

УДК 332.851

DOI 10.25559/SITITO.2017.4.448

**Семенов М.Г., Черняев С.И.**

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия

**ОЦЕНКА УРОВНЯ БЕДНОСТИ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗМА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ****Аннотация**

*В данной статье рассматриваются проблемы, связанные с оценкой уровня бедности на основе формализма нечеткой логики на примере пожилого населения. На основе проведенного анализа литературных источников по проблеме бедности сформирована система показателей, предложен набор нечетких переменных для оценки состояния бедности и параметры соответствующих функций принадлежности, а также приведено обоснование выбора алгоритма вычислений. В качестве функций принадлежности использовались трапецевидные и треугольные функции. Для оценки параметров функций принадлежности используются данные официальной статистики по Калужской области. Приведено подробное описание алгоритма и примеры вычислений. Предложенная модель допускает различные модификации, что позволяет использовать ее для различных групп населения с повышенным уровнем риска бедности (например, для многодетных семей).*

**Ключевые слова**

*Оценка уровня бедности; функции принадлежности; нечеткая логика.*

**Semenenko M.G., Chernyaev S.I.**

Bauman Moscow State University, Kaluga, Russia

**POVERTY LEVEL EVALUATION ON THE BASIS OF THE FUZZY LOGIC FORMALISM****Abstract**

*In this article the problems are considered connected with poverty rate evaluation on the basis of a fuzzy logic formalism on the example of the elderly population. A set of fuzzy variables and parameters of the membership functions is offered on the basis of the analysis of references on a poverty problem and justification of the calculation algorithm choice is also given. The statistical data on the Kaluga region are used for the evaluation of parameters of membership functions. The detailed description of an algorithm and examples of calculations are provided. The model allows various modifications for various groups of the population.*

**Keywords**

*Poverty level evaluation; membership functions; fuzzy logic.*

**Введение**

Бедность является одной из основных проблем современного общества. Проблема бедности связана с различными экономическими аспектами, включая получение льгот и компенсаций. Одной из групп населения с высоким уровнем риска попадания в группу бедных являются пенсионеры, несмотря на различные социальные программы помощи, которые существуют в каждом регионе. В частности, проведенный нами анализ статистических данных по Калужской области показал, что в условиях экономического кризиса происходит ограничение финансирования

социальных программ, в том числе направленных на поддержание приемлемого уровня жизни лиц пенсионного возраста. В то же время, как отмечается в [1], государство объективно заинтересовано в поддержке социально уязвимых слоев населения, поскольку государство, провозгласившее себя цивилизованным, обязано, согласно Всеобщей Декларации прав человека, «обеспечить населению достойный уровень жизни». Кроме того, социально-экономическая поддержка неимущих снижает социальное напряжение в обществе.

В экономике проблема бедности рассматривается с точки зрения определения

числа лиц, нуждающихся в помощи, оценки их материальных ресурсов и финансовых затрат, необходимых для оказания помощи. В условиях дефицита бюджетных средств важным условием становится адресность оказываемой помощи.

В связи с этим возникает проблема адекватной оценки уровня бедности как домохозяйства в целом, так и отдельного индивидуума с учетом неполноты и/или неопределенности исходной информации (например, субъективная и объективная оценка уровня бедности индивидуума может существенно различаться). Стандартные статистические подходы часто не являются адекватными. Мы предлагаем для решения подобных задач использовать формализм нечеткой логики.

В данной работе мы предлагаем ряд критериев для оценки уровня бедности с описанием их функций принадлежности. Также приведены примеры вычислений.

### Описание алгоритма

В основе формализма нечеткой логики лежит понятие нечеткой лингвистической переменной, область значений которой образует так называемое терм-множество. Например, для оценки уровня доходов можно использовать нечеткую лингвистическую переменную Уровень дохода, имеющую терм-множество значений {«Низкий», «Средний», «Высокий»}.

В [2] по результатам исследования домохозяйств Ленинградской области в рамках программы по борьбе с бедностью SPLIRO выделены следующие факторы, влияющие на оценку состояния бедности:

- истинная бедность (небедные, бедные по одной концепции, бедные по двум концепциям, бедные по трем концепциям);
- тип семьи, в которой проживает пенсионер (одиноким, супружеская пара в пенсионном возрасте, проживающий в семье без детей, проживающий в семье с детьми);
- доля расходов на лекарства в доходе;
- доля неработающих членов в домохозяйстве;
- доля расходов на питание;
- образование;
- состояние жилья;
- роль личного подсобного хозяйства;
- тип населенного пункта (город, поселок городского типа, деревня);
- риск алкоголизма;
- пол.

Следует отметить, что набор факторов и их

влияние на оценку уровня бедности могут изменяться с течением времени. Так, по сравнению с результатами вышеупомянутого исследования, которое проводилось в 2005-2008 г.г., доля тех, кто компенсирует нехватку средств за счет подсобных хозяйств, в последние 15 лет сократилась почти вдвое. Вместо этого российские пенсионеры экономят на количестве и качестве потребляемых продуктов, а наиболее существенным источником дополнительных доходов является продолжение работы (примерно для 20% получателей пенсий), что существенно влияет на материальное положение пенсионеров. Так, самый высокий душевой доход наблюдается у семей с работающими пенсионерами. Его величина на треть больше, чем в семьях, где нет пенсионеров. Самый низкий доход наблюдается в домохозяйствах, где глава семьи является неработающим пенсионером, особенно если в семье имеются иждивенцы (например, инвалиды и/или несовершеннолетние). В этом случае пенсия является основным финансовым источником [3]. В финансовое положение таких домохозяйств могут вносить существенный вклад пособия на детей, адресная социальная помощь, поступления из личного подсобного хозяйства, поддержка родственников и т.п. Но таких статистических данных нет, что сильно затрудняет изучение положения пенсионеров [4].

Мы предлагаем для построения модели на основе нечеткой логики в качестве входных переменных использовать следующие лингвистические переменные с трапециевидными или треугольными функциями принадлежности:

- уровень дохода пенсионера;
- суммарная величина дохода домохозяйства;
- уровень накоплений, включая стоимость имущества, находящегося в личном владении;
- доля расходов на лекарства;
- доля расходов на питание.

В первом приближении эти факторы можно считать равнозначными. Функции принадлежности можно описать трапециевидными функциями с терм-множеством {Низкий, Средний, Высокий}. Для задания трапециевидной функции принадлежности необходимы четыре параметра  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  (рис. 1).

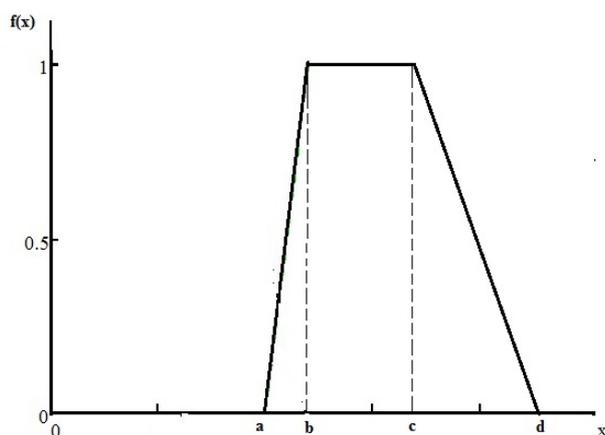


Рис. 1. Параметры трапецевидной функции принадлежности

Пример графиков функции принадлежности для лингвистической переменной Уровень дохода с терм-множеством {Низкий, Средний, Высокий} приведен на рис. 2. Заметим, что треугольную функцию принадлежности можно рассматривать как частный случай трапецевидной, когда параметры  $b$  и  $c$

совпадают. Например, для значения Средний значения параметров (в тыс. руб.) следующие:  $a = 8, b = 15, c = 15, d = 24$ .

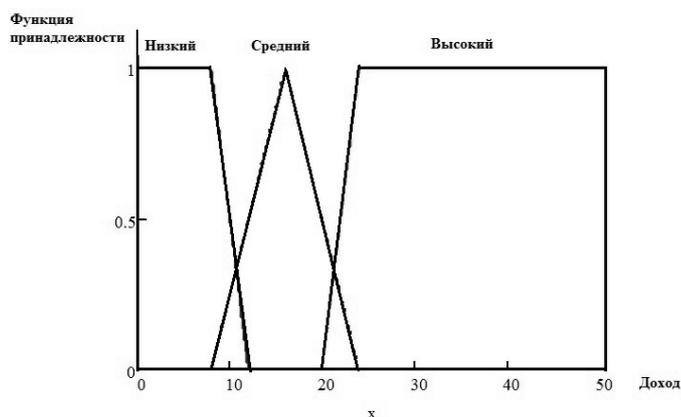


Рис. 2. Пример функций принадлежности лингвистической переменной Уровень дохода

На основе данных официальной статистики по Калужской области мы использовали параметры функций принадлежности, перечисленные в табл. 1.

Таблица 1 Характеристика нечетких переменных

| Переменная  | Уровень | Параметры                     |
|---|---------|-------------------------------|
| Уровень дохода ( $X_1$ ), руб.                          | Низкий  | [0 0 8000 12000]              |
|   | Средний | [8000 16000 16000 24000]      |
|   | Высокий | [20000 24000 50000 50000]     |
| Суммарная величина дохода домохозяйства ( $X_2$ ), руб. | Низкий  | [0 0 10000 20000]             |
|   | Средний | [15000 20000 20000 75000]     |
|   | Высокий | [50000 100000 200000 200000]  |
| Уровень накоплений ( $X_3$ ), руб.                      | Низкий  | [0 0 70000 100000]            |
|   | Средний | [70000 100000 100000 150000]  |
|   | Высокий | [125000 150000 200000 200000] |
| Доля расходов на лекарства ( $X_4$ ), %                 | Низкий  | [0 0 5 7,5]                   |
|   | Средний | [5 10 10 15]                  |
|   | Высокий | [12,5 15 30 30]               |
| Доля расходов на питание ( $X_5$ ), %                   | Низкий  | [0 0 15 17,5]                 |
|   | Средний | [15 20 20 30]                 |
|   | Высокий | [25 30 60 60]                 |

Существуют различные подходы к построению моделей на основе нечеткой логики. В экономике для оценки эффективности инвестиций часто применяется подход, который основан на формулировке набора эвристических правил типа «если-то» (так называемые продукционные правила). Недостатком данного подхода является необходимость формулировки достаточно большого количества эвристических правил, число которых трудно оценить заранее, и использования сложного и дорогостоящего программного обеспечения типа Matlab. Кроме того, результаты моделирования могут существенно зависеть от выбора вида и

параметров функций принадлежности [5].

Мы выбрали методику вычислений, которая соответствует алгоритму [6]. Данный алгоритм является более простым и удобным, легко реализуется в электронных таблицах Excel и не требует формулировки набора продукционных правил.

Переменной оценки риска попадания в группу бедных является переменная  $g$ . Значение переменной  $g$  вычисляется по формуле

$$g = \sum_{j=1}^m g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij} \quad (1)$$

Классификация данной переменной показана в табл. 2.

Таблица 2. Классификация выходной переменной

| Интервал значений переменной | Нечеткое подмножество          |
|------------------------------|--------------------------------|
| [0 – 0,3]                    | Степень риска бедности низкая  |
| (0,3 – 0,7)                  | Степень риска бедности средняя |
| [0,7 – 1]                    | Степень риска бедности высокая |

Суть методики заключается в следующем. Сначала мы оцениваем веса влияния факторов на состояние бедности в оценке степени риска (внутреннее суммирование в (1)). Эти веса затем участвуют во внешнем суммировании в (1) для определения среднего значения показателя  $g$ , где  $g_j$  представляет собой середину соответствующего диапазона табл. 2.

Отметим следующее. Согласно методике [6] рост каждого показателя должен одинаково влиять на результат (в данном случае понижать риск бедности). Очевидно, что это условие изначально не выполняется, поскольку увеличение значений переменных  $X_1 - X_3$  понижает риск бедности, а увеличение значений показателей  $X_4$  и  $X_5$  его повышает. Поэтому при вычислениях для последних двух показателей берутся не исходные значения, а результат их вычитания из 100.

Отметим, что модель является достаточно гибкой и позволяет легко добавлять и удалять факторы, изменять параметры их функций принадлежности и т.п. Поэтому различные модификации модели (в том числе, с добавлением других факторов) можно применять и для других групп населения.

Например, в [7] исследовано влияние закредитованности на уровень бедности различных социальных групп. В исследуемой нами группе пенсионеров закредитованность достаточно низкая. В то же время в семьях с несовершеннолетними детьми выплаты процентов по кредитам становятся факторами роста бедности. По оценке [7] более 1,5 млн. домохозяйств являются фактически бедными вследствие выплат процентов по кредитам, хотя официально таковыми не считаются. Таким образом, при оценке уровня бедности в данной группе населения целесообразно ввести соответствующую нечеткую лингвистическую переменную.

В современной экономической литературе также предлагается в качестве индикатора благосостояния учитывать не только уровень доходов, но и уровень расходов как более точную оценку уровня бедности из-за наличия скрытых доходов [8]. Скрытые доходы пенсионеров могут

включать сдачу в аренду второго жилья без оформления соответствующих документов, доходы от личного подсобного хозяйства и т.п. В то же время в [8] отмечается, что пенсионеры менее мотивированы на сокрытие доходов по сравнению с другими слоями населения.

## Результаты и обсуждение

Поскольку ввод и вывод данных удобно осуществлять в табличной форме, наиболее подходящим инструментом для проведения вычислений являются электронные таблицы Excel. Для задания трапецевидных функций принадлежности используется функция пользователя, задание которой подробно описано в [9].

Пример вычислений показан на рис. 3. Набор входных данных может соответствовать домохозяйству одинокого пенсионера, не имеющего других доходов, кроме пенсии. При прочих неизменных значениях входных данных рассмотрены два варианта имеющихся накоплений: практически отсутствие накоплений и сравнительно большое значение.

Рассмотрим более подробно организацию вычислений.

Задаем параметры функций принадлежности всех лингвистических переменных (на рисунке не показаны). В диапазоне B2:C6 задаются значения входных переменных. В диапазонах B12:C16 и F12:H16 с использованием функции пользователя вычисляются значения  $\lambda_{ij}$  для двух наборов значений входных переменных. Значения  $g_j$  введены в диапазоне B20:B22. В данном случае эти значения расположены в порядке возрастания, поскольку большим значениям  $g_j$  соответствует меньший риск попадания в группу бедных. Внутреннее суммирование в формуле (1) произведено в диапазонах C20:C22 и D20:D22. Вычисление показателя  $g$  по формуле (1) выполнено в ячейках G21 и H21.

Из рис.1 видно, что повышение уровня накоплений с 1000 руб. до 150000 руб. при прочих неизменных значениях входных данных резко понижает риск попадания в группу бедных.

## Заключение

Целью написания статьи является развитие новых статистических подходов к оценке уровня бедности.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Данные официальной статистики подтверждают, что пенсионеры остаются группой населения с повышенным риском бедности. Для более эффективного

использования выделяемого финансирования, в том числе повышения его адресности, необходимы новые подходы. Одним из таких подходов, по нашему мнению, может быть построение моделей для оценки уровня бедности на основе нечеткой логики.

В данной работе обсуждается один из возможных алгоритмов для построения

соответствующих моделей и приводится пример его компьютерной реализации.

### Благодарности

Работа поддержана Грантом РФФИ и администрацией Калужской области № 17-12-40009.

|    | A          | B            | C             | D             | E | F                              | G        | H    | I |
|----|------------|--------------|---------------|---------------|---|--------------------------------|----------|------|---|
| 1  | Показатель | Текущ знач I | Текущ знач II |               |   |                                |          |      |   |
| 2  | X1         | 10000        | 10000         |               |   | Уровень дохода пенсионера      |          |      |   |
| 3  | X2         | 10000        | 10000         |               |   | Сумм в-на дохода домохозяйства |          |      |   |
| 4  | X3         | 1000         | 150000        |               |   | Уровень накоплений             |          |      |   |
| 5  | X4         | 5            | 5             |               |   | Доля расходов на лекарства     |          |      |   |
| 6  | X5         | 30           | 30            |               |   | Доля расходов на питание       |          |      |   |
| 7  |            |              |               |               |   |                                |          |      |   |
| 8  |            |              |               |               |   |                                |          |      |   |
| 9  |            |              |               |               |   |                                |          |      |   |
| 10 | Показатель | Значения I   |               |               |   | Значения II                    |          |      |   |
| 11 |            | lam1         | lam2          | lam3          |   | lam1                           | lam2     | lam3 |   |
| 12 | X1         | 0,5          | 0,25          | 0             |   | 0,5                            | 0,25     | 0    |   |
| 13 | X2         | 1            | 0             | 0             |   | 1                              | 0        | 0    |   |
| 14 | X3         | 1            | 0             | 0             |   | 0                              | 0        | 1    |   |
| 15 | X4         | 0            | 0             | 0             |   | 0                              | 0        | 0    |   |
| 16 | X5         | 0            | 0             | 0             |   | 0                              | 0        | 0    |   |
| 17 |            |              |               |               |   |                                |          |      |   |
| 18 |            |              |               |               |   |                                |          |      |   |
| 19 | j          | gj           | Sum(lam) в I  | Sum(lam) в II |   | Степень риска бедности         |          |      |   |
| 20 | 1          | 0,85         | 2,5           | 0,25          |   | Значения I Значения II         |          |      |   |
| 21 | 2          | 0,5          | 0,25          | 1             | g | 0,75                           | 0,178125 |      |   |
| 22 | 3          | 0,15         | 0             | 0             |   |                                |          |      |   |

Рис. 3. Пример вычислений

### Литература

1. Кленина В.И., Софинская Е.Н., Павлова Е.А. Понятие социальной защиты населения и проблемы ее статистического изучения // Человек и жизнь. — 2013. — № 11(69), — С. 22-28.
2. Эконометрика: учеб. / под ред. И.И. Елисевой. — М.: Проспект, 2009. — С. 119-125.
3. Проблема пенсий. Возможные решения (Краткое изложение научного доклада). — М.: Ин-т экономики РАН, 2011. — 27 с.
4. Козырева П.М., Смирнов А.И. Российские пенсионеры в условиях кризиса // Социологические исследования. — 2017. — № 1, — С. 64-73.
5. Семененко М.Г., Князева И.В., Черняев С.И. Проблемы выбора функций принадлежности нечетких множеств // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 5 [электронное издание]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10303> (дата обращения 21.09.2017).
6. Недосекин А.О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетких описаний: дис. д-ра экон. наук. — СПб.: СПбГУЭФ, 2003.
7. Ниворожкина Л.И. Воздействие потребительского кредитования на уровень неравенства и бедности домохозяйств // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: общественные науки. — 2014. — № 4 (182), — С. 76-83.
8. Ниворожкина Л.И. Скрытые доходы домохозяйств: опыт эмпирического анализа // Terra Economicus. — 2016. — Т. 14. — № 4, — С. 42-53.
9. Семененко М.Г., Черняев С.И. Функции пользователя в EXCEL 2013: разработка приложений нечеткой логики // Успехи современного естествознания. — 2014. — № 3, — С. 114-117.

### References

1. Klenina V.I., Sofinskaya Ye.N., Pavlova Ye.A. Ponyatie social'noy zaschiti naseleniya i problem eyo statisticheskogo izucheniya // Cheloveki i zhizn'. — 2013. — № 11(69), — S. 22-28.
2. Econometrica: ucheb. / pod red. I.I. Eliseevoy. — M.: Prospekt, 2009. — S. 119-125.
3. Problema pensiy. Vozmozhiye resheniya (Kratkoye izlozheniye nauchnogo doklada). — M.: In-t ekonomiki RAN, 2011. — 27 S.

4. Kozireva P.M., Smirnov A.I. Rossiyskie pensioneri v usloviyah krizisa. // Sociologicheskie issledovaniya. – 2017. – № 1, – S. 64-73.
5. Semenenko M.G., Kniazeva I.V., Chernyaev S.I. Problemi vibora funktsii prinadlezhnosti nechetkih mnozhestv // Sovremenniye problemi nauki i obrazovaniya. — 2013. — № 5 [электронное издание]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10303> (дата обращения 21.09.2017).
6. Nedosekin A.O. Metodologicheskiye osnovi modelirovaniya hozyaistvennoy deyatel'nosti s ispol'zovaniem nechetkikh opisaniy: diss. d-ra econ. nauk. — SPb.: SPbGUEF, 2003.
7. Nivorozhkina L.I. Vozdeystviye potrebitel'skogo kreditovaniya na uroven' neravenstva i bednosti domohozyaistv // Izvestiya visshih uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: obschestvennye nauki. – 2014. – № 4 (182), – S. 76-83.
8. Nivorozhkina L.I. Skritiye dohodi domohozyastv: opit empiricheskogo analiza // Terra Economicus. – 2016. – Т. 14. – № 4, – S. 42-53.
9. Semenenko M.G., Chernyaev S.I. Funktsii pol'zovatelya v EXCEL 2013: razrabotka prilozheniy nechetkoy logiki // Uspehi sovremennogo yestestvoznaniya. – 2014. – № 3, – S. 114-117.

Поступила: 29.09.2017

#### Об авторах:

**Семененко Марина Геннадиевна**, кандидат физико-математических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана, филиал в г. Калуге, [msemenenko@mail.ru](mailto:msemenenko@mail.ru)

**Черняев Сергей Иванович**, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана; филиал в г. Калуге, [ambler@list.ru](mailto:ambler@list.ru)

#### Note on the authors:

**Semenenko Marina G.**, Candidate of Physics and Mathematics, Professor Assistant, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, [sukhomlin@mail.ru](mailto:sukhomlin@mail.ru)

**Chernyaev Sergey I.**, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, [ambler@list.ru](mailto:ambler@list.ru)