta_4(0,55; 0,65; 0,75; 0,85)$;
- $\beta_5(0,75; 0,85; 1,0; 1,0)$.

Из данного описания следует, что область определения лингвистической переменной «качество жизни» лежит в интервале $[0; 1]$.

В общем случае, для представления нечетких переменных, удобнее всего использовать трапециевидные функции принадлежности (рис. 1). Выбор трапециевидного вида функции принадлежности основан на сравнительной простоте вычисления данного вида функций, а также возможности интерполяции с их помощью большинства распространенных функций принадлежности, таких как, треугольных и колоколообразных, с достаточной для большинства задач точностью. Кроме того, чаще всего объекты управления обладают поведением, близким к линейному на небольших интервалах значений входных и выходных переменных, что позволяет применять для их описания и управления нечеткие числа с трапециевидными функциями принадлежности.

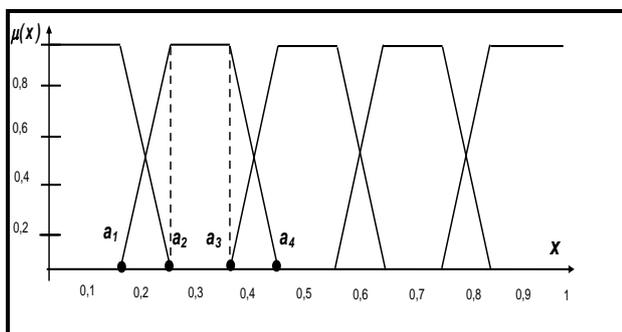


Рис. 1. Трапециевидные функции принадлежности

Как показывает рис. 1, функция принадлежности трапециевидного вида описывается четырьмя точками $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$. Значения функции принадлежности $\mu(x)$ могут быть взяты только из априорных знаний, интуиции (опыта) экспертов, которые, в свою очередь, способны достаточно уверенно количественно охарактеризовать границы допустимых значений оцениваемых показателей, чему графически соответствует нижнее основание трапеции $\{a_1, a_4\}$.

Сложнее определить точки горизонтальной части трапеции, интервал между которыми (верхнее основание $\{a_2, a_3\}$) должен соответствовать полной уверенности эксперта в правильности своей классификации.

Сама природа нечетких множеств и расплывчатость тех понятий и высказываний, которыми оперирует эксперт, подразумевает, что он не всегда может однозначно указать тот интервал значений оцениваемого показателя,

в границах которого степень принадлежности нечеткому множеству абсолютна. При решении прикладных задач, четкое определение границ зоны абсолютной уверенности, которая используется в расчетах, является одной из погрешностей применения инструментария теории нечетких множеств. В связи с чем целесообразно использовать функции принадлежности типа, ближе к колоколообразному, со сглаженными краями верхнего основания, где величина интервала абсолютной принадлежности гораздо меньше, чем при построении трапециевидных функций принадлежности.

После указания базовых точек функции принадлежности, достраиваются наклонные части (ребра) фигуры, которые характеризуют степень принадлежности оцениваемого показателя к двум смежным оценкам с различной возможностью.

Оценка интегрального показателя качества жизни населения в совокупности показателей сводится к определению уровня каждого отдельного показателя.

Каждый показатель характеризуется лингвистической переменной «уровень показателя F_{ij} », которая может принимать значения:

- «очень низкий» (B_{i1} – подмножество «очень низкий уровень показателя F_{ij} »);
- «низкий» (B_{i2} – подмножество «низкий уровень показателя F_{ij} »);
- «средний» (B_{i3} – подмножество «средний уровень показателя F_{ij} »);
- «высокий» (B_{i4} – подмножество «высокий уровень показателя F_{ij} »);
- «очень высокий» (B_{i5} – подмножество «высокий уровень показателя F_{ij} »).

Каждому значению лингвистической переменной соответствует определенное нечеткое множество со своей функцией принадлежности.

Задача описания подмножеств $\{B\}$ – это задача формирования соответствующих динамических функций принадлежности $\mu_{1-5}(F_{ij})$.

Данный этап представляется как один из самых важных, так как именно в рамках него эксперту необходимо определить весь набор точек, по которым будут строиться динамические функции принадлежности (рис. 2. Для наилучшей наглядности оси и координатные плоскости развернуты).

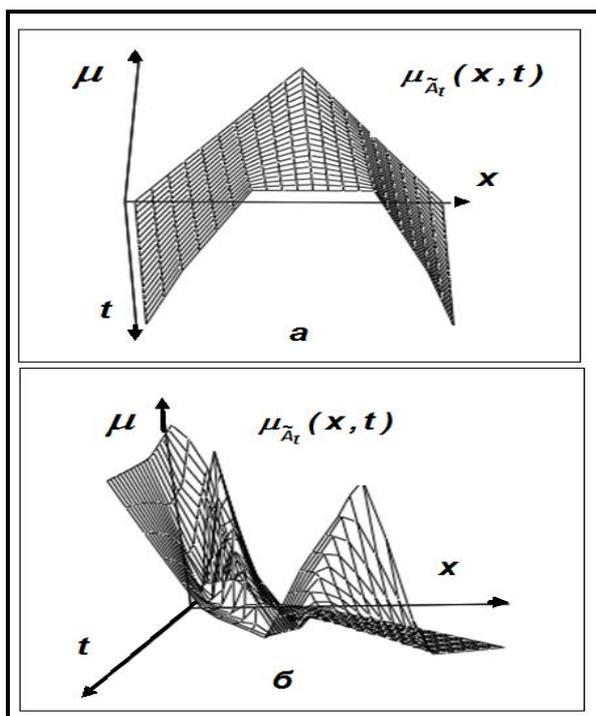


Рис. 2. Примеры динамических функций принадлежности

Эксперту требуется представить исходные данные в виде набора пар чисел $(\mu_i(x, t), x)$, где μ_i – экспериментальные значения некоторой функции $\mu(x) = f(x)$ в отдельный срез времени, а x – значения аргумента.

Как правило, эксперт обладает информацией о некоторых опорных или, как было определено выше, реперных точках системы в строго определенных моменты времени [12]. Чаще всего указывается точка в начальный момент времени, несколько важных для эксперта точек на рассматриваемом интервале (обычно это бифуркационные точки системы), а также точка в конечный момент времени, если и в конечном моменте возможны бифуркации. Здесь необходимо дать несколько пояснений.

Реперная точка представляет собой точку, в которой состояние системы зафиксировано и возможно точно измерить ее базовые показатели. Реперная точка является опорной, в ближайшей окрестности которой не происходит перелома тренда. В состоянии неустойчивости системы, когда созданы условия для резкого изменения пути ее развития, возникают точки бифуркации. В точке бифуркации объекта формируются или задаются закономерности, определяющие его дальнейшее развитие, а точки желаемого состояния, к которому движется система, представляются точками в конечный момент времени.

Графически исходное положение дел проиллюстрировано на (рис. 3а), на котором отражены точки, разбросанные в координатном пространстве экономического объекта. Все известные точки удобно представить на плоскости в виде разграфленной таблицы (рис. 3б), где незаполненные ячейки – точки, в которых значения функции принадлежности неизвестны эксперту. Как видно из рис. 3, эксперту ничего неизвестно о поведении функции принадлежности в период t_3 .

Указанные экспертом точки формируются в массивы экспериментальных данных, описывающих степень принадлежности каждого исследуемого параметра заданному нечеткому множеству в разные моменты времени. Для построения трехмерного графика динамического нечеткого множества необходимо найти все недостающие точки. Такая задача достаточно удовлетворительно решается с помощью существующих алгоритмов аппроксимации.

При построении динамических функций принадлежности, основная задача эксперта заключается в подборе вида функций принадлежности, наиболее удовлетворяющего субъективному представлению эксперта о динамике значений принадлежности элементов множеству в каждый момент времени. В связи с тем, что существует вероятность неточного представления данных экспертом, нет особого смысла использовать изощренные математические методы аппроксимации. Достаточно использовать самые распространенные, например, кусочно-линейную интерполяцию, анализ зависимостей методом наименьших квадратов, интерполяцию многочленом Лагранжа, кубической сплайн-интерполяцией, среднеквадратичное приближение точечными ортогональными многочленами и т.п. Для построения поверхностей разработаны методы многомерной интерполяции, основанные на аналогичных для одномерной принципах построения.

Интерполирование двух переменных одновременно может показаться сложной задачей, на первый взгляд, однако его суть заключается в выполнении алгоритма простой интерполяции в двух направлениях, т.е. по сути, осуществляется поиск неизвестных точек по срезам динамической функции принадлежности (рис. 3, г). В таком случае эксперт работает с парами чисел: дискретным набором точек x_i ($i = 0, 1, \dots, n$), называемых узлами интерполяции, а также значения функции $\mu(x)$ в этих точках. Найдя интерполяционный полином, можно вычислить значения функции $\mu(x) = f(x)$ между узлами (провести интерполяцию в узком смысле слова), а также определить значение функции $\mu(x) = f(x)$ даже за пределами заданного интервала (провести экстраполяцию).

В результате решения задач интерполяции, все недостающие точки будут найдены, и графическое отображение будет такое, как представлено на (рис. 3в). Все точки, соответствующие периоду t_3 являются найденными, график функции принадлежности обозначен пунктирной линией на (рис. 3в). На (рис. 3г) изображен срез динамической функции принадлежности в момент времени t_3 .

Итак, в результате интерполяции и подбора зависимостей мы получим числовой ряд, наиболее точно определяющий функцию принадлежности каждого критерия.

В качестве примера построения динамических функций принадлежности нечетким множествам, определяющим уровни показателей, рассмотрим показатель «уровень безработицы». Для повышения точности оценивания при поиске значений динамической функции принадлежности и применения вышеописанных процедур интерполяции, целесообразно задать интервалы показателя следующим образом: для рассматриваемого показателя лингвистическую переменную «уровень показателя» представим пятью нечеткими множествами, соответствующие нечетким переменным:

- α_1 – «низкий уровень безработицы»;

- α_2 – «уровень безработицы ниже среднего»;
- α_3 – «средний уровень безработицы»;
- α_4 – «уровень безработицы выше среднего»;
- α_5 – «высокий уровень безработицы».

Эксперту известны лишь некоторые значения функции принадлежности за 2007-й (t_1), 2009-й (t_3) и 2010 (t_4) гг. по каждому интервалу. Так, известно, что самый низкий уровень безработицы на протяжении этих лет зарегистрирован в г. Москве, соответственно значение уровня безработицы равное 0,8 в 2007 г. оценивалось как абсолютно низкое, а к 2010 г. произошел рост уровня безработицы по стране, но, тем не менее, наиболее низким признано значение 1,7, что отражается на значении функции принадлежности: $\mu_{At}(1.7, t_4) = 1$. Также экспертом определены точ-

ки: $\mu_{At_2}(4.5, t_2) = 0$; $\mu_{At_3}(4.0, t_3) = 1$; $\mu_{At_3}(5.0, t_3) = 0.6$; $\mu_{At_4}(4.3, t_4) = 0.5$. Следует отметить, что эксперт не располагает данными относительно поведения функции принадлежности по показателю «уровень безработицы» на момент времени t_2 , что соответственно требует полного восстановления значений принадлежности нечеткому множеству на основе методов аппроксимации.

По известным точкам экспертом формируется массив реперных значений и проводится интерполяция по наиболее подходящему методу. В результате получают динамические нечеткие множества, которые удобно задать графически с помощью их функций принадлежности (рис. 4).

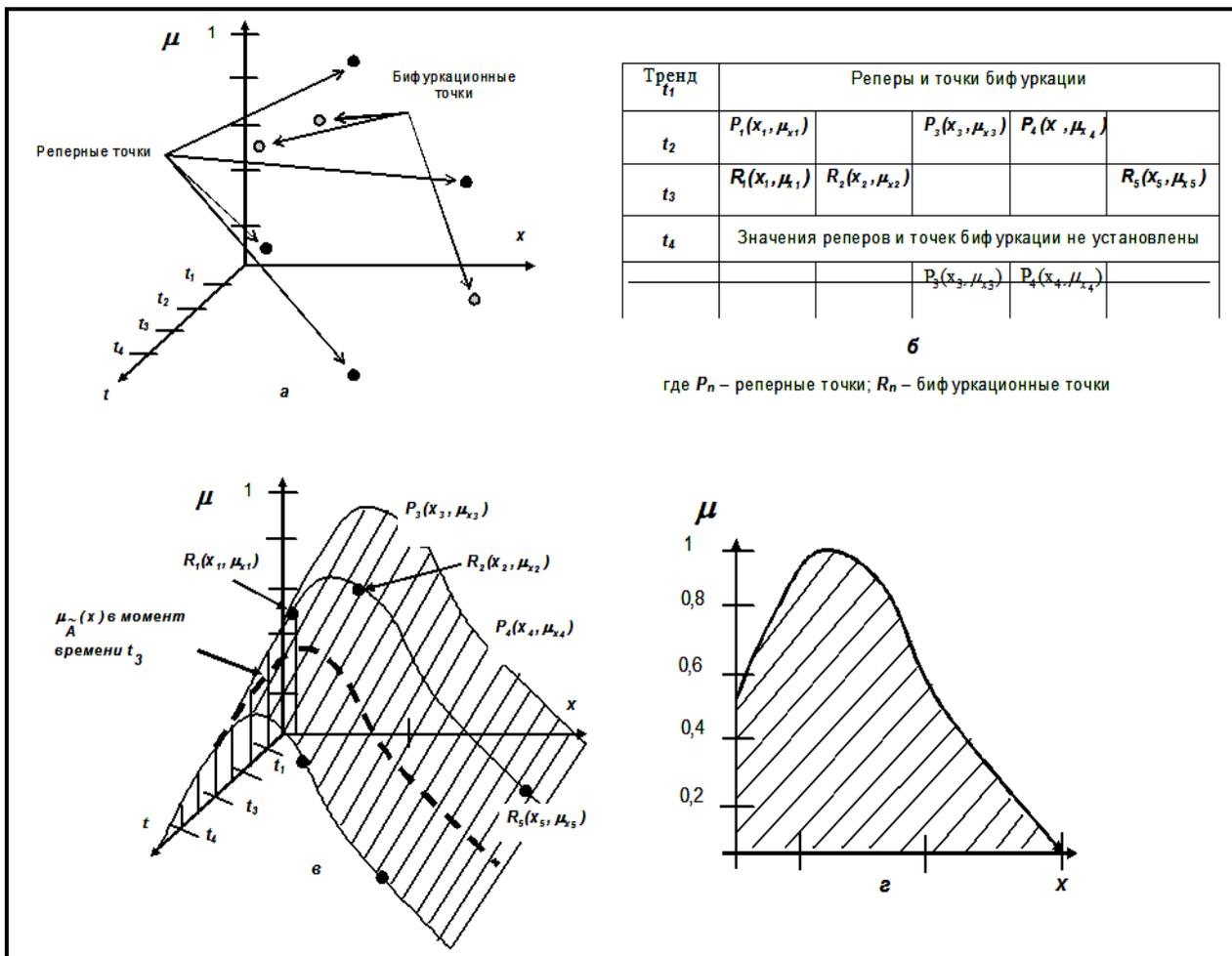


Рис. 3. ДФП и ее срез в некоторый момент времени t

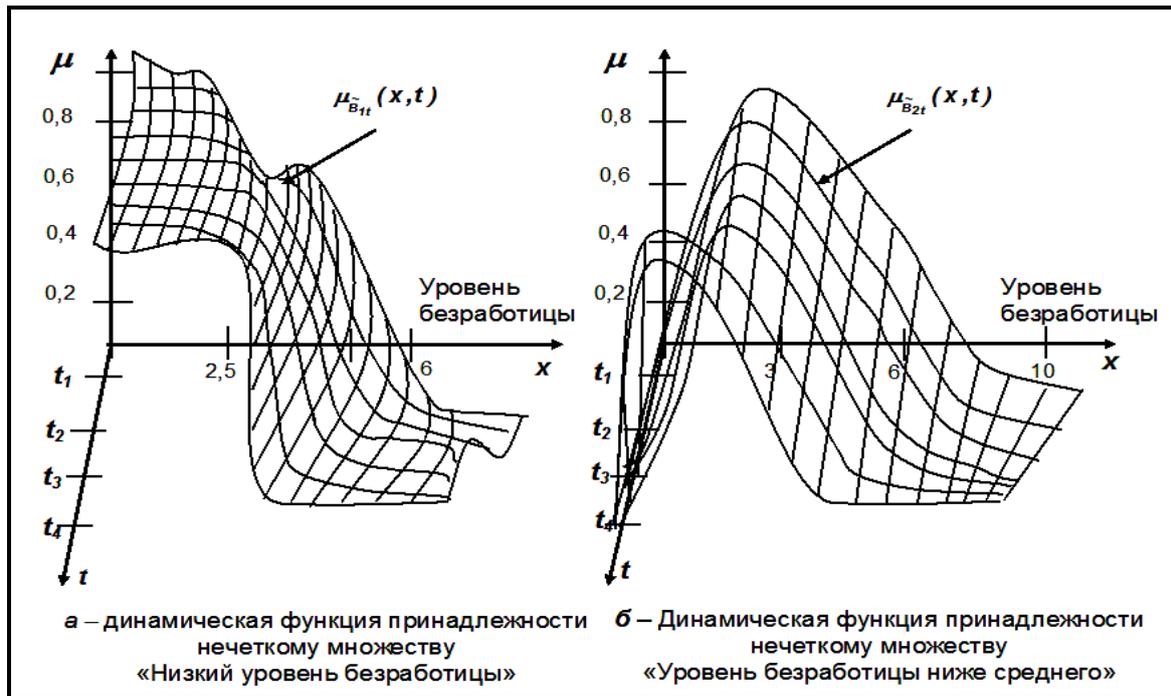


Рис. 4. Функции принадлежности термов лингвистической переменной «уровень безработицы» (начало)

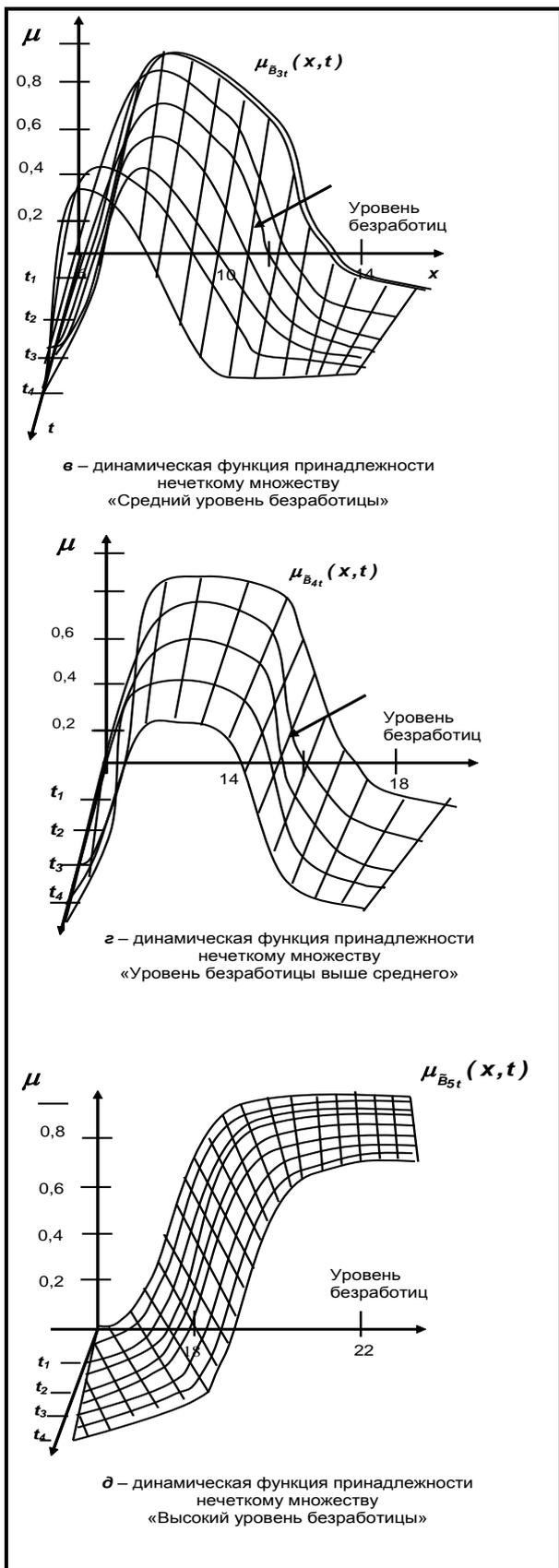


Рис. 4. Функции принадлежности термов лингвистической переменной «уровень безработицы» (конец)

Совмещение построенных пяти графиков на одном, даст нам терм-множество значений показателя «Уровень безработицы», состоящего из интервалов: низкий, ниже среднего, средний, выше среднего и высокий.

Путем интерполяционных вычислений, экспертом были получены точки для построения функции принадлежности лингвистической переменной «уровень безработицы» для момента времени t_2 (рис. 5).

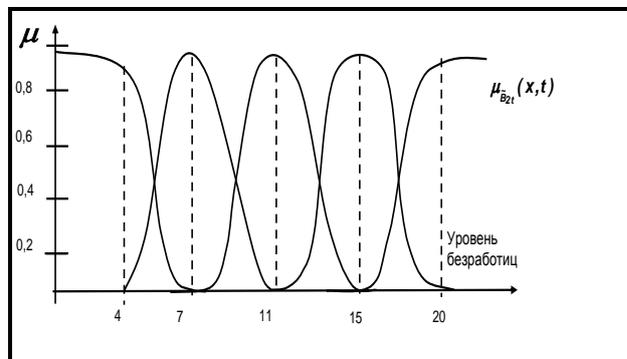


Рис. 5. Срез динамической функции принадлежности лингвистической переменной «уровень безработицы» для момента времени t_2

Практика показывает, что часто эксперты не могут указать конкретное значение степени принадлежности параметра множеству на какой-то определенный момент в будущем. Например, они не могут со стопроцентной уверенностью утверждать, что «через месяц принадлежность определенной величины исследуемого параметра нечеткому множеству «оптимальное значение» будет равна 0,8».

Прогнозирование степени принадлежности является сложной задачей, и получить достоверный прогноз даже на несколько шагов вперед достаточно трудно.

По мере удаления от нулевого момента времени доверительный интервал экспоненциально увеличивается (рис. 6 а) [10].

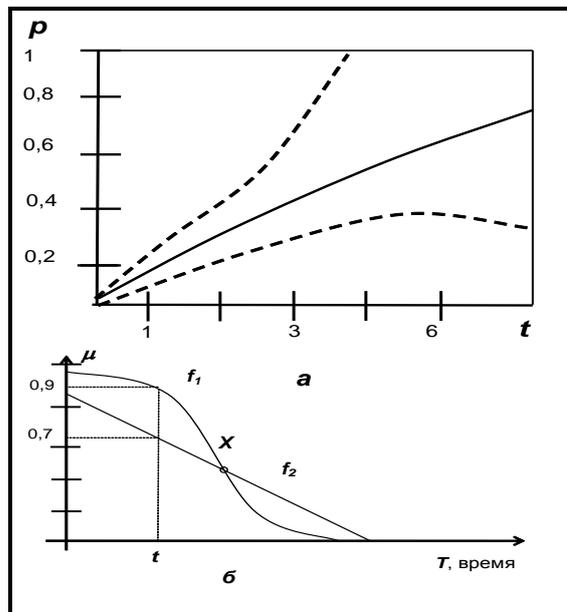


Рис. 6: а – «расползание» доверительного интервала во времени; б – кривые, ограничивающие доверительный интервал прогнозирования

Из этого следует, что более логичным является указание экспертом для каждого значения параметра по оси абсцисс двух значений функции принадлежности, тогда мы получим некоторый интервал значений степени принадлежности искомого параметра для каждого момента времени t . В таком случае мы получим определение, что в данный момент времени принадлежность может принять значение от «средней степени» (число 0,6) до «высокой степени» (число 0,9). При подобном подходе формируются две кривых функций принадлежности f_1 и f_2 (как показано на рисунке 6б), которые ограничивают область изменения степени принадлежности на интервале времени, для которого составляется прогноз [12].

Для получения единой функции принадлежности необходимо выполнить следующие шаги:

- для каждой точки оси абсцисс по заданным функциям (f_1 и f_2 на рисунке 6б) мы получаем два значения функции принадлежности, соответствующих максимальному и минимальному значениям, то есть для каждого момента времени автоматически формируются две функции принадлежности;
- для всего горизонта прогнозирования составляется два массива реперных и бифуркационных точек;
- для поиска точек, которые не были определены экспертом в тот или иной момент времени, необходимо воспользоваться любым из известных методов интерполяции.

По полученных в п. 1,3 точкам строятся две поверхности – динамические функции принадлежности. При этом, поверхности абсолютно совпадают в момент t_0 .

Для получения результирующей поверхности выполняется операция пересечения двух динамических функций принадлежности. Подробно операции над динамическими нечеткими множествами рассмотрены в [14, 15].

После того, как установлены значения динамических нечетких множеств по каждому параметру, строим таблицу классификации уровней значений показателей. Нечеткая классификация значений показателей путем определения лингвистической переменной «уровень

показателя» и построение для их значений T -чисел приводится в табл. 2.

В отношении каждого показателя известно, как влияет его изменение на интегральную оценку качества жизни. Например, рост уровня преступности ухудшает комплексный показатель, рост среднедушевого дохода, напротив, улучшает. В связи с этим, необходимо на уровне формирования классификации (см. табл. 2) трансформировать значения негативных показателей в положительную сторону.

На основе классификации каждого показателя, необходимо определить в какой интервал попадает текущее значение каждого показателя, рассчитанного по формулам табл. 1. Результат классификации по подмножествам удобно представить в виде табл. 3.

Следующий шаг заключается в присвоении весовых коэффициентов каждому показателю. Оценка значимости показателей при влиянии на общую оценку носит индивидуальный характер по той причине, что в разных регионах при сложившихся социально-экономических условиях, относительная важность критериев может быть различна. Например, для жителей Хабаровского края, в отличие от жителей Волгоградской агломерации, большая значимость присваивается уровню преступности и загрязненности атмосферного воздуха, а меньшая – продолжительности жизни.

Один из возможных способов получения оценок значимости выбранных показателей является применение методик [12], основанных на установлении приоритетов показателей.

Задача ранжирования критериев альтернатив для среза динамической функции принадлежности в некоторый момент времени t (рис. 7) может быть решена путем сравнения площадей фигур, ограниченных графиком некоей функции $\mu(x) = f(x)$, осями Ox и $O\mu$.

Таблица 2

КЛАССИФИКАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ЗА 2009-2010 гг.

Наименование показателя	Год	Т-числа {g} для значений лингвистической переменной «уровень показателя»:				
		«Низкий»	«Ниже среднего»	«Средний»	«Выше среднего»	«Высокий»
F_1 – валовой внутренний продукт (ВВП) на душу населения	2009	(0,0,50000, 100000)	(50000, 100000, 200000, 300000)	(200000, 300000, 450000, 550000)	(450000, 550000, 650000, 750000)	(650000, 750000, ¥, ¥)
	2010	(0,0,50000, 100000)	(50000, 110000, 230000, 350000)	(230000, 350000, 480000, 580000)	(480000, 580000, 700000, 800000)	(700000, 800000, ¥, ¥)
F_2 – уровень финансовых доходов населения	2009	(0,0, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	(0.8, 1, 1.4, 1.7)	(1.4, 1.7, 2, 2.5)	(2, 2.5, ¥, ¥)
	2010	(0,0, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.6, 0.9, 1.1)	(0.9, 1.1, 1.6, 1.85)	(1.6, 1.85, 2, 3)	(2, 3, ¥, ¥)
F_3 – ожидаемая продолжительность жизни населения территории	2009	(0,0,0.5,0.6)	(0.5,0.6, 0.7, 0.75)	(0.7,0.75,0.8,0.85)	(0.8,0.85,0.9,1)	(0.9,1,¥, ¥)
	2010	(0,0,0.5,0.6)	(0.5,0.6, 0.7, 0.75)	(0.7,0.75,0.8,0.85)	(0.8,0.85,0.9,1)	(0.9,1,¥, ¥)
F_4 – обеспеченность населения жильем	2009	(0,0,0.35,0.5)	(0.35,0.6, 0.85,1,0)	(0.85,1,0,1.25,1.35)	(1.25,1.35,1.5,1.85)	(1.5, ¥, ¥)
	2010	(0,0,0.4,0.6)	(0.4,0.6, 0.8, 1)	(0.8, 1,1.2,1.4)	(1.2,1.4, 1.6, 1.8)	(1.6, 1.8, ¥, ¥)
F_5 – охват обучением в высших и средних учебных заведениях	2009	(0,0,0.4,0.6)	(0.4,0.6, 0.8, 1)	(0.8, 1,1.2,1.4)	(1.2,1.4, 1.6, 1.8)	(1.6, 1.8, ¥, ¥)
	2010	(0,0,0.4,0.6)	(0.4,0.6, 0.8, 1)	(0.8, 1,1.2,1.4)	(1.2,1.4, 1.6, 1.8)	(1.6, 1.8, ¥, ¥)
F_6 – уровень безработицы	2009	(0,0,0.3,0.4)	(0.3,0.4, 0.6,0.65)	(0.6,0.65,0.8,0.85)	(0.8,0.85,0.9,1)	(0.9,1,¥, ¥)
	2010	(0,0,0.3,0.4)	(0.3,0.4, 0.6,0.65)	(0.6,0.65,0.8,0.85)	(0.8,0.85,0.9,1)	(0.9,1,¥, ¥)
F_7 – уровень загрязненности атмосферного воздуха и водных ресурсов	2009	(0,0,0.5,0.6)	(0.5,0.6, 0.7,0.75)	(0.7,0.75,0.8,0.85)	(0.8,0.85,0.9,1)	(0.9,1,¥, ¥)
	2010	(0,0,0.5,0.6)	(0.5,0.6, 0.7,0.75)	(0.7,0.75,0.8,0.85)	(0.8,0.85,0.9,1)	(0.9,1,¥, ¥)
F_8 – уровень правонарушений на территории	2009	(0,0,300,500)	(300,500,800,1000)	(800,1000,1500,1700)	(1500,1700,2000,2200)	(2000,2200,¥, ¥)
	2010	(0,0,250,400)	(250,400,700,950)	(700,950,1250,1500)	(1250,1500,1800,2050)	(1800,2050,¥, ¥)

Таблица 3

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПОДМНОЖЕСТВАМ

Наименование показателя	Результат классификации по подмножествам				
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
F_1	$\mu_{B_{i1}}(F_1)$	$\mu_{B_{i2}}(F_1)$	$\mu_{B_{i3}}(F_1)$	$\mu_{B_{i4}}(F_1)$	$\mu_{B_{i5}}(F_1)$
F_2	$\mu_{B_{i1}}(F_2)$	$\mu_{B_{i2}}(F_2)$	$\mu_{B_{i3}}(F_2)$	$\mu_{B_{i4}}(F_2)$	$\mu_{B_{i5}}(F_2)$
...
F_n	$\mu_{B_{i1}}(F_n)$	$\mu_{B_{i2}}(F_n)$	$\mu_{B_{i3}}(F_n)$	$\mu_{B_{i4}}(F_n)$	$\mu_{B_{i5}}(F_n)$
Y_i	Y_{i1}	Y_{i2}	Y_{i3}	Y_{i4}	Y_{i5}

Рассмотрим строение графика функции принадлежности. На горизонтальной оси откладывается величина оцениваемого критерия (параметра, показателя и т.п.), а на вертикальной оси – значения соответствующей функции принадлежности. Чем выше степень принадлежности, тем в большей мере критерий отвечает свойствам нечеткого множества.

Максимальное значение функции принадлежности, равное единице, присваивается оцениваемым критериям в случае абсолютной уверенности эксперта в полной принадлежности критерия нечеткому множеству. Непрерывный интервал значений полной принадлежности будем называть зоной абсолютной уверенности эксперта, при этом, чем она больше, тем выше и шире кривая функции принадлежности и тем больше область, ограниченная $\mu(x) = f(x)$, осями Ox и $O\mu$ (рис. 7).

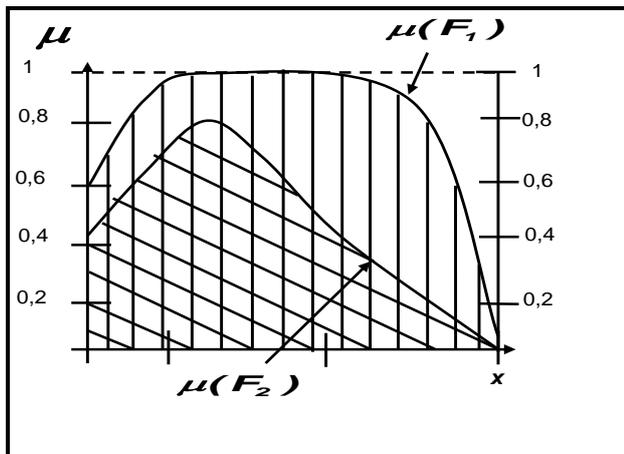


Рис. 7. Срез ДФП в некоторый момент времени t

Величина области под кривой функции принадлежности объективно отражает степень важности критерия в процессе принятия решения. Чтобы алгебраически произвести расчет важности сравниваемых критериев F_1 и F_2 , функции принадлежности которых представлены на рис. 7 соответственно кривыми $\mu(F_1)$ и $\mu(F_2)$, необходимо вычислить площадь под кривой каждой функции принадлежности.

Площадь криволинейной фигуры вычисляется с помощью интегрирования. Функция принадлежности $\mu(x) = f(x)$ является непрерывной на отрезке $[a, b]$, значит для нее существует определенный интеграл: $\int_a^b f(x) dx$. Отсюда, решение задачи определения пло-

щади фигуры сводится к нахождению первообразной полученного числового ряда [6].

Часто эксперты в рамках одного среза могут не совсем точно указать точки построения графиков и не распознать равнозначные критерии. Для того чтобы избежать возможных ошибок при ранжировании критериев, следует установить некоторый допустимый порог равнозначности PP и учитывать его при сравнении критериев.

Пусть S_{F1} – площадь под графиком функций принадлежности нечеткому множеству F_1 , S_{F2} площадь под графиком функций принадлежности нечеткому множеству F_2 , $S_{F1,F2}$ – площадь под графиком функций принадлежности нечеткому множеству, образованному путем пересечения F_1 и F_2 .

Тогда справедливо соотношение:

$$(S_{F1} + S_{F2} - S_{F1,F2}) / (S_{F1} + S_{F2}) < PP.$$

В зависимости от характера задачи и требований к точности, порог равнозначности PP может изменяться в диапазоне 0,45-0,6.

Заключительным этапом методики является формирование интегрального показателя качества жизни. Расчет интегрального показателя осуществляется с помощью аддитивной свертки.

$$QL = \sum_{i=1}^N Y_i * \beta_i, \tag{1}$$

Y_i – промежуточный коэффициент, учитывающий число показателей по каждому уровню лингвистической переменной;

β_i – среднее арифметическое зоны абсолютной уверенности;

$$Y_i = \sum_{k=1}^N k * y_i,$$

k – значение весового коэффициента показателя.

Интегральный показатель характеризуется следующим образом: чем выше его значение, тем выше уровень качества жизни и ниже социальный риск. Интервал значений показателя рассчитан по [11].

Таблица 4

ВЕРБАЛЬНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИНТЕРВАЛА ЗНАЧЕНИЙ

Интервал значений показателя	Текущее значение
0-0,2	Недопустимое качество жизни. Очень высокий социальный риск
0,2-0,4	Низкое качество жизни. Высокий социальный риск
0,4-0,6	Удовлетворительное качество жизни. Умеренный социальный риск
0,6-0,8	Хорошее качество жизни. Низкий социальный риск
0,8-1	Высокое качество жизни. Очень низкий социальный риск

Рассмотрим пример оценки качества жизни населения Волгоградской области за 2009-2011 гг.

1. Определяем множества QL, S, B .
2. Формируем систему частных показателей (табл. 5).
3. Принимаем, что все показатели являются равнозначными для анализа $r = 1/8$.

Качество жизни населения Волгоградской агломерации характеризуется следующими показателями, рассчитанными в соответствии с табл. 1.

Таблица 5

СИСТЕМА ЧАСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

Шифр показателя X_i	Наименование показателя F_i	Значение F_i в 2009 г. ($x_{i,t}$)	Значение F_i в 2010 г. ($x_{i,t}$)	Значение F_i в 2011 г. ($x_{i,t}$)
F_1	ВВП на душу населения	145,5	167,8	191,8
F_2	Уровень финансовых доходов населения	0,86	0,84	0,842
F_3	Ожидаемая продолжительность жизни населения территории	0,85	0,84	0,85
F_4	Обеспеченность населения жильем	1,93	1,94	1,94
F_5	Уровень образования	0,4	0,39	0,4
F_6	Уровень безработицы	0,97	0,98	0,98
F_7	Уровень загрязненности атмосферного воздуха и водных ресурсов	0,85	0,87	0,88
F_8	Уровень правонарушений на территории	1 924	1 728	1 538

Уровни принадлежности носителей нечетким множествам, определяются по табл. 2 или по графику динамических функций принадлежности, путем поиска координат точки, по оси абсцисс которой указано значение показателя. Для того чтобы определить координаты точки, т.е. найти конкретное значение функции принадлежности на искомый момент времени для определенной величины критерия, необходимо опустить проецирующие лучи (перпендикуляры) из этой точки до пересечения с плоскостями проекций μ , x , t .

По своей структуре показатели X_6 и X_8 негативно влияют на интегральный показатель качества жизни, что необходимо учитывать при кластеризации.

Таблица 6

СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В г. ВОЛГОГРАДЕ ЗА ПЕРИОД 2009-2011 гг.

Наименование показателя	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
Результат классификации по подмножествам 2009 г.					
F_1	0	1	-0	0	0
F_2	0	0,6	0,4	0	0
F_3	0	0	1	0	0
F_4	0	0	0	0	1
F_5	1	0	0	0	0
F_6	0	0	1	0	0
F_7	0	0	1	0	0
F_8	0	1	0	0	0
Y_i	0,125	0,325	0,425	0	0,125
Результат классификации по подмножествам 2010 г.					
Y_i	0,125	0,3375	0,4125	0	0,125
Результат классификации по подмножествам 2011 г.					
Y_i	0,125	0,225	0,3875	0,1375	0,125

Применяя формулу (1), получаем:

- $QL_{2009} = 0,4325$;
- $QL_{2010} = 0,435$;
- $QL_{2011} = 0,48$.

Таким образом, состояние качества жизни населения в г. Волгограде за смежный период 2009-2011 гг признается как удовлетворительное, уровень социального риска определяется как умеренный. Анализ табл. 6 позволяет сделать вывод, что в 2010 г., произошло небольшое улучшение показателей качества жизни населения, что благоприятно отразилось на уровне социального риска. В 2011 г. прирост интегрального показателя качества жизни составил 10%.

Выработка эффективного механизма государственного регулирования социально-экономических про-

блем и повышения качества жизни населения требует формирования методики оценки качества жизни, и его составляющих. Предложенный в статье подход основан на применении динамических нечетких множеств, позволяющих проанализировать в комплексе количественные и качественные характеристики показателей качества жизни, на этой основе дать оценку социально-экономическому состоянию жизни населения.

Литература

1. О стратегии национальной безопасности РФ до 2020 г. [Электронный ресурс] : указ Президента РФ от 12 мая 2009 г. №537. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Об утверждении методики определения основных показателей и критериев оценки состояния конкурентной среды [Электронный ресурс] : приказ М-ва экономического развития РФ от 4 апр. 2011 г. №137. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант плюс».
3. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. [Электронный ресурс] : утв. распоряжением Правительства РФ от 17 нояб. 2008 г. №1662-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии [Текст] / Г.Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1982.
5. Айвазян С.А. Анализ синтетических категорий качества жизни населения субъектов Российской Федерации: их измерение, динамика, основные тенденции [Текст] / Айвазян С.А. // Уровень жизни регионов России. – 2002. – №11. – С. 5-41.
6. Высшая математика для экономистов [Текст] : учеб. для вузов / под ред. Н.Ш. Крамера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ, 2004. – 471 с.
7. Горшенина Е.В. Региональные экономические исследования: теория и практика [Текст] : монография / Е.В. Горшенина. – Тверь : Твер. гос. ун-т, 2009. – 203 с.
8. Егоршин А.П. Качество жизни населения региона [Текст] / Егоршин А.П., Зайцев А.К. // Народонаселение. – 2005. – №1. – С. 14-27.
9. Капырин В.В. Системы управления качеством [Текст] / В.В. Капырин, Г.Д. Корнев. – М. : Европейский центр по качеству, 2002. – 323 с.
10. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику [Текст] / Г.Г. Малинецкий. – 3-е изд. – М. : УРСС, 2001. – 256 с.
11. Недосекин А.О. Нечеткий финансовый менеджмент [Текст] / А.О. Недосекин // Аудит и финансовый анализ. – 2003. Режим доступа: http://sedok.narod.ru/sc_group.html.
12. Непараметрическая экспертиза объектов сложной структуры [Текст] : монография / П.В. Терелянский. – М. : Дашков и К°, 2009.
13. Терелянский П.В. Динамические функции принадлежности первого, второго, третьего и четвертого типов [Текст] / П.В. Терелянский, А.В. Костикова // Aktualne problem nowoczesnych nauk – 2012 : mater. VIII miedzynar. nauk.

prakt. konf., 07-15 czerwca 2012 r. T. 42. *Matematyka*. – Przemysl, 2012. – с. 52-53.

14. Терелянский П.В. Принятие решений на основе динамических нечетких множеств [Текст] / Терелянский П.В., Костикова А.В. // *Аудит и финансовый анализ*. – 2013. – №1. – С. 449-457 (аннот. на англ. яз. : С. 41).
15. Терелянский П.В. Операции над динамическими нечеткими множествами [Текст] / П.В. Терелянский, А.В. Костикова // *Aktualne problem nowoczesnych nauk – 2012 : mater. VIII miedzynar. nauk.-prakt. konf., 07-15 czerwca 2012 r. T. 42. Matematika*. – Przemysl, 2012. – С. 55-60.

Ключевые слова

Качество жизни; социальный риск; динамические нечеткие функции принадлежности; лингвистическая переменная; реперные точки; бифуркационные точки; аппроксимация; кластерное распределение; доверительный интервал; ранжирование.

Терелянский Павел Васильевич

Костикова Анастасия Владимировна

РЕЦЕНЗИЯ

Вопросы измерения качества жизни населения представляются одними из наиболее актуальных в свете приоритетного направления социально-экономического оздоровления страны. Проблеме анализа качества жизни посвящено большое количество работ, однако на сегодняшний день не существует единого мнения относительно терминологии, критериев и методов оценки показателей качества жизни.

Математический аппарат теории нечетких множеств применим для описания сложных экономических, социальных и других систем, и оказывается особенно полезным для анализа многофакторных и плохо определенных явлений. Преимуществом нечетко-множественного подхода является возможность оперировать одновременно качественными и количественными характеристиками, что позволит синтезировать оценки субъективной удовлетворенности граждан своим личным положением и рассчитать отдельные статистические показатели. Кроме того, авторская концепция динамических нечетких множеств, ключевым моментом которой является учет влияния фактора времени в процессе принятия решений, в большой степени способна учесть подвижную социально-психологическую природу качества жизни.

Разрабатываемая автором методика построения динамических нечетких моделей для оценки качества жизни населения подразумевает построение интегрального показателя, который описывается пятью возможными значениями, от низкого до высокого. Для каждого частного и интегрального показателей формируются соответствующие лингвистические термы, по которым определяется принадлежность показателей к тому или иному уровню. Авторами подробно описан процесс формирования динамических нечетких множеств, в том числе в ситуации ассиметрии и полном отсутствии информации об опорных точках для построения функций принадлежности. Определены понятия реперных и бифуркационных точек. Для случая прогнозирования степени принадлежности определенной величины исследуемого параметра нечеткому множеству в далекий момент в будущем, авторами предлагается строить несколько кривых динамических функций принадлежности, и затем проводить операцию пресечения нечетких множеств для построения результирующей поверхности. Весьма интересной представляются идея автора относительно ранжирования критериев путем сравнения площадей фигур, ограниченных графиком функции принадлежности и осями координат по временным срезам.

Считаю, что статья несет в себе элементы несомненной научной новизны, является актуальной и должна быть рекомендована к печати.

Рогачев А.Ф., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Математическое моделирование и информатика» ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет»