

УДК 004[89+94]

И. А. Тарасова

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЗАДАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕРМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

I. A. Tarasova

State Educational Institution of Higher Education «Donetsk national technical University», Donetsk city 83001, Donetsk, Artema str., 58

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF SPECIFYING THE MULTIDIMENSIONAL MEMBERSHIP FUNCTIONS OF LINGUISTIC VARIABLES TERMS BASED ON STATISTICAL DATA

I. O. Tarasova

Державна освітня установа вищої професійної освіти «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗАВДАННЯ БАГАТОВИМІРНИХ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ТЕРМІВ ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

В работе приведен алгоритм задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных. Применение разработанного алгоритма позволяет повысить эффективность нечеткого управления плохо формализуемыми объектами со сложной структурой взаимосвязей входных и выходных переменных.

Ключевые слова: нечеткое управление, многомерная функция принадлежности, терм лингвистической переменной, автоматизация процесса.

The article is devoted to algorithm of specifying the multidimensional membership functions of linguistic variables terms based on statistical data has been done. Application of the developed algorithm improves the efficiency of fuzzy control of badly formalized objects with the complicated structure of intercommunications of entrance and output variables.

Key words: fuzzy control, multidimensional membership function, term of the linguistic variable, automation of the process.

В роботі наведено алгоритм завдання багатовимірних функцій приналежності термів лінгвістичних змінних на основі статистичних даних. Застосування розробленого алгоритму дозволяє підвищити ефективність нечіткого управління об'єктами, що погано формалізуються, зі складною структурою взаємозв'язків вхідних і вихідних змінних.

Ключові слова: нечітке управління, багатовимірна функція належності, терм лінгвістичної змінної, автоматизація процесу.

Одной из самых важных проблем в теории нечетких множеств является вопрос о построении функций принадлежности, которому посвящены работы С. Д. Штовбы, А. П. Ротштейна, А. Е. Алтунина, В. В. Борисова. Существующие методы нечеткого управления, применяемые в системах искусственного интеллекта, в основном используют в качестве термов нечеткие переменные с одномерными функциями принадлежности. Это позволяет, с одной стороны, использовать простое и наглядное представление функций принадлежности, обеспечивающее применение несложных вычислительных процедур при проведении всех этапов нечеткого вывода, с другой стороны, – теряется зависимость между управляющими переменными, обусловленная нелинейными ограничениями на управление. Кроме того, лингвистические переменные могут иметь сложную физическую природу, требующую использования нескольких связанных параметров для определения их значений [1–3]. Решить данную проблему может использование термов лингвистических переменных с функциями принадлежности нескольких аргументов [4–7].

Существующие способы построения функций принадлежности существенно зависят от экспертного мнения. Методы задания и определения вида многомерных функций принадлежности в настоящее время недостаточно разработаны. Используемые в настоящее время представления функций принадлежности нескольких аргументов позволяют их построение из заранее известного класса и не обеспечивают задания областей произвольной формы, в которых определены термы лингвистических переменных.

Целью данной работы является повышение эффективности управления плохо формализуемыми объектами за счет автоматизации процесса построения функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных.

Способ задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных включает следующие этапы [4], [5]:

- выделение лингвистических переменных и сопоставление им характеристик объекта моделирования;
- сбор статистических данных о деятельности объекта моделирования;
- нечеткая кластеризация статистических данных по каждой лингвистической переменной;
- формирование термов лингвистической переменной путем присваивания полученным кластерам названий;
- формализация функций принадлежности термов.

В рамках постановки задачи определяются входные и выходные переменные объекта управления.

На основе выделенных входных (\bar{X}) и выходных (\bar{U}_o) переменных устройства управления УУ формируются лингвистические переменные:

$B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ – множество входных лингвистических переменных;

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$ – множество выходных лингвистических переменных.

Для каждой из лингвистических переменных β_l и w_z должны быть сформированы терм-множества T_l и T_z в виде нечетких переменных. Алгоритм задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных представлен на рис. 1.

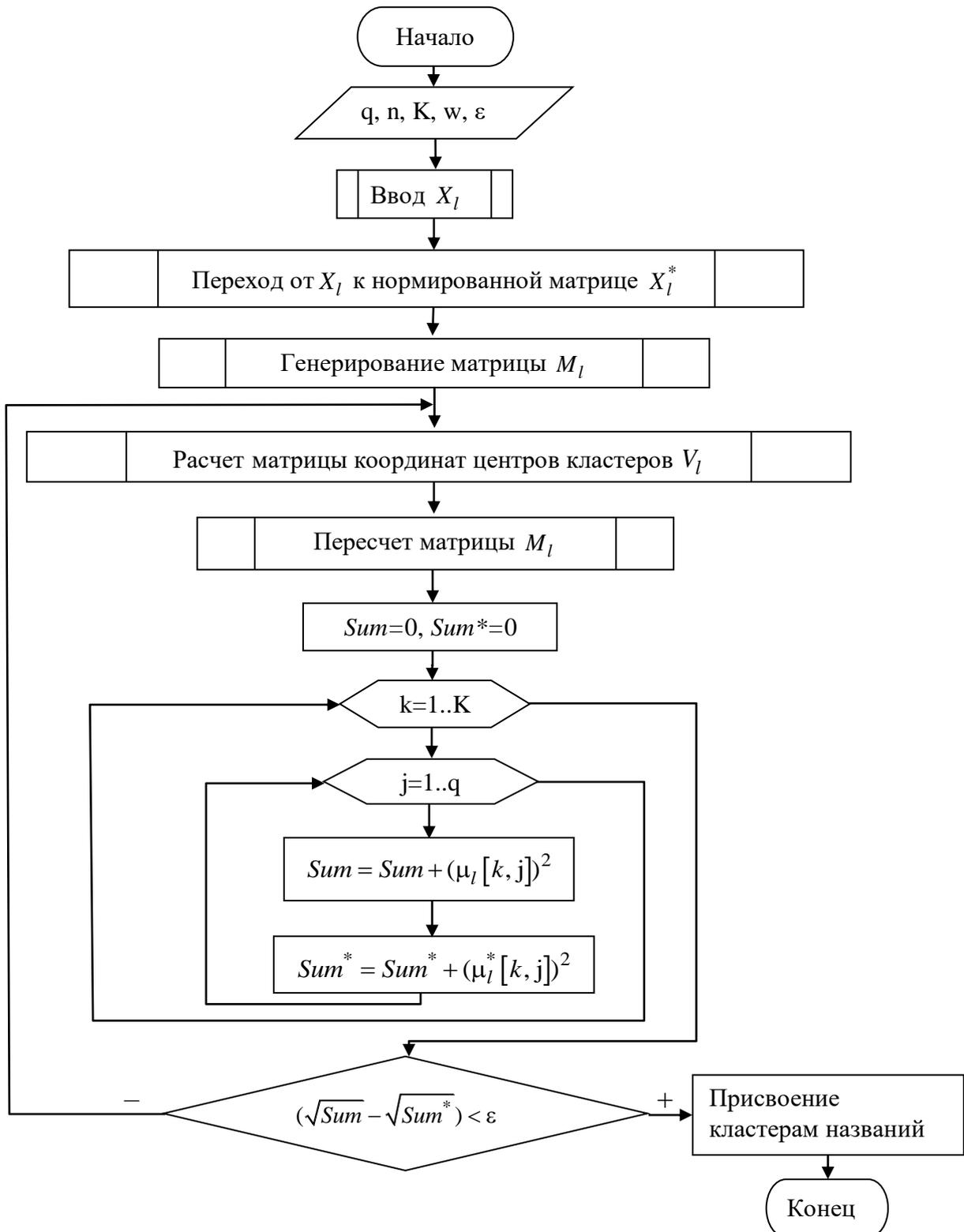


Рисунок 1 – Алгоритм задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных

Как следует из алгоритма, вначале необходимо ввести данные, относящиеся к отдельным входным лингвистическим переменным β_l , представленные в виде

$$X_l = \begin{bmatrix} x_{11}^l & x_{12}^l & \dots & x_{1n}^l \\ x_{21}^l & x_{22}^l & \dots & x_{2n}^l \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{q1}^l & x_{q2}^l & \dots & x_{qn}^l \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где X_l – матрица данных, относящихся к входной лингвистической переменной β_l ;
 q – число экспериментов;

n – число измеренных характеристик, сопоставленных входной лингвистической переменной β_l .

После этого осуществляется процедура перехода к нормированной матрице X_l^* .

Элементы нормированной матрицы X_l^* рассчитываются в соответствии с формулой:

$$x_{ij}^{l*} = \frac{x_{ij}^l - \xi_j}{s_j}, \quad (2)$$

где x_{ij}^l – значение j -й характеристики i -го эксперимента, относящегося к l -й лингвистической переменной;

ξ_j – среднее значение j -й характеристики;

s_j – среднее квадратическое отклонение j -ой характеристики:

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{q} \sum_{i=1}^q (x_{ij}^l - \xi_j)^2} \quad (3)$$

Алгоритм перехода к нормированной матрице X_l^* представлен на рис. 2.

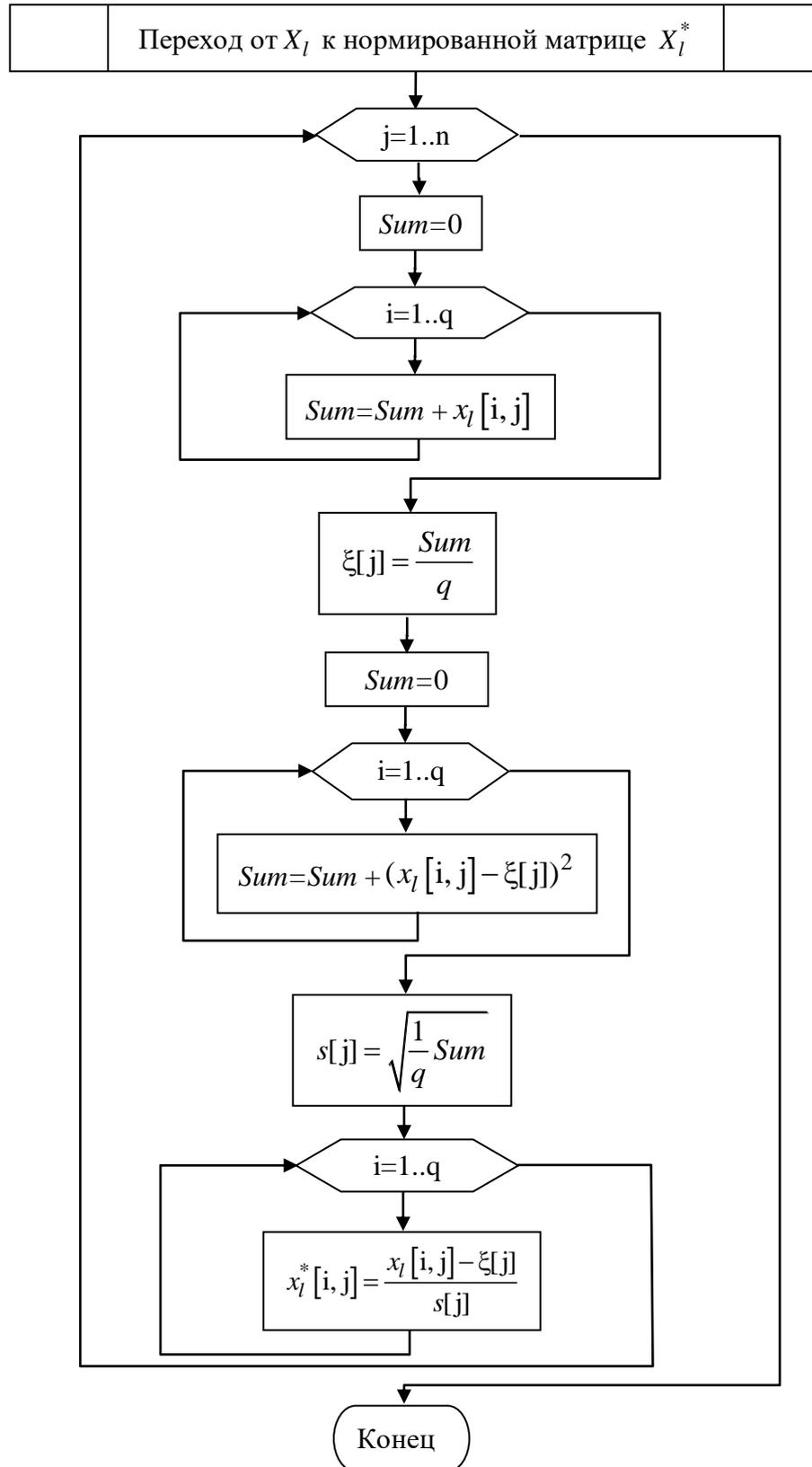
Далее случайным образом генерируется матрица M_l (рис. 3) вида

$$M_l = \begin{bmatrix} \mu_{11}^l & \mu_{12}^l & \dots & \mu_{1q}^l \\ \mu_{21}^l & \mu_{22}^l & \dots & \mu_{2q}^l \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{K1}^l & \mu_{K2}^l & \dots & \mu_{Kq}^l \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где μ_{kj}^l – степень принадлежности j -го набора данных k -му терму лингвистической переменной β_l .

После чего запускается итерационный процесс вычисления центров кластеров (рис. 4) по формуле

$$v_{km}^l = \frac{\sum_{j=1}^q (\mu_{kj}^l)^w x_{jm}^{l*}}{\sum_{j=1}^q (\mu_{kj}^l)^w}, \quad m = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, K} \quad (5)$$

Рисунок 2 – Алгоритм перехода от X_l к нормированной матрице X_l^*

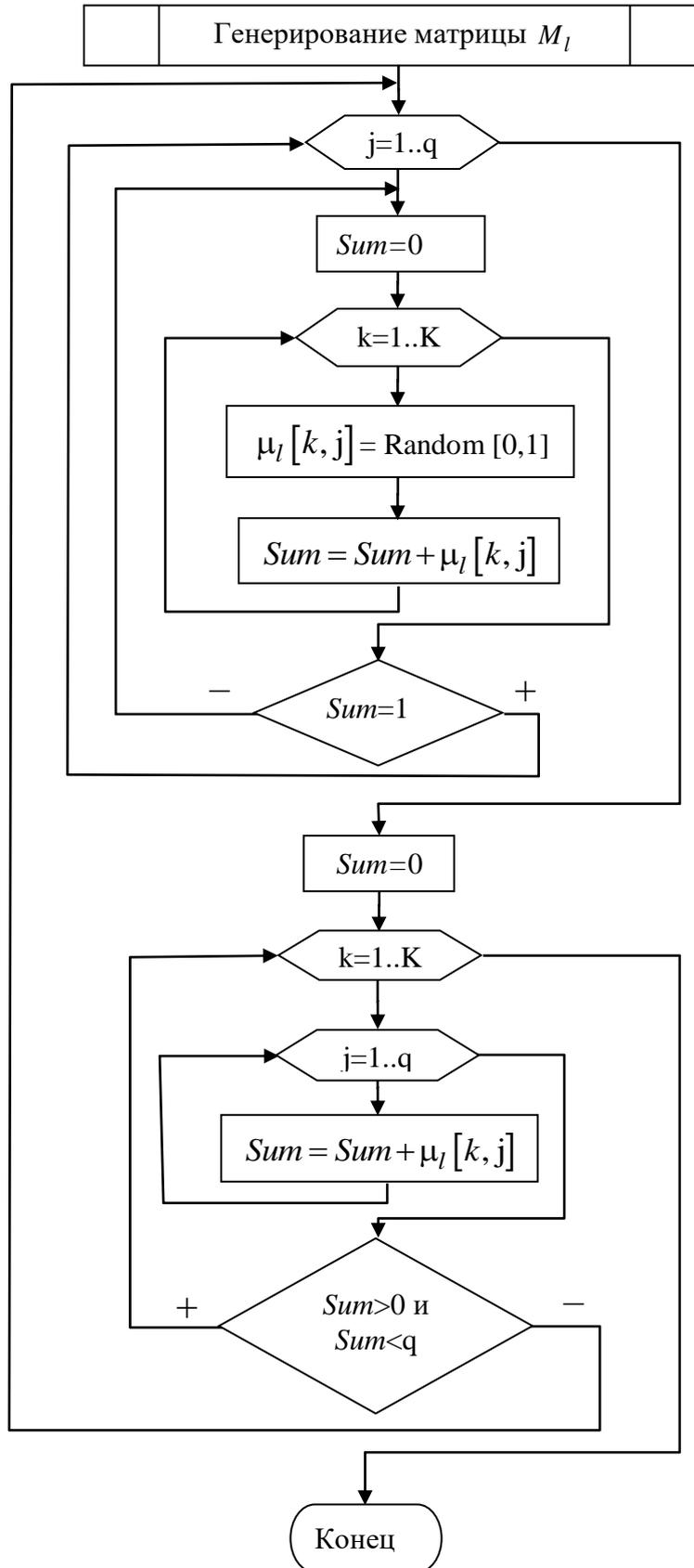


Рисунок 3 – Алгоритм генерирования матрицы M_l

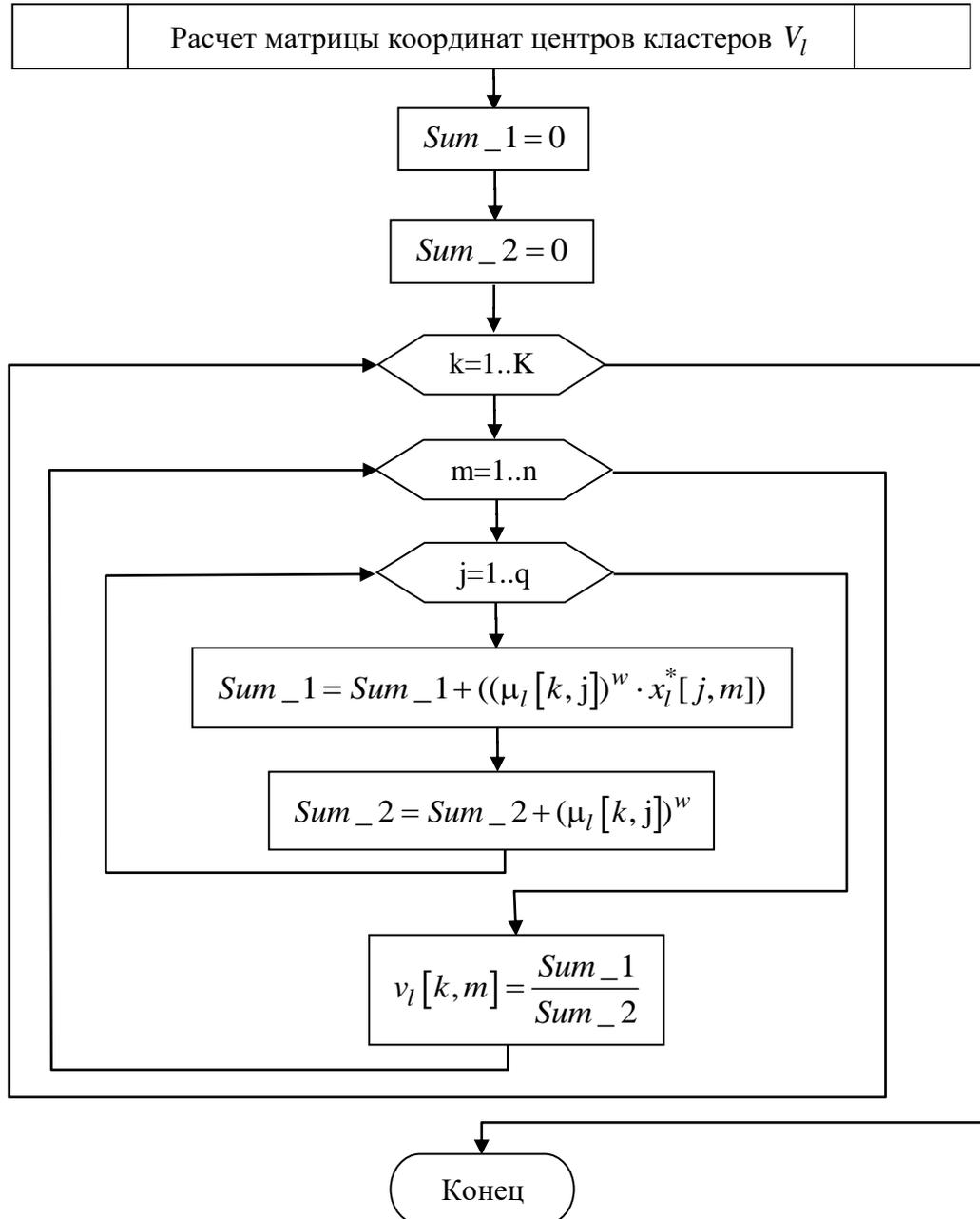
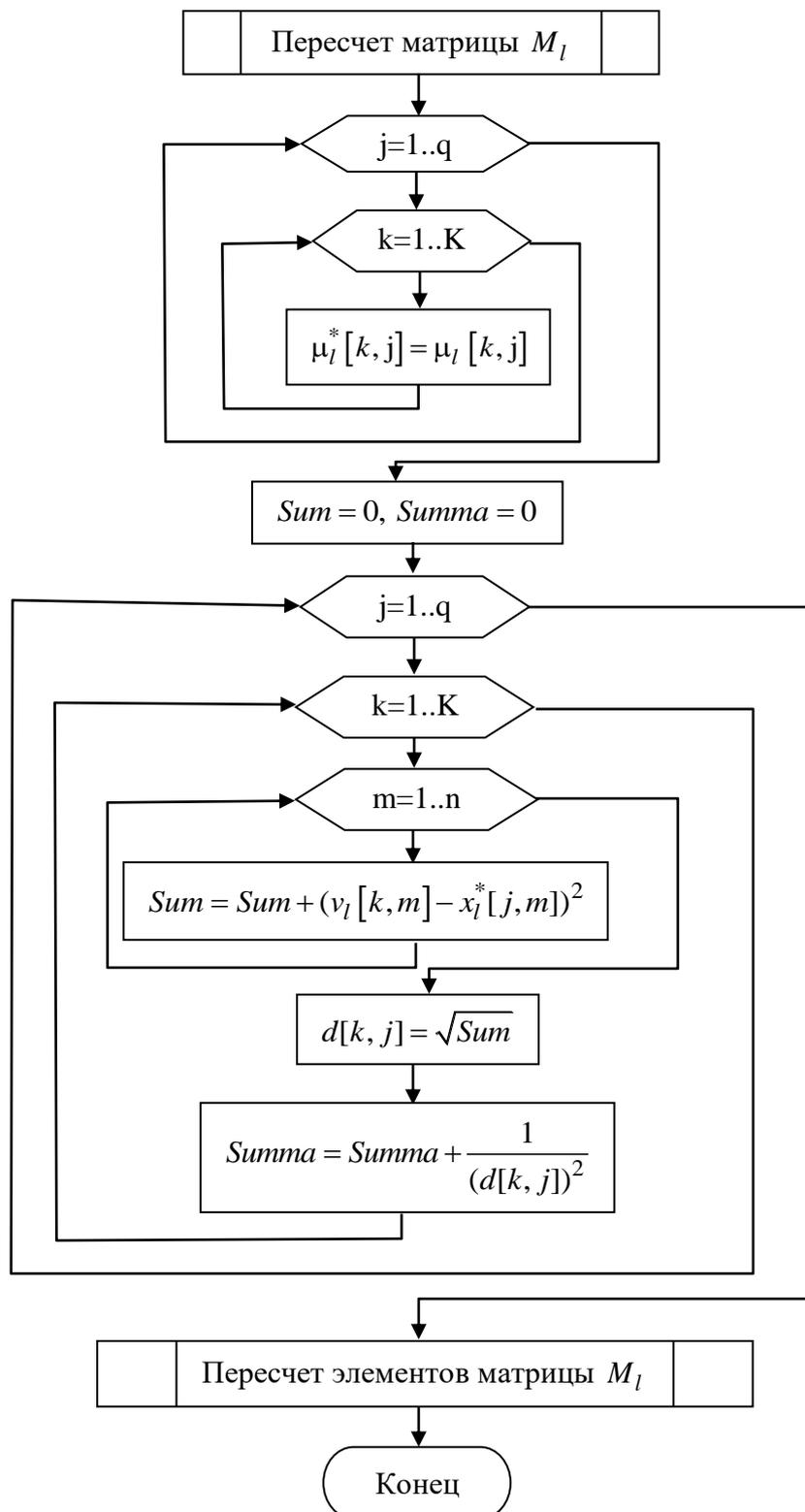


Рисунок 4 – Алгоритм расчета матрицы координат центров кластеров V_l

Пересчет элементов матрицы степеней принадлежности (рис. 5) осуществляется по формуле

$$\mu_{mj}^l = \begin{cases} \frac{1}{\left(\left(d_{kj}^2 \right) \sum_{m=1}^K \frac{1}{d_{mj}^2} \right)^{\frac{1}{w-1}}} & \text{при } d_{kj} > 0; \\ 1, & \text{при } d_{kj} = 0 \text{ и } m = k; \\ 0, & \text{при } d_{kj} = 0 \text{ и } m \neq k. \end{cases} \quad (6)$$

где $d_{kj} = d(v_k^l, x_j^{l*})$ для $k = \overline{1, K}$, $j = \overline{1, q}$.

Рисунок 5 – Алгоритм пересчета матрицы M_l

Процесс пересчета матрицы степеней принадлежности M_l , представленный на рис. 5, состоит из подготовительного этапа, который заключается в определении Евклидова расстояния между экспериментом

$$x_j^{l*} = (x_{j1}^{l*}, x_{j2}^{l*}, \dots, x_{jn}^{l*}) \quad (7)$$

и центром кластера

$$v_k^l = (v_{k1}^l, v_{k2}^l, \dots, v_{kn}^l) \quad (8)$$

и, собственно, пересчета элементов матрицы M_l , процедура выполнения которого представлена на рис. 6.

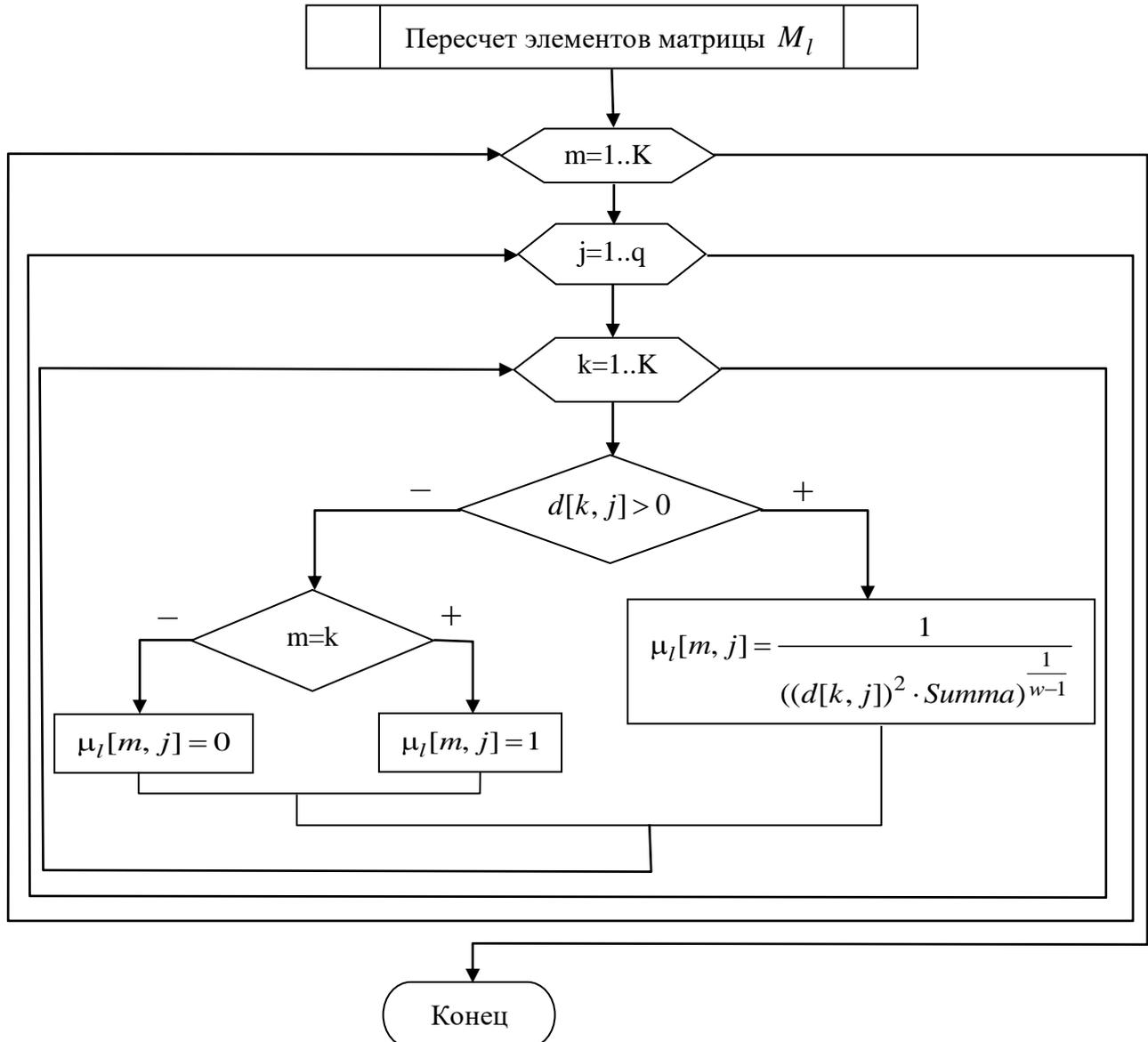


Рисунок 6 – Алгоритм пересчета элементов матрицы M_l

Вычисления продолжаются до тех пор, пока изменение матрицы M_l не станет меньше заранее заданного параметра останки ε .

Термы лингвистических переменных β_{lk} образуются путем присвоения экспертом полученным кластерам названий. Для каждого термина задается функция принадлежности нескольких аргументов в виде матрицы, включающей матрицу значений аргументов X_l и столбец значений функции, в качестве которых выступает соответствующая терму строка матрицы M_l . Расчет значений функции принадлежности может быть выполнен на основе методов многомерной аппроксимации.

Разработанный алгоритм задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных позволяет сохранить в нечеткой модели управления нелинейные взаимосвязи между переменными объекта, а также снизить влияние субъективности эксперта за счет автоматизации процесса построения функций принадлежности.

Список литературы

1. Тарасова И. А. Нечеткое управление на основе переменных с многомерными функциями принадлежности в диагностике и лечении гипертензивных осложнений беременности [Текст] / И. А. Тарасова // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2012. – №4. – С. 169–173.
2. Шевченко А. И. Моделирование потенциально-вихревого течения со свободной границей с применением нечеткой логики [Текст] / А. И. Шевченко, А. С. Миненко // Доповіді НАН України. – 2013. – № 6. – С. 47–51.
3. Шевченко А. И. Моделирование сложных теплофизических систем с применением нечеткой логики [Текст] / А. И. Шевченко, А. С. Миненко, А. С. Гололобова // Дововіді НАН України. – 2014. – № 3. – С. 51–54.
4. Шушура А. Н. Способ задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных [Текст] / А. Н. Шушура, И. А. Тарасова // Міжнародний науково-технічний журнал "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". – 2013. – №1(26). – С. 39-44.
5. Тарасова И. А. Разработка подходов к заданию многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных в задачах нечеткого управления // Электронный научный журнал "Отраслевые аспекты технических наук". – 2014. – Выпуск 2(38) Март-Апрель. – С. 11-22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.branch-aspects-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2014/vypusk_2_38_mart-aprel_release_2_38_march-april/tarasova_i_a_razrabotka_podhodov_k_zadaniyu_mnogomernyh_funkcij_prinadlezhnosti_termov_lingvisticheskikh_perem
6. Шушура А. Н. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности [Текст] / А. Н. Шушура, И. А. Тарасова // Искусственный интеллект. – 2010. – № 1. – С. 122–128.
7. Тарасова И. А. Принципы построения и архитектура базы знаний системы нечеткого управления на основе многомерных функций принадлежности [Текст] / И. А. Тарасова // Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. – 2013. – № 2 (79). – С. 56–61.

References

1. Tarasova I. A. Nchetkoye upravleniye na osnove peremennykh s mnogomernymi funktsiyami prinadlezhnosti v diagnostike i lechenii gipertenzivnykh oslozhneniy beremennosti [Fuzzy control based on variables with multidimensional membership functions in the diagnosis and treatment of hypertensive complications of pregnancy]. *Radioelectronic and computer systems*, 2012, no. 4, pp. 169–173.
2. Shevchenko A. I., Minenko A. S. Modelirovaniye potentsial'no-vikhrevogo techeniya so svobodnoy granitsey s primeneniyyem nechetkoy logiki [Modeling of a potential vortex flow with a free boundary with the usage fuzzy logic]. *Reports of NAS of Ukraine*, 2013, no. 6, pp. 47–51.
3. Shevchenko A. I., Minenko A. S., A. S. Gololobova Modelirovaniye slozhnykh teplofizicheskikh sistem s primeneniyyem nechetkoy logiki [Modeling complex thermophysical systems with the usage fuzzy logic]. *Reports of NAS of Ukraine*, 2014, no. 3, pp. 51–54.
4. Shushura A. N., Tarasova I. A. Sposob zadaniya mnogomernykh funktsiy prinadlezhnosti termov lingvisticheskikh peremennykh [Method of specifying the multidimensional membership functions of linguistic variables terms]. *International scientific and technical magazine "Informatsiyini tekhnologii ta komp'yuterna inzheneriya"*, 2013, no. 1 (26), pp. 39–44.
5. Tarasova I. A. Razrabotka podkhodov k zadaniyu mnogomernykh funktsiy prinadlezhnosti termov lingvisticheskikh peremennykh v zadachakh nechetkogo upravleniya [Development of approaches to task the multidimensional membership functions of linguistic variables terms in problems of fuzzy control]. *Electronic scientific journal "Branch Aspects of Technical Sciences"*, 2014, no. 2 (38), pp. 11–22: http://www.branch-aspects-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2014/vypusk_2_38_mart-aprel_release_2_38_march-april/tarasova_i_a_razrabotka_podhodov_k_zadaniyu_mnogomernyh_funkcij_prinadlezhnosti_termov_lingvisticheskikh_perem

6. Shushura A. N., Tarasova I. A. Metod nechetkogo upravleniya na osnove peremennykh s mnogomernymi funktsiyami prinadlezhnosti [Method of unclear control on the basis of variables with the multidimensional membership functions]. *Artificial intelligence*, 2010, no.1, pp. 122–128.
7. Tarasova I. A. Printsipy postroyeniya i arkhitektura bazy znaniy sistemy nechetkogo upravleniya na osnove mnogomernykh funktsiy prinadlezhnosti [Principles of construction and architecture of knowledge base of fuzzy control based on multidimensional membership functions]. *Bulletin of the Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky*, 2013, no. 2 (79), pp. 56–61.

RESUME

I. A. Tarasova

Development of the algorithm of specifying the multidimensional membership functions of linguistic variables terms based on statistical data

Background: the question of constructing membership functions is one of the most important questions in the theory of fuzzy sets. Existing methods of fuzzy control basically use fuzzy variables with the functions of belonging to one argument, which leads to a loss of dependence between control variables. In addition, linguistic variables can have a complex physical nature, requiring the use of several related parameters to determine their values. Solve this problem can use terms of linguistic variables with the functions of belonging to several arguments.

Materials and methods: methods of system analysis, fuzzy control, cluster analysis, fuzzy logic, knowledge representation are used in the article.

Results: an algorithm of specifying multidimensional membership functions of linguistic variables terms based on statistical data is developed.

Conclusion: application of the developed algorithm of specifying multidimensional membership functions of linguistic variables terms based on statistical data allows to preserve nonlinear intercommunications between object variables in a fuzzy control model and to reduce the influence of subjectivity of the expert due to automation of the process of constructing membership functions.

РЕЗЮМЕ

И. А. Тарасова

Разработка алгоритма задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных

История вопроса: вопрос о построении функций принадлежности является одним из самых важных вопросов в теории нечетких множеств. Существующие методы нечеткого управления в основном используют нечеткие переменные с функциями принадлежности одного аргумента, что приводит к потере зависимости между управляющими переменными. Кроме того, лингвистические переменные могут иметь сложную физическую природу, требующую использования нескольких связанных параметров для определения их значений. Решить данную проблему может использование термов лингвистических переменных с функциями принадлежности нескольких аргументов.

Материалы и методы: в статье использованы методы системного анализа, нечеткого управления, кластерного анализа, нечеткой логики, представления знаний.

Результаты: разработан алгоритм задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных.

Заключение: применение разработанного алгоритма задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных позволяет сохранить в нечеткой модели управления нелинейные взаимосвязи между переменными объекта, а также снизить влияние субъективности эксперта за счет автоматизации процесса построения функций принадлежности.

Статья поступила в редакцию 14.05.2018.