

# ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ

ПОСПЕЛОВА Л. Я.

УДК 004.891

## Поспелова Л. Я. Оценка степени непротиворечивости системы нечетких правил

В статье на основании анализа последних достижений и публикаций показано, что в социально-экономических моделях, использующих традиционную парадигму классического рационализма (вычислимые, агентные, эконометрические модели), возникают сложности при попытках отразить природу нечеткости и неопределенности. Накопленным коллективным опытом разработки оптимальных моделей подтверждена перспективность применения нечетко-множественного подхода в моделировании общества. Обоснована необходимость изучения природы противоречивости в нечетких базах знаний как на обобщенном онтологическом уровне, так и на прагматическом функциональном уровне логики вывода. В статье предлагается метод поиска логических и концептуальных противоречий в виде сочетания абдукции и *modus ponens*. Обсуждается ключевой для предложенного метода вопрос: какими свойствами должна обладать функция принадлежности вторичного нечеткого множества, описывающего в моделях нечеткого вывода такое результирующее состояние объекта управления, которое с большой степенью возможности совмещает эмпирически несовместимые признаки. Степень принадлежности объекта управления сразу нескольким несовместимым классам по отношению к нечеткой выходной переменной есть степень нечеткости суждения «Пересечение всех результатов нечеткого вывода множества, применимых при некотором входе правил, есть пустое множество». Описан алгоритм оценки меры непротиворечивости. Приведен пример пошагового выявления противоречий в статических нечетких БЗ на прагматическом функциональном уровне логического вывода. Полученные результаты тестирования в виде наборов несовместимых фактов, цепочек выводов, наборов непересекающихся интервалов, вычисленные меры противоречивости позволяют экспертам своевременно устранить недопустимые противоречия и тем самым повысить качество рекомендаций и оценок нечетких ЭС.

**Ключевые слова:** противоречия, нечеткая продукционная база знаний, абдукция, слово состояния, носитель вторичного нечеткого множества, функция принадлежности, степень непротиворечивости

**Рис.:** 3. **Табл.:** 1. **Формул.:** 5. **Библ.:** 18.

**Поспелова Людмила Яковлевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел математического моделирования экономических систем, Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской академии наук (ул. Вавилова, 40, Москва, 119333, Россия)

**E-mail:** poljak6@yandex.ru

УДК 004.891

## Поспелова Л. Я. Оцінка ступеня несуперечливості системи нечітких правил

У статті на підставі аналізу останніх досягнень і публікацій показано, що у соціально-економічних моделях, які використовують традиційну парадигму класичного раціоналізму (обчислювані, агентні, економічні моделі), виникають складності при спробах відобразити природу нечіткості і невизначеності. Накопченим колективним досвідом розробки оптимальних моделей підтверджена перспективність застосування нечітко-множинного підходу в моделюванні суспільства. Обґрунтовано необхідність вивчення природи суперечливості в нечітких базах знань як на узагальненому онтологічному рівні, так і на прагматичному функціональному рівні логічного виводу. У статті пропонується метод пошуку логічних та концептуальних протиріч у вигляді поєднання абдукції і *modus ponens*. Обговорюється ключове для запропонованого методу питання: якими властивостями повинна володіти функція належності вторинного нечіткої множини, що описує в моделях нечіткого висновку такий результируючий стан об'єкта управління, який з великим ступенем можливості поєднує емпірично несумісні ознаки. Ступінь належності об'єкта управління одразу до кількох несумісних класів відносно нечіткої вихідної змінної є ступінь нечіткості суження «Перетин усіх результатів нечіткого виводу множини, застосованих при деякому вході правил, є порожня множина». Описано алгоритм оцінки міри узгодженості. Наведено приклад покрокового виявлення суперечностей у статичних нечітких БЗ [базах знань] на прагматичному функціональному рівні логічного виводу. Отримані результати тестування у вигляді наборів несумісних фактів, ланцюжків висновків, наборів непересічних інтервалів, обчислені заходи суперечливості дозволять експертам своєчасно усунути неприпустимі протиріччя і тим підвищити якість рекомендацій і оцінок нечітких ЕС [експертних систем].

**Ключові слова:** протиріччя, нечітка продукційна база знань, абдукція, слово стану, носій вторинної нечіткої множини, функція належності, ступінь несуперечливості.

**Рис.:** 3. **Табл.:** 1. **Формул.:** 5. **Бібл.:** 18.

**Поспелова Людмила Яківна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ математичного моделювання економічних систем, Обчислювальний центр ім. А. А. Дородніцина Російської академії наук (вул. Вавилова, 40, Москва, 119333, Росія)

**E-mail:** poljak6@yandex.ru

UDC 004.891

## Pospelova L. Y. Assessment of the Degree of Consistency of the System of Fuzzy Rules

The article analyses recent achievements and publications and shows that difficulties of explaining the nature of fuzziness and equivocation arise in socio-economic models that use the traditional paradigm of classical rationalism (computational, agent and econometric models). The accumulated collective experience of development of optimal models confirms prospectiveness of application of the fuzzy set approach in modelling the society. The article justifies the necessity of study of the nature of inconsistency in fuzzy knowledge bases both on the generalised ontology level and on pragmatic functional level of the logical inference. The article offers the method of search for logical and conceptual contradictions in the form of a combination of the abduction and *modus ponens*. It discusses the key issue of the proposed method: what properties should have the membership function of the secondary fuzzy set, which describes in fuzzy inference models such a resulting state of the object of management, which combines empirically incompatible properties with high probability. The degree of membership of the object of management in several incompatible classes with respect to the fuzzy output variable is the degree of fuzziness of the "Intersection of all results of the fuzzy inference of the set, applied at some input of rules, is an empty set" statement. The article describes an algorithm of assessment of the degree of consistency. It provides an example of the step-by-step detection of contradictions in statistical fuzzy knowledge bases at the pragmatic functional level of the logical output. The obtained results of testing in the form of sets of incompatible facts, output chains, sets of non-crossing intervals and computed degrees of inconsistency allow experts timely elimination of inadmissible contradictions and, at the same time, increase of quality of recommendations and assessment of fuzzy expert systems.

**Key words:** contradictions, fuzzy production knowledge base, abduction, status word, carrier of the secondary fuzzy set, membership function, degree of consistency.

**Pic.:** 3. **Tabl.:** 1. **Formulae:** 5. **Bibl.:** 18.

**Pospelova Lyudmila Ya.** – Candidate of Sciences (Engineering), Senior Research Fellow, Department of mathematical modeling of economic systems, Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnitsyn Computing Centre of RAS (Vavilov st. 40, Moscow, 119333, Russia)

**E-mail:** poljak6@yandex.ru

Сложные социально-экономические системы не только состоят из очень большого числа элементов, но выделяются своей уникальностью и способностью к необратимым качественным изменениям. Изучая сложную систему, мы фактически наблюдаем единственную траекторию, которая не воспроизводит себя статистически достоверно и не показывает всех потенциальных возможностей системы. В [1, 2] рассмотрены принципиальные трудности, возникающие при разработке технологии компьютерного моделирования экономики ЭКОМОД с использованием подходов, апробированных в естественных науках. Вариационные принципы, законы сохранения, группы симметрии играют в экономике иную, чем в естественных науках, роль и имеют иную топологию [2]. Отсутствие в экономике базовой системы наблюдаемых величин и базовой системы уравнений не позволяет сформулировать задачу поиска состояния системы управления в универсальном пространстве характеристик (такого пространства пока не удалось зафиксировать). Хотя индивидуальное поведение людей прихотливо, совокупное поведение групп индивидуумов, исполняющих сходные роли в условиях конкуренции и подражания (макроагенты) оказывается более простым, чем поведение любого из ее членов, и может быть описано как рациональное: макроагенты выбирают такую стратегию, которая максимизирует некий показатель (потребление, полезность, прибыль, капитализация) в условиях технологических и институциональных ограничений. Интересы макроагентов предлагается считать [1, 2] вариационными принципами, которые выделяют наблюдаемую траекторию экономического поведения из всех возможных. Если в физике вариационный принцип «руководит» всей системой, в модели экономики у каждого макроагента свой вариационный принцип. Однако из-за того, что экономические системы по сути являются нечеткими и неопределенными, возникают затруднения в оснащении модели информационными переменными, согласующими планы агентов в рамках системы балансов, затруднения в формулировках нечеткой функции полезности и нечетких бюджетных ограничений, начальных условий и параметров. Вопрос об оптимальной сложности вычислимой модели остается открытым из-за несовместимости требований математической простоты модели и достоверности решения. Часть описанных выше проблем может быть упрощена использованием концепции ограниченного рационального выбора, развитой в экономической теории [3]. Концепция оказалась плодотворной в анализе некоторых общественных институтов и совместимой с нечетким подходом.

Также в последнее время в моделировании фиксируется неэффективность попыток отразить природу нечеткости и неопределенности сложных объектов традиционными вероятностно-статистическими методами. Происходящая в настоящее время ускоренная пульсирующая эволюция управленческих, общественно-политических и финансово-экономических парадигм приводит к эпистемологическим разрывам (модификации сложной системы отношений между параметрами объекта). Информационная неопределенность экзогенных параметров модели объекта управления влечет нечеткость целевых параметров. Накопленные ранее большие объемы данных наблюдений теряют свое соответствие изменившимся стохастическим свойствам объекта, становятся неприменимыми

Работа поддержана РФФИ (№12-01-00916-а).

для эконометрического вероятностного прогнозирования. Растет интерес к не вероятностным моделям случайности, нечеткости и неопределенности [4, 5]. Прорабатывается вопрос учета неопределенности с помощью нечеткой логики путем включения эмпирического материала в эпистемологический контекст. Простейший пример такого включения – эмпирический подбор функций принадлежности переменных своим нечетким термам. Другой пример – индуктивный поиск нечетких закономерностей: на основании эмпирически построенной поверхности отклика создать подходящую систему нечетких продукционных правил.

Принцип несовместимости сложности системы и точности ее математической трактовки вынуждает исследователя формулировать математическую модель с помощью терминов, отражающих неполноту и нечеткость знаний [6] как о стохастических, так и не стохастических объектах. Мировое научное сообщество продолжает аккумулировать оптимальные модели сложных подсистем с применением нечетких множеств. Например, в [7] авторы многих исследований показывают, как в сложных системах естественно и вполне эффективно использовать нечеткие модели, которые имитируют поведение экономики, бизнеса, финансов. В монографии [8] авторы раскрывают содержание проблемы моделирования процессов управления предприятием с применением аппарата нейросетей, когда прогнозирование заменяется распознаванием «похожей» ситуации. В работе [9] предлагается нечетко-множественная методика оценки проекта институциональной реформы (оценка влияния условий налогообложения на финансовое состояние предприятий). В ряде работ можно найти примеры нечетких экспертных систем (ЭС), базирующихся как на экспертных оценках (анализ финансовой устойчивости предприятия [10, 11], прогноз динамики инфляционных процессов [12], оценка качества кредитного портфеля банка [13]), так и на совокупности статистических и экспертных данных (иерархическая ЭС оценки валютных рисков [14]). В последнем примере авторы предупреждают, что за возможность работы с большим количеством входных параметров приходится платить некоторой потерей адекватности результата: на каждом шаге вывода добавляется погрешность от операций дефазификации + фазификации промежуточного результата. (Надо заметить, что используемый в [14] Fuzzy Logic Toolbox допускает программный отбор вторичного нечеткого множества, которое может напрямую служить нечетким входом следующего уровня). Во всех примерах статические нечеткие базы знаний (БЗ) нуждаются в тестировании на непротиворечивость.

Знания в интеллектуальных системах можно рассматривать на уровне онтологическом, функциональном и эволюционном. Мозговой штурм проекта реконструирования Web-пространства в пространство знаний обусловил энергичный поиск адекватного способа представления знаний и убеждений с учетом как специфики человеческого познавательного процесса, так и специфики принятия решений компьютером. Активно развивается обобщенный теоретический подход к изучению противоречий в онтологиях, к выявлению причин возникновения противоречивости при ревизии рациональным субъектом собственных понятий и убеждений [15].

Настоящая статья предлагает метод и алгоритм автоматического выявления противоречий в статических нечетких БЗ на прагматическом функциональном уровне ло-

гического вывода. Методика иллюстрируется описанием примера локализации противоречия в заданной системе нечетких правил.

**Н**асколько уверенно можно говорить о противоречивости системы нечетких правил, зная, что нечёткая логика отвергает закон противоречия аристотелевой логики, который запрещает высказыванию и его отрицанию быть одновременно истинными ( $\neg(p \wedge \neg p) = 1$ )? Поскольку для нечетких множеств не выполняется условие дополненности ( $A \cap \neg A \neq \emptyset; A \cup \neg A \neq X$ ), то все алгоритмы доказательств теорем в формализмах классических логик, проверяющие на каждом шаге, не свелось ли результирующее высказывание к пустому множеству [16], в нечетком выводе удовлетворительно работать уже не будут. То есть для нечеткой БЗ нельзя требовать замкнутости множества правил-аксиом относительно логического следования. С другой стороны, отказ от требования непротиворечивости правил может привести к серьезным ошибочным выводам.

Если вывести обсуждение на содержательный уровень, отметим, что еще в работах Васильева Н. А. указывалось, что единственным источником отрицания является эмпирическая несовместимость признаков. Степень принадлежности объекта управления сразу нескольким несовместимым классам (например, «Значительное падение» и «Значительный рост») по отношению к нечеткой выходной переменной (например, «Прогноз инфляции») есть степень нечеткости суждения «Пересечение всех результатов нечеткого вывода множества применимых при некотором входе правил есть пустое множество» (носитель результата-выхода – непересекающиеся интервалы).

**Идея метода.** Пусть задана система нечетких импликаций для входов и одного выхода:

$$\begin{aligned}
 &IF((X_1 \in A_1^1)AND(X_2 \in A_2^2)AND... \\
 &...AND(X_m \in A_k^m))THEN(Y \in B_r)
 \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$(X_1 = a_1^1) \cap (X_2 = a_2^2) \cap \dots \cap (X_m = a_k^m) \rightarrow (Y = b_r), \quad (2)$$

где:  $\{X_i\}$  – множество входных переменных, заданных на своих универсальных множествах  $U_{X_i}$ ; нечеткие термы  $a_k^i$  – элементы терм-множеств:  $a_k^i \in A^i$ ; принадлежность терма  $a_k^i$  соответствующему универсу  $U_{X_i}$  задается функцией принадлежности  $\mu_k(X_i)$ ;  $Y$  – выходная переменная, заданная на универсе  $U_Y$ , её нечеткие термы  $b_r \in B$  имеют функции принадлежности  $\mu_r(Y)$ .

Каждое правило подвергается тестированию: становится корнем цепочки смешанного нечеткого вывода (абдукция, затем нечеткий *modus ponens*). Поскольку в абдукционном выводе [18] истинность с заключения правила переносится на его условия, в слово *состояние* [16] заносятся термы заключения и условия со своими мерами принадлежности переменных к нечетким подмножествам, т. е. функциями принадлежности. В реальной задаче такая экзотическая ситуация может возникнуть, если переменные, поступающие на вход нечеткого контроллера, описываются не синглетами, а нечеткими терм-множествами. В [6] приводятся примеры нечеткого вывода, когда на вход поступает произвольный «зашумленный» сигнал. В описываемом методе в исходное слово состояния будут заноситься

нечеткие сигналы, совпадающие с термами-условиями тестируемых нечетких правил.

**Описание алгоритма.** Пусть на вход блока поиска противоречий поступает «зашумленный» сигнал, который описывается нечеткими множествами, совпадающими с условиями проверяемого правила, например, правила  $R_1$ :

$$X_1 = A_1^1; X_2 = A_1^2; \dots; X_m = A_1^m; A^{R_1} = A_1^1 \times A_1^2 \times \dots \times A_1^m. \quad (3)$$

Для каждого из правил нечеткой базы знаний  $R_p$ ,  $t=1, n$  вычислим нечеткую  $t$ -импликацию Мамдани. В результате получим новую нечеткую переменную либо со «срезанной» (см. рис. 2, правила R2, R4, R6), либо с исходной (рис. 2, правила R1, R5) функцией принадлежности терм-множеству выхода-заключения правила  $R_t$ :

$$\begin{aligned}
 &\mu_{R_t}(X_1 = A_1^1, X_2 = A_1^2, \dots, X_m = A_1^m, Y \in B_{r_t}) = \\
 &= Min \left( \begin{array}{c} Min(\mu_1(x_1), \mu_{i_1}(x_1)), Min(\mu_1(x_2), \mu_{i_1}(x_2)), \dots, \\ X_1 \quad X_2 \\ \dots, Min(\mu_1(x_m), \mu_{k_1}(x_m)), \mu_{r_t}(y) \\ X_m \end{array} \right). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Мера применимости проверяемого правила  $R_1$  всегда будет максимальной при заданном «зашумленном» входе (3) с максимальным значением меры выполненности послышки данного правила. Функция принадлежности результата  $Y = B_{r_1}$  будет совпадать с  $\mu_{r_1}(y)$ , т. е. не будет «срезанной».

Высокая степень возможности [4] получения противоречивых, двусмысленных результатов нечеткого вывода будет зафиксирована, если для данного входа (3) найдется такое применимое правило  $R_o$ , что результат исчисления нечеткой импликации  $Y = \tilde{B}_{r_o}$  для него будет в значительной мере принадлежать терму выхода  $B_{r_o}$ , который противоречит терму-заключению  $B_{r_1}$  тестируемого правила  $R_1$ :

$$Supp(B_{r_1}) \cap Supp(B_{r_o}) = \emptyset. \quad (5)$$

Здесь  $Supp(B_{r_t}) = \{y \in U_Y; \mu_{r_t}(y) > 0\}$  – носитель [6] нечеткого множества  $B_{r_t}$ . На следующем шаге анализируются все носители нечетких множеств – результатов  $\{\mu_{R_t}\}$ , полученных в (4).

Наличие противоречия в нечеткой базе знаний будет зафиксировано, если найдется такая интерпретация (такие подмножества значений входных переменных), для которой будут участвовать в композиции (в нечетком агрегировании) только правила  $R_1$  и  $R_o$ .

Описанный алгоритм оценки ниже иллюстрируется примером пошагового выявления указанной интерпретации  $\hat{X}_{R_1} \in X_{R_1}$  в конкретном наборе противоречивых нечетких правил.

**Пример.** Пусть нечеткая БЗ содержит 9 правил – композиций двух входов и одного выхода (рис. 1, табл. 1).

Функции принадлежности нечетких переменных своим терм-множествам для наглядности выбраны треугольными, так что носители всех нечетких подмножеств  $U^j$ , их пересечения и разности вычисляются тривиально.

- R1. If (x1 is Низкий) and (x2 is Низкий) then (y is Низкий)
- R2. If (x1 is Низкий) and (x2 is Средний) then (y is НижеСреднего)
- R3. If (x1 is Низкий) and (x2 is Высокий) then (y is Средний)
- R4. If (x1 is Средний) and (x2 is Низкий) then (y is НижеСреднего)
- R5. If (x1 is Низкий) and (x2 is Низкий) then (y is Высокий)
- R6. If (x1 is Средний) and (x2 is Средний) then (y is Средний)

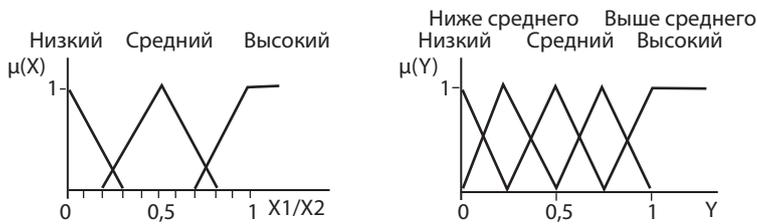


Рис. 1. Функции принадлежности входов и выхода

Таблица 1

Переменные и термы

Name	Универс Range (U)	Нечеткие термно-множества MF	$U_i^j$
$x_1$	[0 1]	Низкий	$U_1^1 = [0,0.3]$
		Средний	$U_2^1 = [0.2,0.8]$
		Высокий	$U_3^1 = [0.7,1]$
$x_2$	[0 1]	Низкий	$U_1^2 = [0,0.3]$
		Средний	$U_2^2 = [0.2,0.8]$
		Высокий	$U_3^2 = [0.7,1]$
y	[0 1]	Низкий	$U_1^y = [0,0.25]$
		Ниже Среднего	$U_2^y = [0,0.5]$
		Средний	$U_3^y = [0.25,0.75]$
		Выше Среднего	$U_4^y = [0.5,1]$
		Высокий	$U_5^y = [0.75,1]$

- R7. If ( $x_1$  is Высокий) and ( $x_2$  is Низкий) then ( $y$  is Средний)  
 R8. If ( $x_1$  is Высокий) and ( $x_2$  is Средний) then ( $y$  is ВышеСреднего)  
 R9. If ( $x_1$  is Высокий) and ( $x_2$  is Высокий) then ( $y$  is Высокий)

Начало: Для R1 составляется конфликтный набор: R2, R4, R5, R6.

(Рис. 2, R1): (Абдукция): SSOST: 0200 0000 0100  $U_1^1 \times U_1^2$

Modus ponens:

(Рис. 2, R 2): (R1, R2) 0200 0000 0100 0201  $U_1^1 \times (U_1^2 \cap U_2^2)$

(Рис. 2, R 4): (R1, R4) 0200 0000 0100 0201  $(U_1^1 \cap U_2^1) \times U_1^2$

(Рис. 2, R 5): (R1, R5) 0200 0000 0100 0204  $U_1^1 \times U_1^2$

(Рис. 2, R 6): (R1, R6) 0200 0000 0100 0202  $(U_1^1 \cap U_2^1) \times (U_1^2 \cap U_2^2)$

(Рис. 2, строка 6): Для данного нечеткого входа (прямоугольника  $U_1^1 \times U_1^2$ ) получен результат-агрегат – нечеткое подмножество  $\tilde{B}_{R_1}, \tilde{\mu}_{R_1}(y)$ , причем носитель агрегата в нашем примере совпадает с универсом:  $Supp(\tilde{B}_{R_1}) = U_Y$ .

(Рис. 2, R1, R5): Выявлено противоречие с высокой мерой возможности для цепочки правил (R1, R5) для значений входных переменных  $(U_1^1 \setminus U_2^1) \times (U_1^2 \setminus U_2^2)$  (прямоугольник с диагональю [(0,0), (0.2,0.2)]).

Если в режиме консультаций на вход экспертной системы будут поступать синглетоны, значений которых будут выбираться из найденного «плохого» прямоугольника (рис. 3), то на выходе будем получать нечеткие результаты с мерой противоречивости от 1 до 0.33. Как видно из рис. 3, носитель нечеткого подмножества-результата для «плохих» входов представлен непересекающимися интервалами [0,0.25], [0.75,1].

В [17] представлены результаты вычислительных экспериментов по изучению трансформации поверхности отклика в ответ на введение концептуальных и логических противоречий. В противоречивой нечеткой БЗ поверхность отклика имеет седловидную область неустойчивых решений. Надо иметь в виду, что поверхность отклика строится огрубленно, по результатам дефаззификации, когда вторичное нечеткое множество тем или иным методом отображается в число (точку поверхности). Если же обратиться ко всей нечеткой области отклика, то она предстанет в гипербрусе «облаком с пустотами». Проекция пустот на оси дадут «опасные» интервалы значений некоторых входов.

ВЫВОДЫ

Описаны постановка задачи, метод и алгоритм автоматического выявления противоречий в статических нечетких БЗ на прагматическом функциональном уровне логического вывода. Полученные результаты тестирования в виде наборов несовместимых фактов, цепочек вывода, наборов непересекающихся интервалов, вычисленные меры противоречивости позволят экспертам своевременно устранить недопустимые противоречия, тем самым повысить качество рекомендаций и оценок нечетких ЭС. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров А. А. Математические модели экономики России [Текст] / А. А. Петров, И. Г. Поспелов // Вестник РАН. – 2009. – Т. 79, № 6. – С. 492 – 506.
2. Поспелов И. Г. Поддержка моделирования сложных систем [Текст] / И. Г. Поспелов, Л. Я. Поспелова // Труды научной сессии НИЯУ МИФИ-2010. – М.: НИЯУ МИФИ. – 2010. – Т. V. – С. 24 – 28.
3. Саймон Г. А. Рациональность как процесс и продукт мышления [Текст] / Г. А. Саймон // THESIS. – 1993. – Вып. 3. – С. 16 – 38 // Федеральный образовательный портал ЭСМ (экономика, социология, менеджмент) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://ecsocman.hse.ru/data/629/779/1217/3\\_1\\_2simon.pdf](http://ecsocman.hse.ru/data/629/779/1217/3_1_2simon.pdf)
4. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 287 с. // Электронная библиотека мехмата МГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://lib.mexmat.ru/books/24977>
5. Пытьев Ю. П. Неопределенные нечеткие модели и их применения [Текст] / Ю. П. Пытьев // Интеллектуальные системы. – 2004. – Т. 8. – Вып. 1 – 4. – С. 147 – 310.
6. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] : Пер. с польск. И. Д. Рудин-

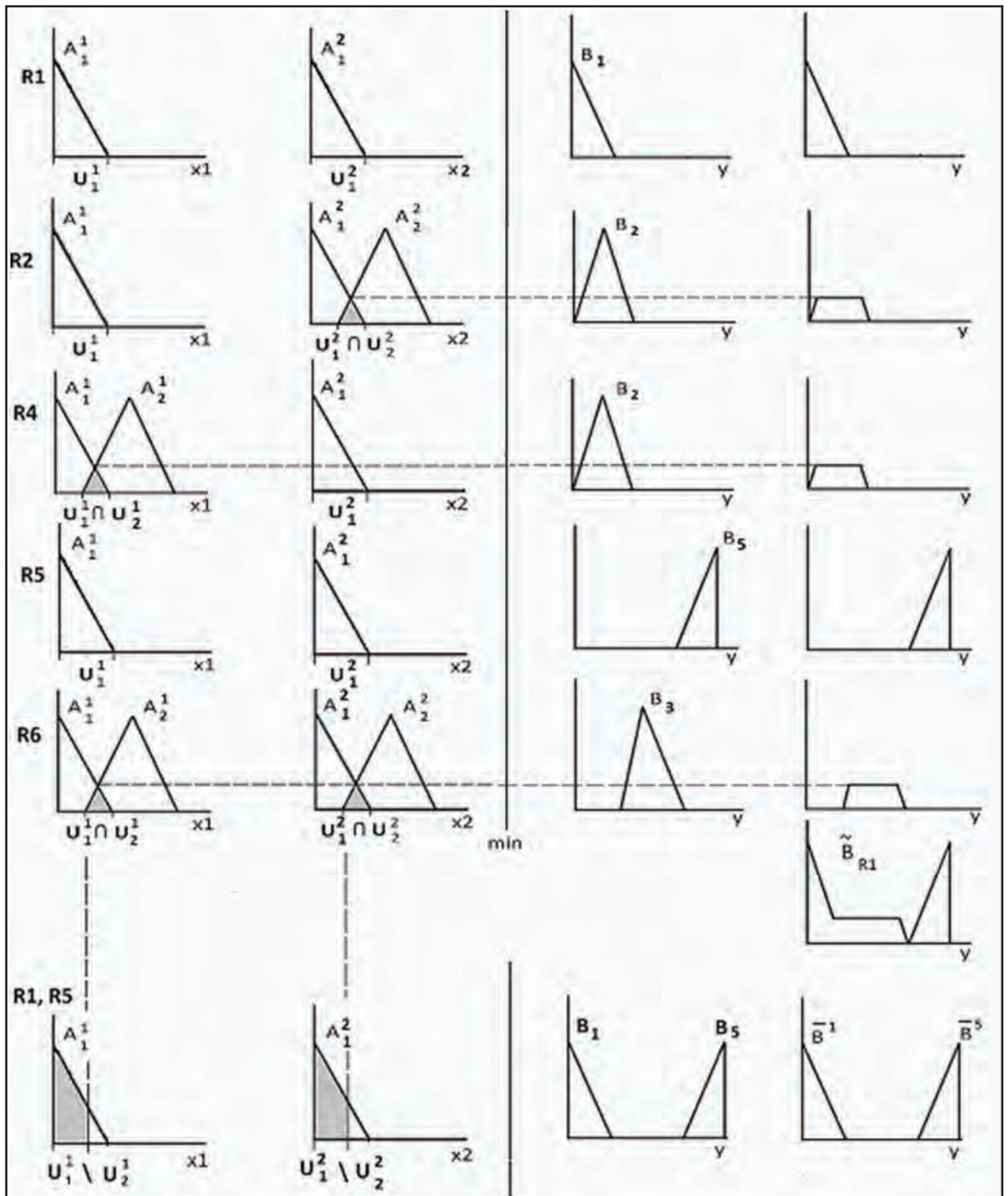


Рис. 2. Построение цепочек нечеткого вывода для выбранного правила R1



Рис. 3. Вид функции принадлежности нечеткого противоречивого выхода для предельных значений входных переменных  $x_1, x_2 \in [U_1^1 \setminus U_2^1, U_1^2 \setminus U_2^2]$

ского / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М. : Горная линия – Телеком, 2006. – 452 с. // Научная библиотека избранных естественно-научных изданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.sernam.ru/book\\_gen.php](http://www.sernam.ru/book_gen.php)

7. Современные подходы к моделированию сложных социально-экономических систем : монография [Текст] / Под ред. В. С. Пономаренко, Т. С. Клебановой, Н. А. Кизима. – Х. : ИНЖЭК, 2011. – 280 с.

8. **Клебанова Т. С.** Нечётка логика та нейронні мережі в управлінні підприємством : монографія. [Текст] / Т. С. Клебанова, Л. О. Чаговец, О. В. Панасенко. – Х. : ИНЖЭК, 2011. – 240 с.

9. **Іванов Ю. Б.** Оцінка впливу умов оподаткування на фінансовий стан промислових підприємств з використанням нечітко-множинного аналізу показників. [Текст] / Ю. Б. Иванов, Ю. М. Малишко // Бизнес Информ. – 2013. – № 4. – С. 142 – 147.

10. **Степурина С. А.** Модель нечеткого вывода для определения кредитоспособности предприятия [Текст] / С. А. Степурина, Г. В. Пимонова // Бизнес Информ. – 2011. – № 9. – С. 30 – 33.

11. **Журавлева И. В.** Стратегический анализ финансово-го развития предприятия на основе нечетко-множественного моделирования [Текст] / И. В. Журавлева, Е.И. Катасонова // Бизнес Информ. – 2011. – № 2. – Т. 1. – С. 84 – 86.

12. **Соколовська З. М.** Використання експертних систем у ході прийняття рішень у нечіткому середовищі [Текст] / З. М. Соколовська, Н. В. Яценко // Бизнес Информ. – 2012. – № 3. – С. 38 – 42.

13. **Фурсова В. А.** Удосконалення методики оцінки якості кредитного портфелю комерційного банку [Текст] / В. А. Фурсова // Бизнес Информ. – 2011. – № 12. – С. 128 – 131.

14. **Здановский Я. В.** Прогнозирование курса доллара США на основе теории нечеткой логики как основной этап управления валютными рисками [Текст] / Я. В. Здановский, В. А. Гончарова // Бизнес Информ. – 2011. – № 7. – С. 16 – 20.

15. **Козаченко Н. П.** Критерии рациональности изменения убеждений: Непротиворечивость [Текст] / Н. П. Козаченко // Логические исследования. Ежегодник ИФ РАН. Вып. 16. – М.-СПб : ЦГИ, 2010. – С. 134 – 155 / Институт Философии РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://iph.ras.ru/upfile/logic/log16/LI-16\\_kozachenko.pdf](http://iph.ras.ru/upfile/logic/log16/LI-16_kozachenko.pdf)

16. **Поспелов И. Г.** Динамическое описание систем продукции и проверка непротиворечивости производственных экспертных систем [Текст] / И. Г. Поспелов, Л. Я. Поспелова // Изв. АН СССР. «Техническая кибернетика». – 1987. – № 1. – С. 184 – 192.

17. **Поспелова Л. Я.** Метод поиска противоречий в нечеткой базе знаний. [Текст] / Л. Я. Поспелова // Инновационные и информационные технологии в развитии национальной экономики: теория и практика : монография / Под ред. Т. С. Клебановой, В. П. Невежина, Е. И. Шохина. – М. : Научные технологии, 2013. – С. 476 – 483.

18. **Финн В. К.** Синтез познавательных процедур и проблема индукции [Текст] / В. К. Финн // Научно-техническая информация. – 1998. – Сер. 2. – № 1-2. – С. 3 – 52.

## REFERENCES

Diubua, D., and Prad, A. "Teoriia vozmozhnostey. Prilozheniia k predstavleniiu znaniy v informatike" [Possibility theory. Applications to knowledge representation in computer science]. <http://lib.mexmat.ru/books/24977>

Fursova, V. A. "Udoskonalennia metodyky otsinky yakosti kredytnoho portfeliu komertsiinoho banku" [Improved methods of evaluation of quality of the loan portfolio of commercial bank]. *Biznes Inform*, no. 12 (2011): 128-131.

Finn, V. K. "Sintez poznavatelnykh protsedur i problema induksii" [Synthesis of cognitive procedures and the problem of induction]. *Nauchno-tehnicheskaiia informatsiia*, no. 1-2 (1998): 3-52.

Ivanov, Yu. B., and Malysheko, Yu. M. "Otsinka vplyvu umov opodatkovannia na finansovyi stan promyslovykh pidpriemstv z vykorystanniam nechitko-mnozhynnoho analizu pokaznykiv" [Estimation of the impact of tax rules on the financial standing of industrial enterprises with the use of fuzzy set-analysis and]. *Biznes Inform*, no. 4 (2013): 142-147.

Klebanova, T. S., Chahovets, L. O., and Panasenko, O. V. *Nechitka lohika ta neironni merezhi v upravlinni pidpriemstvom* [Fuzzy logic and neural networks in enterprise management]. Kharkiv: INZHEK, 2011.

Kozachenko, N. P. "Kriterii ratsionalnosti izmeneniia ubezhdeni: Neprotivorechivost" [Criteria of rationality changing beliefs: Consistency]. [http://iph.ras.ru/upfile/logic/log16/LI-16\\_kozachenko.pdf](http://iph.ras.ru/upfile/logic/log16/LI-16_kozachenko.pdf)

Pytev, Yu. P. "Neopredelennye nechetkie modeli i ikh primeneniia" [Uncertain fuzzy models and their applications]. *Intellektualnye sistemy*, vol. 8, no. 1-4 (2004): 147-310.

Petrov, A. A., and Pospelov, I. G. "Matematicheskie modeli ekonomiki Rossii" [Mathematical models of the Russian economy]. *Vestnik RAN*, vol. 79, no. 6 (2009): 492-506.

Pospelov, I. G., and Pospelova, L. Ya. "Podderzhka modelirovaniia slozhnykh sistem" [Support modeling of complex systems]. *Trudy nauchnoy sessii NIYaU MIFI-2010*, vol. 5 (2010): 24-28.

Pospelov, I. G., and Pospelova, L. Ya. "Dinamicheskoe opisaniie sistem produktiv i proverka neprotivorechivosti produktionnykh ekspertnykh sistem" [Dynamic description of production systems and the consistency check produktionnykh expert systems]. *Izvestiia AN SSSR. Tekhnicheskaiia kibernetika*, no. 1 (1987): 184-192.

Pospelova, L. Ya. "Metod poiska protivorechii v nechetkoy baze znaniy" [Search method contradictions in fuzzy knowledge base]. In *Innovatsionnye i informatsionnye tekhnologii v razvitii natsionalnoy ekonomiki: teoriia i praktika*, 476-483. Moscow: Nauchnye tekhnologii, 2013.

Rutkovskaia, D., Pilinskiy, M., and Rutkovskiy, L. "Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy" [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. [http://www.sernam.ru/book\\_gen.php](http://www.sernam.ru/book_gen.php)

*Sovremennye podkhody k modelirovaniu slozhnykh sotsialno-ekonomicheskikh sistem* [Modern approaches to the modeling of complex socio-economic systems]. Kharkiv: INZHEK, 2011.

Sokolovska, Z. M., and Yatsenko, N. V. "Vykorystannia ekspertnykh sistem u khodi pryiniattia risheu u nechitkomu sere-dovyshchi" [The use of expert systems in hodi decision-making in fuzzy environment]. *Biznes Inform*, no. 3 (2012): 38-42.

Stepurina, S. A., and Pimonova, G. V. "Model nechetkogo vyvoda dlia opredeleniia kreditosposobnosti predpriatiia" [Fuzzy inference model to determine the creditworthiness of the company]. *Biznes Inform*, no. 9 (2011): 30-33.

Saymon, G. A. "Ratsionalnost kak protsess i produkt myshleniia" [Rationality as process and product of thought]. [http://ec-socman.hse.ru/data/629/779/1217/3\\_1\\_2simon.pdf](http://ec-socman.hse.ru/data/629/779/1217/3_1_2simon.pdf)

Zhuravleva, I. V., and Katasonova, E. I. "Strategicheskii analiz finansovogo razvitiia predpriatiia na osnove nechetko-mnozhestvennogo modelirovaniia" [Strategic analysis of the financial development of the company based on fuzzy multiple simulations]. *Biznes Inform*, vol. 1, no. 2 (2011): 84-86.

Zdanovskiy, Ya. V., and Goncharova, V. A. "Prognozirovaniie kursa dollara SShA na osnove teorii nechetkoy logiki kak osnovnoy etap upravleniia valiutnymi riskami" [Prediction of the U.S. dollar based on the theory of fuzzy logic as the main stage for risk management]. *Biznes Inform*, no. 7 (2011): 16-20.