

11. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

11.1. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНАЦИИ АЛЬТЕРНАТИВ

Перминов Г.И., к.т.н., доцент;
 Леонова Н.В., аспирант кафедры бизнес-аналитика

Научно-исследовательский институт
 Высшей школы экономики, г. Москва

[Перейти на Главное МЕНЮ](#)
[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)

В работе исследуется возможность использования подхода нечетких множеств и нечеткой логики для нечетких когнитивных карт Силова при генерации комбинации долей альтернатив. Последнее резко увеличивает количество альтернатив и делает затруднительным применение традиционных методов выбора лучшей из них. Расчеты показали, что при количестве альтернатив в несколько тысяч при использовании нечетких множеств число логических правил сокращается до трех десятков. Сравнение полученных результатов с известными методами автоматического определения весов критериев показали их полную идентичность.

Постановка проблемы

Понятие когнитивной карты – cognitive maps (CM) – было введено и получило развитие в виде знаковых ориентированных графов в работах Р. Аксельрода [18]. Когнитивная карта сложной системы (проблемы) описывается направленным графом, вершины которого – концепты – представляют системные переменные, а дуги – отношения причинности между концептами.

В условиях проблемной ситуации, характеризующейся наличием неопределенности и неточности исходных данных, оптимальным представляется использование подхода, основанного на нечеткой логике. Этот подход был предложен и развит в трудах таких ученых, как Заде Л. [31, 32], Дюбуа Д., Прад А. [5], Мамдани В. [25], Сугэнэ М. [29], Мелихов А.Н. [9], Борисов А.Н. [2].

Соединение когнитивного моделирования и теории нечетких множеств в рамках концепции «мягких» вычислений позволяет сочетать преимущества обоих подходов. Примером такого подхода могут служить нечеткие когнитивные карты, предложенные В. Коско [23, 24] – fuzzy cognitive maps (FCM)). В них причинные связи (связи взаимовлияния) отражают силу влияния одного концепта на другой, и могут принимать значения из диапазона от нуля до единицы, либо от минус единицы до плюс единицы. Подобные подходы положены в основу большинства современных систем динамического моделирования. В последнее время стали появляться новые разновидности нечетких когнитивных карт:

- когнитивные карты Силова В. [14]. В них проблема обработки отрицательных влияний решается за счет отдельной обработки положительных и отрицательных влияний и удвоения мощности множества концептов;
- нечеткие продукционные когнитивные карты – rules based fuzzy cognitive maps (RBFKM) [19], где для описания влияний между концептами используются нечеткие продукционные правила;

- динамические когнитивные сети – dynamic cognitive networks (DCN) [26] используют аппарат дифференциальных уравнений для описания модели;
- симбиоз когнитивных карт с генетическими алгоритмами и нейронными сетями [1]. В них предлагается решение задачи подстройки весов FCM с помощью параллельной реализации генетического алгоритма обучения модели когнитивной карты, основанной на нейронной модели;
- нечеткие реляционные когнитивные карты [15] – relational fuzzy cognitive maps, (RFCM) и fuzzy relational maps (FKM), обеспечивают гибкость построения и анализа нечетких моделей слабоформализуемых систем и проблем за счет реляционного представления нечетких соотношений влияния между концептами.

Во всех существующих разновидностях нечетких когнитивных карт результатом моделирования является матрица оценок в координатах критерии – альтернативы. Необходимо отметить, что под альтернативами, как правило, понимается вариант 100% воздействия без дополнительных долей воздействия других вариантов (табл. 1). Решение матрицы оценок в настоящее время ограничивается методами принятия решений на основе количественных данных, в частности, критерий Парето, минимаксный критерий, метод парных сравнений, интервальных парных сравнений и т.д., при этом методы часто дают противоречивые результаты в силу различия подходов к решению задач [16, 17, 20, 4, 6, 8, 11].

Таблица 1

ТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД

Показатель	Критерии				
	Комбинация долей альтернатив, %	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3	... Критерий m
Альтернатива 1	100	Оценки			
Альтернатива 2	100				
Альтернатива 3	100				
Альтернатива 4	100				
...	100				
Альтернатива n	100				

С другой стороны, появились работы [7, 10, 27], в которых предлагается генерация альтернатив в виде комбинации долей вариантов. Для этого необходимо разбить управляющие концепты и критерии на доли. Например, на пять долей:

- низкое значение;
- ниже среднего;
- среднее;
- выше среднего;
- высокое.

Далее на основе полного перебора всех возможных комбинаций управляющих воздействий на концепты множества **Ес** генерируется базовое множество альтернатив **У**, из которого и будет осуществляться окончательный отбор (где **Ес** – множество управляемых концептов) (табл. 2).

Однако в случае использования комбинации долей альтернатив традиционные методы парных сравнений в виду больших размеров матрицы оценок (несколько сотен или тысяч альтернатив) применять затруднительно. Таким образом, актуальными представляются задачи оценки возможности использования подхода нечетких множеств и нечеткой логики при небольшом количестве логических правил и сравнения результатов с известными методами автоматического определения весов критериев

риев (например, модифицированного метода ТОПСИС (The technique for order of preference by similarity to ideal solution, TOPSIS, техника упорядочивания предпочтений по уровню сходства с идеальным решением) [22] или метода нахождения «общности» [27]).

Таблица 2

ПОДХОД, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ КОМБИНАЦИЮ ДОЛЕЙ АЛЬТЕРНАТИВ

Показатель	Критерии				
	Комбинация долей альтернатив, %	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3	Критерий m
Альтернатива 1	100	Evaluation E			
Альтернатива 2	100				
Альтернатива 3	100				
Альтернатива 4	100				
Альтернатива 5	Альтернатива 1 – очень низкий				
	Альтернатива 2 – очень низкий				
	Альтернатива 3 – очень низкий				
	Альтернатива 4 – очень низкий				
Альтернатива 6	Альтернатива 1 – очень низкий				
	Альтернатива 2 – очень низкий				
	Альтернатива 3 – очень низкий				
	Альтернатива 4 – низкий				
Альтернатива 7	Альтернатива 1 – очень низкий				
	Альтернатива 2 – очень низкий				
	Альтернатива 3 – низкий				
	Альтернатива 4 – низкий				
...	...				
Альтернатива 4 + n	Альтернатива 1 – очень высокий				
	Альтернатива 2 – очень высокий				
	Альтернатива 3 – очень высокий				
	Альтернатива 4 – очень высокий				

- активность проведения реформ, нацеленных на деофшоризацию;
- уровень коррупции;
- эффективность государственного сектора как регулятора;
- качество государственных услуг;
- мировой экономический климат;
- темп роста мировой экономики;
- курс рубля к доллару;
- мировые условия для экспорта;
- ставка **LIBOR**.

Для оценки масштаба явления оттока капитала в работе используется показатель «чистый ввоз / вывоз капитала частным сектором», рассчитываемый Центральным банком РФ. Таким образом, выбор факторов, оказывающих влияние на рассматриваемый процесс, ограничен множеством макроэкономических переменных, влияющих на статьи платежного баланса, формирующие данный показатель. Приведенное множество, однако, остается неизменным и в случае использования показателей, рассчитанных с использованием иных методов, в том случае, если последние основываются на подходе, относящем к оттоку капитала все трансграничные денежные потоки, иницируемые с целью хеджирования рисков отчуждения прав собственности, банкротства, а также иных рисков, связанных с внутренней экономической и политической нестабильностью. Все известные авторам методики расчета величины оттока капитала используют статистику платежного баланса. Таким образом, предполагается, что вышеприведенные макроэкономические показатели оказывают влияние на масштаб оттока капитала как явления вне зависимости от используемого для его оценки индикатора.

В качестве когнитивной карты, связывающей выше-названные факторы, принята нечеткая когнитивная карта Силова В.Б. [14]. Предполагаемые взаимосвязи и сила их воздействия получены путем нахождения значимых уровне 0,05 корреляций между факторами. Поскольку данные, хоть и являются количественными, не распределены нормально, для измерения корреляций был использован коэффициент **tau-b** Кендалла, измеряющий связь между рангами.

Для дальнейшего анализа необходима дополнительная классификация факторов, предполагающая выделение управляемых, целевых и внешних (косвенных) концептов. Под управляемыми концептами понимают факторы, на которые может оказывать влияние лицо, принимающее решение (ЛПР) или иные лица, связанные с ним. К целевым концептам относят факторы, значения которых определяют успешность влияния. Соответственно косвенные и внешние концепты не регулируются ЛПР напрямую, однако часть из них может косвенным образом изменяться в зависимости от изменения значений управляемых концептов – это косвенные концепты. Другая часть абсолютно не зависит от решений, формируя неопределенность внешней среды. Однако и в первом, и во втором случае внешние концепты влияют на конечное значение целевых факторов. В терминологии теории принятия решений управляемые концепты представляют альтернативы (стратегии), целевые – критерии.

В приложении к рассматриваемой практической задаче в качестве управляемых факторов примем ключевую ставку Центрального банка РФ, норму обязательных резервов, объем банковской ликвидности, жесткость налоговой политики, активность проведения реформ, нацеленных на деофшоризацию, качество государственных услуг, ак-

Практический расчет многокритериальной задачи

Генерация комбинированных альтернатив

В качестве практического примера использования предлагаемого метода рассматривается задача оценки управления оттоком капитала из Российской Федерации как специфичной формой трансграничного движения капитала. Предполагается, что на рассматриваемый показатель влияют следующие макроэкономические факторы:

- сальдо текущего счета платежного баланса;
- ключевая ставка Центрального банка РФ;
- норма обязательных резервов;
- объем банковской ликвидности;
- денежная масса **M2**;
- сальдо государственного бюджета;
- внешний долг;
- жесткость налогового законодательства;
- налоговые поступления;
- активность процесса приватизации;
- международные резервы;
- экспорт;
- импорт;
- цена нефти;
- цены газа;
- индекс цен металлов;
- валовый внутренний продукт (ВВП);
- индекс потребительских цен (ИПЦ);
- индекс цен производителей промышленной продукции (ИППП);
- уровень политической стабильности;
- уровень экономической стабильности;

тивность процесса приватизации. С точки зрения экономической теории управляемые концепты представляют собой инструменты монетарной политики, доступные Центральному банку РФ (ключевая ставка, норма обязательных резервов, объем банковской ликвидности); инструменты фискальной политики (жесткость налоговой политики, активность процесса приватизации) и иные рычаги, доступные ведомствам и президенту (качество государственных услуг, активность проведения реформ, направленных на деофшоризацию). В [13] и других работах доказывается неэффективность прямого воздействия на процесс оттока капитала для стран с переходной экономикой, в число которых входит РФ. Для таких случаев предлагается проведение первичных мер, нацеленных на улучшение макроэкономической ситуации в целом. Т.е. наряду со снижением величины оттока капитала необходимо максимизировать (минимизировать в зависимости от конкретного показателя) фундаментальные макроэкономические факторы. Соответственно критериями в рассматриваемой задаче считаем ВВП, ИПЦ, политическую стабильность, экономическую стабильность, уровень коррупции и собственно величину оттока капитала.

Остальные макроэкономические показатели, которые образуются в результате совокупности иных факторов и формируются как под взаимным воздействием, так и под воздействием изменений управляемых факторов:

- сальдо текущего счета;
- денежная масса $M2$;
- внешний долг;
- международные резервы;
- сальдо государственного бюджета;
- налоговые поступления;
- ИППП;
- цена на газ;
- цена на нефть;
- индекс цен металлов;
- экспорт;
- импорт;
- эффективность государственного сектора как регулятора;
- темп роста мировой экономики;
- курс рубля к доллару;
- мировой инвестиционный климат;
- мировые условия для экспорта;
- ставка **LIBOR**.

Для использования идеи комбинации альтернатив разделим диапазон возможных значений на семь уровней:

- очень низкий;
- низкий;
- ниже среднего;
- средний;
- выше среднего;

- высокий;
- очень высокий.

Альтернатива или стратегия в этом случае принимает, например, следующий вид:

- очень низкая ключевая ставка Центрального банка РФ;
- средняя норма обязательных резервов;
- высокий объем банковской ликвидности;
- активность проведения реформ;
- нацеленных на деофшоризацию – ниже среднего;
- активность процесса приватизации – высокая;
- низкое качество государственных услуг;
- жесткость налоговой политики – средняя.

Подобным образом для рассматриваемого случая получаем $7^7 = 823\ 543$ возможных стратегий.

Для моделирования развития ситуация во времени при воздействии на управляемые концепты используем метод импульсных процессов [12], предназначенный для прогнозирования состояния концептов на временных интервалах. В соответствии с данным методом значение концепта j в момент времени $t + 1$ определяется характером внешнего воздействия на него, а состояние концепты j в момент времени t – характером изменения состояний в момент времени t иных концептов, влияющих на j . Соответственно, изменение параметров когнитивной карты в динамике можно записать в виде следующего импульсного процесса:

$$e_j(t + 1) = e_j(t) + p_j^0(t + 1) + \sum_{i=1}^n w_j p_i(t), \quad (1)$$

где $e_j(t+1)$, $e_j(t)$ – переменные, характеризующие состояние концепта e_j в моменты времени t и $t + 1$;

$p_j^0(t+1)$ – изменение в момент $t + 1$ состояния данного концепта, вызванное внешним по отношению к системе воздействием;

$p_i(t) = e_i(t) - e_i(t - 1)$, изменение состояния концепта e_j за счет изменений, произошедших с момента $t + 1$ момента t в системе (внутренний импульс концепта), $p_i(0) = 0$ для всех значений i .

Используя (1) и задав начальные значения концептов согласно текущей экономической ситуации, рассчитываем их конечное значение. В рамках данной работы расчет когнитивной карты с помощью импульсного моделирования производился в программе «ИГЛА» [10, 12]. Для дальнейшего ее использования в качестве матрицы оценок альтернатив по критериям исключим из рассмотрения факторы, не являющиеся целевыми. Таким образом, получаем $823\ 543 * 6$. Получившаяся матрица значений приведена в табл. 3. Решение подобной задачи традиционными методами представляется затруднительными.

Таблица 3

ФРАГМЕНТ МАТРИЦЫ ОЦЕНОК АЛЬТЕРНАТИВ ПО КРИТЕРИЯМ

Альтернативы	Сальдо текущего счета	Внешний долг	ВВП	ИПЦ	Политическая стабильность	Экономическая стабильность	Уровень коррупции	Отток капитала
....
1955	0,099325	0,0596625	0,00496	0,0050	0,1036125	0,1121	0,02905	0,0570375
1956	0,101	0,062575	0,0061	0,0056	0,113275	0,116375	0,018275	0,022575
1957	0,0947	0,0539875	0,00339	0,0038	0,1251	0,1446125	0,0383	0,0889875
1958	0,0962625	0,05690625	0,00439	0,0043	0,1346	0,14868125	0,02755	0,05491875
1959	0,097825	0,059825	0,0054	0,0048	0,1441	0,15275	0,0168	0,02085
1960	0,09175	0,051225	0,00295	0,0032	0,15625	0,1814	0,036775	0,086475
1961	0,0932	0,05415	0,00383	0,0036	0,1655875	0,1852625	0,02605	0,0528
1962	0,09465	0,057075	0,0047	0,0040	0,174925	0,189125	0,015325	0,019125
1963	0,13565	0,06445	0,00765	0,0064	0,1396	0,15965	0,0034	0,08665
1964	0,1399	0,068375	0,00993	0,0071	0,148675	0,163975	0,003425	0,0527

Альтернативы	Сальдо текущего счета	Внешний долг	ВВП	ИПЦ	Политическая стабильность	Экономическая стабильность	Уровень коррупции	Отток капитала
1965	0,14415	0,0723	0,0122	0,0078	0,15775	0,1683	0,00345	0,01875
1966	0,130525	0,061225	0,00678	0,0059	0,169575	0,194475	0,0035	0,0843
....

Принятие решений с логическими правилами

Использование подходов, принятых в теории нечетких множеств, предполагает построение логических правил. В задаче предложенного вида их количество должно соотноситься с числом уровней каждого из критериев и собственно количества критериев. В случае приложения к задаче регулирования вывоза капитал за рубеж, разбив шесть критериев на семь уровней, мы сталкиваемся с необходимостью создания $7^6 = 117\,649$ логических правил. Несмотря на то, что на первый взгляд подобная задача представляется крайне затруднительной, она легко автоматизируется в силу того, что функции принадлежности входных переменных в целом являются идентичными, что будет продемонстрировано ниже.

Используем алгоритм нечеткого логического вывода, разработанный Э. Мамдани. Входными переменными являются критерии:

- ВВП;
- ИПЦ;
- экономическая стабильность;
- политическая стабильность;
- уровень коррупции;
- отток капитала.

Каждый вход, аналогично этапу генерации альтернатив, разбиваем на семь уровней:

- очень низкий;
- низкий;
- ниже среднего;
- средний;
- выше среднего;
- высокий;
- очень высокий.

Примем следующую направленность критериев:

- увеличение ВВП;
- уменьшение ИПЦ;
- повышение экономической и политической стабильности;
- снижение уровня коррупции;
- снижение оттока капитала (предполагаем, что положительное рост значения критерия характеризует увеличение масштабов явления);
- увеличение профицита текущего счета.

Таким образом, мы максимизируем ВВП, экономическую и политическую стабильность, сальдо текущего

счета и минимизируем уровень коррупции, ИПЦ и отток капитала.

Выход один, с обобщенной оценкой, в нем принимаем девять уровней. Обобщенная оценка сконструирована с целью реализации возможности одновременно учета влияния всех учитываемых критериев. Имена для удобства дадим по координате математического ожидания каждой функции принадлежности.

Использование подходов нечеткой логики позволяет на этапе аналогичном по сути назначению весов критериев отказаться от данной процедуры, вызывающей затруднения у ЛПР по причине необходимости оперирования количественными данными, и перевести задачу на естественный язык. Таким образом, ЛПР необходимо лишь сформулировать зависимости вида «если А, В, С высокие, а Е низкое, то это очень хорошо». Высказывания такого типа доказано являются более понятными для ЛПР. В большинстве случаев нет необходимости в формулировании ЛПР всего множества логических правил, достаточно составления некоторого количества правил, позволяющих уточнить силу зависимости, своеобразную эластичность выходной обобщенной переменной от каждого из входных критериев. Это становится возможным, так как определен вид экстремума по каждому из критериев и кроме того типизированы функции принадлежности по входным критериям. Таким образом, автоматизация процесса генерации логических правил является возможной при условии составления элементарного алгоритма, основанного на типе экстремумов критериев и определения эластичности обобщенной выходной переменной по каждому из них. Кроме того очевидным представляется рассмотрение только правил, обеспечивающих максимальное значение выходной переменной, что также в значительной степени снижает трудоемкость задачи. В данном случае число логических правил, максимизирующих обобщенную оценку, сужается до рассмотрения 27. Стоит отдельно отметить, что при разработке подобного алгоритма необходимо обратить внимание на предотвращение включения дублирующих записей. Фрагмент множества логических правил, разработанных для решения рассматриваемой задачи, приведен на рис. 1.

1. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is HC) and (input4 is B) and (input5 is OB) and (input6 is BC) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is H) then (output1 is OB) (1)
2. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is H) and (input4 is B) and (input5 is OB) and (input6 is BC) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
3. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is HC) and (input4 is OB) and (input5 is OB) and (input6 is B) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
4. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is H) and (input4 is OB) and (input5 is OB) and (input6 is B) and (input7 is B) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
5. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is HC) and (input4 is OB) and (input5 is OB) and (input6 is OB) and (input7 is B) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
6. If (input1 is BC) and (input2 is BC) and (input3 is C) and (input4 is B) and (input5 is OB) and (input6 is BC) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is H) then (output1 is OB) (1)
7. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is HC) and (input4 is B) and (input5 is OB) and (input6 is BC) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
8. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is C) and (input4 is B) and (input5 is OB) and (input6 is BC) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
9. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is HC) and (input4 is B) and (input5 is OB) and (input6 is B) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
10. If (input1 is BC) and (input2 is B) and (input3 is C) and (input4 is OB) and (input5 is OB) and (input6 is B) and (input7 is BC) and (input8 is OH) and (input9 is OH) then (output1 is OB) (1)
11. If (input1 is H) and (input2 is H) and (input3 is C) and (input4 is C) and (input5 is BC) and (input6 is OH) and (input7 is OH) and (input8 is B) and (input9 is H) then (output1 is OB) (1)

Рис. 1. Разработка логических правил

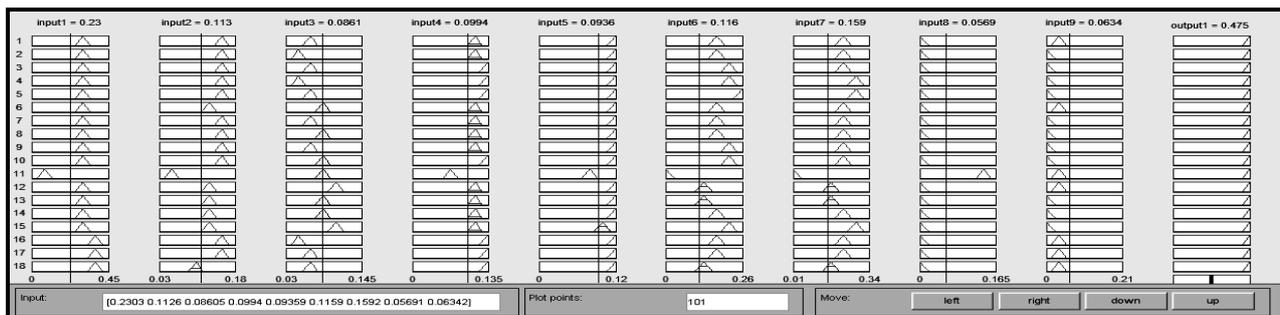


Рис. 2. Дефаззификация для альтернативы 17. Оценка = 0,475

На основании логических правил осуществляем очередную подстановку альтернатив и дефаззификацию (приведение к четкости). На рис. 2 приведен фрагмент расчета альтернативы 17.

В итоге дефаззификации всех альтернатив с применением алгоритма Мамдани получены количественные значения обобщенных оценок (табл. 4).

Таблица 4

ФРАГМЕНТ РАСЧЕТА ОБОБЩЕННОЙ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВ

Лучшие альтернативы	Обобщенная оценка альтернатив по Мамдани
18	0,476
19	0,475
20	0,646
21	0,646
24	0,646
44	0,475
45	0,475
47	0,645
48	0,647
51	0,646
53	0,475
70	0,475
71	0,475
73	0,475
76	0,475
97	0,475
123	0,475
150	0,475

Наилучшую оценку имеет альтернатива 48, подразумевающая принадлежность значений управляемых концептов следующим уровням:

- очень низкая ключевая ставка;
- низкая норма обязательных резервов;
- объем банковской ликвидности выше среднего;
- низкая активность процесса приватизации;
- жесткость налоговой политики выше среднего;
- очень высокое качество государственных услуг;
- средняя активность проведения реформ, нацеленных на деофшоризацию.

Такой результат подразумевает проведение стимулирующей монетарной политики на фоне ужесточения фискальной, что должно сопровождаться высоким качеством государственных услуг, позволяющих повысить легкость ведения бизнеса внутри страны. Интересно отметить, что наилучшая стратегия не предлагает повышение активности проведения реформ, нацеленных на деофшоризацию, в то время как предполагается увеличение налогового бремени внутри страны. Это может свидетельствовать о том, что первопричиной от-

тока капитала является не выбор страны с наиболее мягкими условиями налогообложения, равно как и не поиск экономической территории с высоким уровнем стабильности, а вывоз активов из страны происхождения с целью их сокрытия и отмывания.

Заключение

В данной работе показаны возможности применения нечеткой логики к генерируемым комбинированным альтернативам нечеткой когнитивной карты В.Б. Силова. К числу альтернатив порядка нескольких сотен тысяч и количеству критериев равно шести, при количестве функций принадлежности входных переменных равно семи, число логических правил, массирующей обобщенную переменную, составило порядка трех десятков. Таким образом, известные работы с применением комбинаций альтернатив [10] ставят своей целью только получение платежной матрицы для выбора наилучших альтернатив. Отличием предлагаемой работы является исследование одного из возможных способов решения матрицы большой размерности. Для определения качества полученного результата кроме анализа с точки зрения логики экономической теории были проведено его сравнение с результатами других методов автоматического определения значимости критериев.



Рис. 3. Фрагмент совмещенных обобщенных оценок комбинированных результатов

В частности, результаты нахождения наилучшей альтернативы в рамках подходов нечеткой логики с использованием алгоритма Мамдани показали полную идентичность с результатами, полученными при расчете по модифицированной версии метода ТОПСИС [22], а также при использовании метода нахождения «общности» [27, 7] (рис. 3).

Однако в отличие от методов автоматического определения важности критериев нечеткий подход не исключает полностью участие ЛПР в определении значимости каждого из критериев для достижения оптимального результата, переводит задачу на привычный

ЛПР, естественный язык, позволяя тем самым избежать искажения информации, поступающей от ЛПР.

Литература

1. Аверкин А.Н. Параллельная реализация генетического алгоритма обучения нечетких когнитивных карт [Текст] / А.Н. Аверкин, А.А. Паринов // Труды 13-й национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2012 : тр. конф. Т. 2. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2012. – С. 323-329.
2. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А.Н. Борисов. – М. : Радио и связь, 1989. – 304 с.
3. Борисов В.В. Обобщенные нечеткие когнитивные карты [Текст] / В.В. Борисов, А.С. Федулов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2004. – №4. – С. 3-21.
4. Вовк С.П. Моделирование переходов между эталонными ситуациями в сложных системах в условиях неопределенности [Текст] / С.К. Вовк, Л.А. Гинис // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – №2. – С. 116-122.
5. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад. – М. : Радио и связь, 1990. – 288 с.
6. Ледашева Т.Н. Многокритериальный выбор оптимальных стратегий управления в когнитивных системах [Текст] : автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. Наук / Т.Н. Ледашева. – М., 2003.
7. Леонова Н.В. Использование методов многокритериального принятия решений в условиях смешанных стратегий для целей макроэкономического анализа [Текст] / Н.В. Леонова // Экономические науки. – 2013. – №101.
8. Макеев С.П. Упорядочение объектов в иерархических системах [Текст] / С.П. Макеев, И.Ф. Шахнов // Известия АН СССР ; Техн. кибернет. – 1991. – №3. – С. 29-46.
9. Мелихов А.Н. Ситуационные советуемые системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов. – М. : Наука, 1990. – 272 с.
10. Подвесовский А.Г. и др. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений [Текст] / А.Г. Подвесовский, Д.Г. Лагерев, Д.А. Коростелев // Экономические проблемы становления рыночных отношений в Российской Федерации : сб. ст. II междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Брянск : БГТУ, 2007. – С. 185-189.
11. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М. : Наука, 1982.
12. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложением к социальным, биологическим и экологическим задачам [Текст] / Ф.С. Робертс. – М. : Наука, 1986. – 496 с.
13. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Керне. – М. : Радио и связь, 1991. – 320 с.
14. Силев В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке [Текст] / В.Б. Силев. – М. : ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
15. Федулов А.С. Нечеткие реляционные когнитивные карты. [Текст] / А.С. Федулов // Известия РАН ; Теория и системы управления. – 2005. – №1. – С. 120-133.
16. Aleskerov F. Multicriterial interval choice models // Information science. 1994. Vol. 8.
17. Aleskerov F., Ersel H., Yolalan R. Multicriterial methods for evaluating bank branch performance // Discussion paper series. №97-01. Arastirma bolumu. Research department.
18. Axelrod R. Structure of decision: the cognitive maps of political elites-princeton. NJ, Princeton University Press, 1976. 404 p.
19. Carvalho J.P. Rule-based fuzzy cognitive maps and fuzzy cognitive maps – a comparative study // In proceedings of the 18th international conference of the North American fuzzy information. 1999. NAFIPS. Pp. 115-119.
20. Evstegneev D.V., Ledashcheva T.N. About methods of alternatives ranging at the optimal development strategy chose for modelling system // V International congress on mathematical modelling. Book of abstracts. Dubna, 2002. Vol. 2.
21. Fedulov A.S. Fuzzy inference method for qualitative models of multipurpose systems // The International journal of artificial intelligence and machine learning. 2004.
22. Hwang Ch.-L., Lin M.-J. Group decision making under multiple criteria. Methods and applications. Berlin. : Springer-Verlag, 1978.
23. Kosko B. Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic. Hyperion, Disney Books, 1993. 336 p.
24. Kosko, B. Fuzzy cognitive maps // International journal of man-machine studies. 1986. №24. Pp. 65-75.
25. Mamdani E.H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // Transactions on computers. 1977. Vol. 26 ; No.12. Pp. 1182-1191.
26. Miao Y., Miao Ch.-Y., Tao X.-H., Shen Zh.-Q., Liu Zh.-Q. Transformation of cognitive maps // IEEE transactions on fuzzy systems. 2010. Vol. 18. Pp. 114-124.
27. Perminov G., Leonova N. The method of determining importance of criteria in a multicriteria decision problem // China-USA business review. 2012. Vol. 11 ; №9.
28. Saborowski Ch., Sanya S., Weisfeld Y.J. Effectiveness of capital outflow restrictions // IMF working paper. 2014.
29. Sugeno M. Theory of fuzzy integrals and its applications. Tokyo : Ph.D thesis, Institute of Technology, 1974.
30. Yager R.R. Essentials of fuzzy modeling and control. New York : John Wiley, 1994. 354 p.
31. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control. 1965. Vol. 8. Pp. 338-353.
32. Zadeh L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes // IEEE trans. systems, man and cybernetics. 1973. Pp. 78-86.

Ключевые слова

Когнитивное моделирование; нечеткие когнитивные карты; комбинации долей альтернатив; нечеткие множества и нечеткая логика; автоматическое определение весов критериев; многокритериальное принятие решений; импульсный процесс; отток капитала; макроэкономический анализ; алгоритм нечеткого вывода Мамдани.

Перминов Геннадий Иванович

Леонова Нина Вячеславовна

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность исследования. Процесс принятия решений в слабоструктурированных предметных областях затруднен в первую очередь по причине ограниченных возможностей формализации на всех этапах – начиная от формирования множества альтернатив и заканчивая определением весов критериев. Кроме того как лица принимающие решения, так и эксперты используют термины естественного языка, что также препятствует строгой формализации проблемы. Помимо этого все чаще встречаются случаи, когда круг лиц, принимающих решения, крайне ограничен, что подразумевает возможность наличия высокой степени субъективности при формировании экспертной оценки. Таким образом, методика, позволяющая оперировать терминами естественного языка, привычного специалистам данной предметной области, позволяет корректно учесть поступающую от них информацию, сохраняя при этом качество итогового решения сопоставимым с результатами, полученными при расчете иными методами автоматического определения важности критериев.

Научная новизна и практическая значимость. В статье предлагается новый метод, позволяющий использовать преимущества подходов когнитивного моделирования и нечеткой логики к многокритериальным слабоструктурированным задачам принятия решений

Заключение: рецензируемая статья отвечает требованиям, предъявляемым к научным публикациям, и может быть рекомендована к публикации.

Акопов А.С., д.т.н., профессор кафедры «Бизнес - Аналитика», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

[Перейти на Главное МЕНЮ](#)
[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)