

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В ЦЕХЕ

Самуйлов В. О., Пивоварова А. Г.

Рассмотрена и проанализирована сущность технологической подготовки производства металлоконструкций в цехе. Рассмотрены различные алгоритмы принятия решений в нечетких условиях для автоматизации технологической подготовки производства металлоконструкций в цехе. Предложено математическое моделирование системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе. Разработана и описана математическая модель для системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе. Представлена математическая модель схемы Беллмана-Заде принятия решений в нечетких условиях для автоматизации процессов технологической подготовки производства металлоконструкций в цехе. Определены преимущества предложенной математической модели схемы Беллмана-Заде принятия решений в нечетких условиях. Намечены перспективные направления исследований, приведенных в статье.

Розглянуто та проаналізовано сутність технологічної підготовки виробництва металоконструкцій в цеху. Розглянуто різні алгоритми прийняття рішень в нечітких умовах для автоматизації технологічної підготовки виробництва металоконструкцій в цеху. Запропоновано математичне моделювання системи підтримки прийняття рішень з технологічної підготовки виробництва металоконструкцій в цеху. Розроблена та описана математична модель для системи підтримки прийняття рішень з технологічної підготовки виробництва металоконструкцій в цеху. Представлено математичну модель схеми Беллмана-Заде прийняття рішень в нечітких умовах для автоматизації процесів технологічної підготовки виробництва металоконструкцій в цеху. Визначено переваги запропонованої математичної моделі схеми Беллмана-Заде прийняття рішень в нечітких умовах. Окреслено перспективні напрями досліджень, наведених у статті.

Reviewed and analyzed the essence of technological preparation of production of steel structures in the workshop. Various algorithms for decision making in fuzzy environment for automation of technological preparation of production of steel structures in the workshop. The mathematical modeling of decision support systems for technological preparation of production of steel structures in the workshop. Developed and described mathematical model for decision support system for technological preparation of production of steel structures in the workshop. A mathematical model of the Bellman-Zadeh scheme of decision-making in fuzzy environment to automate the process of technological preparation of production of steel structures in the workshop. The advantages of the proposed mathematical model of Bellman-Zadeh scheme of decision-making in fuzzy environment. Promising research directions given in the article.

Самуйлов В. О.

канд. экон. наук, ст. науч. сотр. ИЭП НАН Украины

[samu@telenet.dn.ua](mailto:samu@telenet.dn.ua)

Пивоварова А. Г.

студент ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;  
ИЭП НАН Украины – Институт экономики промышленности НАН Украины,  
г. Донецк.

УДК 338.32

Самуйлов В. О., Пивоварова А. Г.

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В ЦЕХЕ**

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП) – основа повышения эффективности производства и качества продукции. Главная особенность ЕСТПП заключается в том, что основанная на твердой нормативной базе-стандартизации – эта система обеспечивает высокую мобильность промышленности, которая оперативно при высоких производственно-технических показателях может быть переключена на выпуск требуемой номенклатуры изделий, обеспечивая тем самым возможность непрерывного совершенствования действующего производства путем планомерного внедрения новейших достижений науки и техники. Технологическая подготовка производства необходима во многих отраслях. Так, например, без нее не обойтись в промышленности для освоения выпуска новых образцов изделий, повышения технического уровня и качества продукции, улучшения всех технико-экономических показателей работы предприятий. Главной задачей предприятия является всемерное удовлетворение общественных потребностей народного хозяйства и граждан в его продукции (работах, услугах) с высокими потребительскими свойствами и качеством при минимальных затратах.

Суть процесса подготовки производства металлоконструкций в цехе заключается в оценке и анализе производственных документов и определении трудовых ресурсов и мощностей, необходимых для производства определенной металлоконструкции, принятии решения о необходимых затратах на материал, энергию, раскройку металла, выбор оснастки, расстановка приоритетов при изготовлении металлоконструкций в очереди. Обычно, металл, необходимый для изготовления той или иной детали прописан в регламенте изготовления, но в условиях экономической ситуации на данном этапе, необходимо в установленный регламент технологической подготовки производства металлоконструкций в цехе вносить коррективы, так как выбор изготавливаемых металлов весьма невелик. Для изготовления продукции без потери качества необходимо подбирать соответствующие металлы, учитывая характер металлоконструкции и характеристики металлов.

Следовательно, актуальность разработанной системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе заключается в выборе таких металлов, которые позволят не только сохранить качество продукции, но и повысить его. Для эффективного выбора таких металлов необходимо подобрать и соответствующую математическую модель. Для точного и оптимального выбора металла для изготовления машины необходимо подобрать такой алгоритм, который учитывал бы все характеристики металлов. Разработкой алгоритмов для принятия решений занимались такие отечественные и зарубежные ученые как Саати Т. [1], Брук Б. Н. [2], Подиновский В. В. [3] и другие. Тем не менее, наличие наработок в данном направлении до конца не решает проблему эффективного выбора металлов для системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе из множества предложенных.

Целью статьи является эффективное математическое моделирование системы поддержки принятия решений по технологической подготовке металлоконструкций в цехе, которая позволит выбирать наиболее оптимальные металлы для производства металлоконструкций в цехе для обеспечения эффективности работы системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе.

Рассмотрим возможность использования схемы Беллмана-Заде для принятия решений в нечетких условиях в качестве математической модели для разработки системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе.

В 1970 году Беллман и Заде опубликовали статью «Decision-Making in Fuzzy Environment» («Принятие решений в нечетких условиях»), которая послужила отправной точкой для большинства работ по нечеткой теории принятия решений. В той статье рассматривается процесс принятия решений в условиях неопределенности, когда цели и ограничения заданы нечеткими множествами. Принятие решения – это выбор альтернативы, которая одновременно удовлетворяет и нечетким целям, и нечетким ограничениям. В этом смысле, цели и ограничения являются симметричными относительно решения, что стирает различия между ними и позволяет представить решение как слияние нечетких целей и ограничений.

В отличие от других математических моделей принятия решений, схема Беллмана-Заде позволяет учитывать не только все влияющие факторы, но так же и степень важности этих факторов. Это дает преимущество более точного выбора наилучшей альтернативы, что немало важно для изготовления высококачественной, конкурентоспособной продукции для разных типов металлоконструкций.

Постановка задачи: пусть имеется  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_h\}$  – множество проектов, которые подлежат многокритериальному анализу ( $i = \overline{1, h}$ );  $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$  – множество количественных критериев оценки вариантов ( $j = \overline{1, m}$ ). Задача многокритериального анализа состоит в упорядочении элементов множества  $P$  по критериям из множества  $K$ . Соответствующее нечеткое множество будет  $\overline{P}$  иметь название «Оптимальное решение».

Пусть  $\mu_{k_j}(p_h)$  – функция принадлежности, значения которой находится в диапазоне  $[0, 1]$ , которая характеризует уровень оценки варианта  $p_h \in P$  по критерию  $k_j \in K$ : чем большее число  $\mu_{k_j}(p_h)$ , тем выше оценка варианта  $p_h$  по критерию  $k_j$ . Тогда критерий  $k_j$  можно представить в виде нечеткого множества  $\overline{k_j}$  на универсальном множестве  $P$ :

$$\overline{k_j} = \left( \frac{\mu_j(p_1)}{p_1}, \frac{\mu_j(p_2)}{p_2}, \dots, \frac{\mu_j(p_h)}{p_h} \right), \quad (1)$$

где  $\mu_j(p_i)$  – степень принадлежности элемента  $p_i$  нечеткому множеству  $\overline{k_j}$ .

Наилучшим вариантом считается тот, который является наилучшим по всем критериям. Нечеткое решение  $\overline{R}_l$  для каждого эксперта в отдельности находится пересечением нечетких множеств  $\overline{k_j}$ , сформированных на основе суждений каждого эксперта (количество экспертов  $l = \overline{1, z}$ ):

$$\overline{R}_l = \overline{k_1} \cap \overline{k_2} \cap \dots \cap \overline{k_m} = \left\{ \frac{\min_{j=\overline{1, m}} \mu_{k_j}(p_1)}{p_1}, \frac{\min_{j=\overline{1, m}} \mu_{k_j}(p_2)}{p_2}, \dots, \frac{\min_{j=\overline{1, m}} \mu_{k_j}(p_h)}{p_h} \right\}. \quad (2)$$

В соответствии с полученным нечетким множеством  $\overline{R}_l$ , наилучшим следует считать тот вариант, для которого степень принадлежности наибольшая.

Для повышения качества полученных решений вводится неравнозначности критериев:

$$\overline{R}_l = \overline{k_1} \cap \overline{k_2} \cap \dots \cap \overline{k_m} = \left\{ \frac{\min_{j=\overline{1, m}} \mu_{k_j}(p_1)^{\alpha_j}}{p_1}, \frac{\min_{j=\overline{1, m}} \mu_{k_j}(p_2)^{\alpha_j}}{p_2}, \dots, \frac{\min_{j=\overline{1, m}} \mu_{k_j}(p_h)^{\alpha_j}}{p_h} \right\}, \quad (3)$$

где  $\alpha_j$  – коэффициент относительной важности критерия  $k_j$ ,  $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m = 1$ .

Коэффициенты относительной важности критериев определяются аналогично: на основе матриц парных сравнений по шкале Саати для каждого эксперта. Вводится дополнительно нечеткое множество «Наиболее приоритетный показатель оценки» при условии, что существует определенное множество экспертов  $S = \{S_1, \dots, S_z\}$ , где  $l = \overline{1, z}$ ,  $z$  – количество экспертов:

$$\overline{S}_l = \left( \frac{\mu_l(k_1)}{k_1}, \frac{\mu_l(k_2)}{k_2}, \dots, \frac{\mu_l(k_m)}{k_m} \right), \quad (4)$$

где  $\mu_l(k_j)$  – степень принадлежности элемента  $k_j$  нечеткому множеству  $\overline{S}_l$ .

Решение находится пересечением соответствующих элементов по каждому эксперту:

$$\overline{S}_1 \cap \overline{S}_2 \cap \dots \cap \overline{S}_z = \left\{ \frac{\min_{l=\overline{1,z}} \mu_{S_l}(k_1)}{k_1}, \frac{\min_{l=\overline{1,z}} \mu_{S_l}(k_2)}{k_2}, \dots, \frac{\min_{l=\overline{1,z}} \mu_{S_l}(k_m)}{k_m} \right\}. \quad (5)$$

Так, ранги коэффициентов находятся по формуле 6:

$$\alpha_j = \min_{l=\overline{1,z}} \mu_{S_l}(k_j) / \sum_{j=1}^m \min_{l=\overline{1,z}} \mu_{S_l}(k_j), \quad (6)$$

где  $\sum_{j=1}^m \alpha_j = 1$ .

Пересечением полученных нечетких решений каждого отдельного эксперта определяется уровень важности каждого критерия. Показатель степени  $\alpha_j$  свидетельствует о концентрации нечеткого множества  $\overline{k}_j$  в соответствии с мерой важности критерия  $k_j$ . Конечный результат получается пересечением:  $\overline{P}_{opt} = \overline{R}_1 \cap \overline{R}_2 \cap \dots \cap \overline{R}_l$ .

Исходной информацией для построения функций принадлежности являются экспертные парные сравнения. Для каждой пары элементов универсального множества эксперт оценивает преимущество одного элемента над другими относительно свойств нечеткого множества. Парные сравнения представляются матрицей 7:

$$A = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & \dots & u_n \\ u_1 & \left[ \begin{array}{cccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{array} \right. & & & \end{matrix}, \quad (7)$$

где  $a_{ij}$  – уровень преимущества элемента  $u_i$  над по шкале Саати:

- 1 – если отсутствует преимущество элемента  $u_i$  над элементом  $u_j$ ;
- 3 – если присутствует некоторое преимущество элемента  $u_i$  над элементом  $u_j$ ;
- 5 – если присутствует преимущество элемента  $u_i$  над элементом  $u_j$ ;
- 7 – если присутствует явное преимущество элемента  $u_i$  над элементом  $u_j$ ;
- 9 – если присутствует абсолютное преимущество элемента  $u_i$  над элементом  $u_j$ ;
- 2, 4, 6, 8 – промежуточные сравнительные оценки.

Данный механизм экспертных процедур позволяет учитывать фактор неопределенности (неоднозначности и субъективности) при выборе оптимального решения на основе количественного оценивания возможных альтернатив.

В машиностроении критериями выбора металла являются такие характеристики как температура плавления, износостойкость, усталость, коррозионная стойкость, прочность и гибкость, при чем для каждого вида металлоконструкций каждая характеристика имеет свой вес. Преимуществами автоматизации процесса выбора наилучшей альтернативы по схеме Беллмана-Заде для принятия решений в нечетких условиях является многомерность данной схемы. Т. е. сравнение может происходить по сколь угодно многим характеристикам сколь угодно многих металлов. Учет весовых коэффициентов определяющих факторов позволяет увеличить точность расчетов, что позволяет выбрать такой металл, который позволил бы производить продукцию на высочайшем уровне.

### ВЫВОДЫ

Итак, в статье обоснована необходимость использования методов математического моделирования принятия решений в нечетких условиях по схеме Беллмана-Заде для проектирования системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе. Определена математическая модель для системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе. Предложенная математическая модель схемы Беллмана-Заде позволяет наиболее качественно и оптимально автоматизировать процесс выбора наилучшей альтернативы для изготовления высококачественной конкурентоспособной продукции, что позволит снизить затраты на производство и увеличить прибыль предприятия. Так же результатом данного математического моделирования системы является снижение уровня тяжелого ручного труда, рост производительности труда.

Таким образом, предложенная математическая модель Беллмана-Заде принятия решений в нечетких условиях для проектирования системы поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе, которая позволит выбирать наиболее оптимальные металлы для производства металлоконструкций в цехе. Перспективным направлением исследования является программная реализация предложенной в статье математической модели в системе поддержки принятия решений по технологической подготовке производства металлоконструкций в цехе.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saaty T. L. *Inconsistency and rank preservation* / T. L. Saaty, L. C. Vargas // *J. of Mathematical Psychology*. 1984, June. – Vol. 28. No2. – P. 205–241.
2. Брук Б. Н. *Методы экспертных оценок в задачах упорядочения объектов* / Б. Н. Брук, В. Н. Бурков // *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика*. – 1972 – No3. – С. 3–11.
3. Подиновский В. В. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач* / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин – М. : Наука, 1982. – 256 с.
4. Тимохин М. Н. *Экономика и организация промышленного производства* / М. Н. Тимохин, В. Г. Лебедь. – М. : ИНФРА-М, 2001 – 694 с.
5. Мацегора Е. А. *Новокураматорский машиностроительный завод* / Е. А. Мацегора. – М. : Машиностроение, 1984 – 128 с.
6. Дьяконов В. П. *Компьютерная математика. Теория и практика* / В. П. Дьяконов. – СПб. : «Питер», 1999, 2001. – 1296 с.
7. *Информационные технологии в проектировании радиоэлектронных средств: учеб. Пособие для студ. Высш. Учебн. Заведений* / Ю. Л. Муромцев, Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин [и др.] – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
8. Латышев П. Н. *Программы и производители* / П. Н. Латышев. – М. : ИД СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 736 с.
9. *Компьютерный инжиниринг. Аналитический обзор – учебное пособие* / А. И. Боровков [и др.] – СПб. : Политехн. Ун-та, 2012. – 93 с.
10. Блехман И. И. *Прикладная математика: Предмет, логика, особенности подходов. С примерами из механики: учебное пособие* / И. И. Блехман, А. Д. Мышкис, Н. Г. Пановко – 3-е изд., испр. И доп. – М. : УРСС, 2006. – 376 с.
11. *Введение в математическое моделирование: учебное пособие [Электронный ресурс]* / под ред. П. В. Трусова. – М. : Логос, 2004. – Режим доступа : <http://tfile.me/forum/viewtopic.php?t=328027>.

Статья поступила в редакцию 18.03.2015 г.