

УДК 004.9:621.74

ВЫБОР СПОСОБА ЛИТЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ

А. С. Горюхин¹, Е. С. Гайнцева², И. И. Шайхутдинова³

¹GoruhinAS@yandex.ru, ²gaintsevae@yandex.ru, ³peacelife@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 22.01.2018

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения нечетких алгоритмов при выборе конкретного способа литья отливок в зависимости от технических требований конструктора, себестоимости отливки, от продолжительности технологического цикла и серийности. Разработана мнемосхема технологического процесса получения детали, в которой принятие управленческих решений осуществляется с применением теории нечетких множеств. Показан пример формирования матрицы знаний на основе требований нечеткой логики, определяющий систему логических высказываний. Выполнена экспертная оценка комбинаций значений входных переменных.

Ключевые слова: литейное производство; способы литья; лингвистическая переменная; нечеткое множество; мнемосхема; база знаний; база данных; матрица знаний; экспертная оценка; интеллектуальная система; терм-множество.

ВВЕДЕНИЕ

Выбор правильного технологического процесса получения отливки является важным фактором на ранних стадиях его проектирования. Существует более 40 различных способов литья с использованием различного оборудования и оснастки. Нерациональный выбор технологического процесса может привести к потере качества отливки и финансовым убыткам.

Выбор конкретного способа литья зависит от технических требований конструктора, себестоимости отливки, а также от продолжительности технологического цикла и серийности. Из нескольких возможных вариантов технологического процесса при прочих равных условиях выбирают наиболее экономичный, при равной экономичности – наиболее производительный [1]. При постановке специальных задач, например срочный выпуск отливки, малая партия, решающими могут оказаться другие факторы

(более высокая производительность, минимальное время подготовки производства, минимальное время получения и др.).

Чтобы сравнить различные процессы получения отливки с целью выбора наиболее предпочтительного, необходимо провести классификацию способов получения по различным критериям, найти средства их классификации и разработать классификатор с применением интеллектуальных систем.

ТЕОРИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Нечеткая логика является одним из элементов искусственного интеллекта, которая применяется в системах управления и распознавания образов и может быть использована при выборе способа литья. Она основана на наблюдении, что люди часто принимают решения на основе неточной и числовой информации, нечетких моделей или набора математических средств, представляющих неопределенность и неточную информацию, отсюда и термин «нечеткая логика». Правила нечеткой логики могут быть нестрогими, нечеткими, противоречащими друг другу. На основе нечеткой логики мо-

Проект выполнялся при поддержке Министерства образования и науки РФ, Договор от «01» декабря 2015г. № 02.G25/31/0163

гут быть построены системы автоматизированного управления устройствами, системы регулирования режима работы агрегатов, системы диагностики, экспертные системы для поддержки принятия решений и т.д.

Выбор способа литья влияет на выбор других важных решений, таких как технологические инструменты, технологические параметры, термическая обработка, контроль качества. Это в свою очередь влияет на оптимальный размер оснастки, затраты на трудоемкость получения отливки и на временной цикл ее получения. Различные методы литья характеризуются различными возможностями получения отливки (минимальной толщиной стенки, минимальной шероховатостью поверхности отливки, минимально допустимой пористостью, временем подготовки технологического процесса и т.д.).

Одно из главных понятий в нечеткой логике – понятие лингвистической переменной. Лингвистическая переменная (ЛП) – это переменная, значение которой определяется набором вербальных (то есть словесных) характеристик некоторого свойства [2].

Например, ЛП «литье» определяется через набор (литье по выплавляемым моделям (ЛПВМ), литье в песчаные формы (ПГФ), литье под давлением (ЛПД), литье в кокиль, литье в оболочковые формы и т.д.).

Значения ЛП определяются через так называемые нечеткие множества (НМ), которые в свою очередь определены на некотором базовом наборе значений или базовой числовой шкале, имеющей размерность. Понятия нечетких и лингвистических переменных используются при описании объектов и явлений с помощью нечетких множеств.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрим возможность применения нечеткой логики в условиях литейного производства. Обычно в начале концептуального проектирования конструктору заданы функциональные требования и соответствующие бизнес-требования, такие как время выхода на рынок, возможные объемы производства, и общая себестоимость. В концептуальной стадии проектирования

конструкторы определяют критические требования, такие как размер, масса, особенности формы, допусков, требования к поверхности и др. На данном этапе существует достаточно информации, чтобы начать предварительное планирование процесса (например, выбор материалов и процессов). Выбор оптимального и альтернативного способа литья с совместимыми сплавами, которые могут удовлетворить эти критические требования с минимальными затратами.

Нечеткое множество определяется как решение уравнения

$$Y=f_y(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где y – некоторая выходная переменная, однозначно определяющая принятое решение; x_1, x_2, \dots, x_n – входные переменные, на основании которых базируется решение. Для качественных переменных $x_i \dots x_n$ и b предполагается, что известны множества всех возможных значений:

$$U_i = \{v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i}\}, i = 1 \dots n; \quad (2)$$

$$B_i = \{b^1, b^2, \dots, b^{q_m}\} \quad (3)$$

где $v_i(v_i^{q_i})$ – балльная оценка, соответствующая наименьшему (наибольшему) значению входной переменной v_i ; $b^1(b^{q_m})$ – балльная оценка, соответствующая наименьшему (наибольшему) значению выходной переменной b ; $i = 1 \dots n$ и q_m – мощности множеств (2) и (3).

На рис. 1 изображена схема технологического процесса получения детали, в которой принятие управленческих решений осуществляется на основе теории нечетких множеств.

Как известно из литературы [3, 4], выбор способа литья и разработка технологического процесса изготовления отливки определяются множеством факторов. Во множестве из n переменных, принимаемых во внимание при принятии решения о целесообразности, девять переменных можно выбрать в качестве лингвистических переменных (табл. 1): A_1 – масса отливки, A_2 – назначение, A_3 – серийность, A_4 – габариты отливки, A_5 – шероховатость, A_6 – качество точности, A_7 – толщина стенки отливки, A_8 – сложность, A_9 – наличие стержней.



Рис. 1. Мнемосхема выбора способа литья с применением нечеткой логики

В данном случае $n=9$. Выходная переменная b соответствует принятию решения о целесообразности выбора того или иного способа литья из пяти рассматриваемых. Для оценки ЛП $a_i, i=1...9$ и u использованы

качественные и количественные значения (термы), сгенерированные в термножества:

$A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^l\}$ – термножество переменной $x_i, i=1...9$;

Таблица 1

Основные факторы, влияющие на выбор способа литья [5, 6]

Способ литья	Масса, кг	Назначение	Серийность	Габариты, мм	Шероховатость R_z , мкм	Качество точности	Толщина стенки, мм	Сложность	Наличие стержней
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
ЛПВМ	200	особо ответственного	серийное	1000	5...80	11...15	более 0,3	6	есть
ПГФ	10000	ответственного	массовое	3000	10...160	14...17	2,5	5	есть
Литье в кокиль	250	ответственного	серийное	2000	5...80	13...16	2,5	5	есть
ЛПД	200	особо ответственного	массовое	700	1,25...80	8...14	более 0,6	6	есть
Литье в оболочковые формы	150	особо ответственного	массовое	1500	5...80	11...14	2,5	6	есть

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – терм-множество переменной y ,

где a_i^p – p -й лингвистический терм переменной x_i ; $p = 1 \dots l_i$, $i = 1 \dots n$; d_j – j -й лингвистический терм переменной y ; m – количество различных решений в рассматриваемой области.

Рассмотрены следующие терм-множества:

$A_1 = \{a_1^1$ – мелкие (М), a_1^2 – средние (С), a_1^3 – крупные (К), a_1^4 – особо тяжелые (ОТ)};

$A_2 = \{a_2^1$ – отливки общего назначения (ОНН), a_2^2 – отливки ответственного назначения (ООН), a_2^3 – отливки особо ответственного назначения (ООО)};

$A_3 = \{a_3^1$ – единичное (Е), a_3^2 – мелкосерийное (МС), a_3^3 – серийное (С), a_3^4 – массовое (М)};

$A_4 = \{a_4^1$ – мелкие (М), a_4^2 – средние (С), a_4^3 – крупные (К)};

$A_5 = \{a_5^1$ – тонкая (Т), a_5^2 – средняя (С), a_5^3 – грубая (Г)};

$A_6 = \{a_6^1$ – высокий (В), a_6^2 – средний (С), a_6^3 – крупный (К), a_6^4 – низкий (Н)};

$A_7 = \{a_7^1$ – очень тонкая (ОТ), a_7^2 – тонкая (ТК), a_7^3 – толстая (Т)};

$A_8 = \{a_8^1$ – особо сложные (ОС), a_8^2 – сложные (С), a_8^3 – простые (П)};

$A_9 = \{a_9^1$ – несколько (НС), a_9^2 – один (О), a_9^3 – нет (Н)};

$D = \{d_1$ – ЛПВМ, d_2 – ПГФ, d_3 – литье в кокиль, d_4 – ЛПД, d_5 – литье в оболочковые формы}.

ТЕОРИЯ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Идея, лежащая в основе формализации причинно-следственных связей между переменными <вход–выход>, состоит в описании этих связей на естественном языке с применением теории нечетких множеств

и лингвистических переменных. Цель настоящего раздела состоит во введении основных формализмов, необходимых для определения нечетких баз знаний, являющихся носителем экспертной информации.

Нами рассматривается объект (1) с одним выходом и n входами.

Переменные x_1, x_2, \dots, x_n и y могут быть количественными и качественными.

Из литературы известно [7], что:

1) в случае количественных переменных x_i , $i = 1 \dots n$ и b , нечеткие множества a_i^p и d_j определяются следующими соотношениями:

$$a_i^p = \int_{\underline{x}_i}^{\bar{x}_i} \mu^{a_i^p} \left(\frac{x_i}{x_i} \right); \quad d_j = \int_{\underline{d}}^{\bar{d}} \mu^{d_j} \left(\frac{d}{d} \right),$$

где $\mu^{a_i^p}(x_i)$ – функция принадлежности значения входной переменной $x_i \in [\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ терму $a_i^p \in A_i$, $p = \overline{1, l_i}$, $i = \overline{1, n}$;

$\mu^{d_j}(d)$ – функция принадлежности значения выходной переменной $y \in [\underline{y}, \bar{y}]$ терму-решению $d_j \in D$, $j = \overline{1, m}$;

2) в случае качественных переменных x_i , $i = 1 \dots n$ и y , нечеткие множества a_i^p и d_j определим так:

$$a_i^p = \sum_{k=1}^{q_i} \mu^{a_i^p}(v_i^k) / v_i^k, \quad d_j = \sum_{r=1}^{q_m} \mu^{d_j}(y^r) / y^r,$$

где $\mu^{a_i^p}(v_i^k)$ – степень принадлежности элемента $v_i^k \in U_i$, терму $a_i^p \in A_i$, $p = \overline{1, l_i}$, $i = \overline{1, n}$, $k = \overline{1, q_i}$; $\mu^{d_j}(y^r)$ – степень принадлежности элемента $y^r \in Y$ терму-решению $d_j \in D$, $j = \overline{1, m}$.

Табл. 2, сформированная по таким правилам, является фрагментом матрицы знаний:

1) Размерность этой матрицы равна $(n+1) \times N$, где $(n+1)$ – число столбцов, а $N = k_1 + k_2 + \dots + k_m$ – число строк.

2) Первые n столбцов матрицы соответствуют входным переменным $x_i, i = \overline{1, n}$, а $(n+1)$ -ый столбец соответствует значениям d_j выходной переменной y , $j = \overline{1, m}$;

Таблица 2

Фрагмент матрицы знаний

Номер входной комбинации значений	Входные переменные									Выходная переменная
	Масса отливки	Назначение	Серийность	Габариты	Шероховатость	Квалитет точности	Толщина стенки	Сложность	Наличие стержней	у
1	М	ОНН	Е	М	Т	В	ОТ	ОС	НС	Неприменим
2	ОТ	ОНН	Е	М	Т	Г	Т	С	НС	Наиболее предпочтителен ПГФ
3	С	ОНН	Е	М	Т	В	ТС	ОС	НС	Наиболее предпочтителен ЛПД
4	С	ООН	Е	М	Т	В	ОТ	ОС	О	Наиболее предпочтителен ЛПВМ Менее предпочтителен ЛПД

3) Каждая строка матрицы представляет некоторую комбинацию значений входных переменных, отнесенную экспертом к одному из возможных значений выходной переменной Y . При этом: первые k_1 строк соответствуют значению выходной переменной $y = d_1$, вторые k_2 строк – значению $y = d_2, \dots$, последние k_m строк – значению $y = d_m$; 4) Элемент a_i^{jp} , стоящий на пересечении i -го столбца и jp -й строки соответствует лингвистической оценке параметра x_i в строке нечеткой базы знаний с номером jp . При этом лингвистическая оценка a_i^{jp} выбирается из терм-множества, соответствующего переменной x_i , т.е. $a_i^{jp} \in A_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$.

МАТРИЦА ЗНАНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА СПОСОБА ЛИТЬЯ

Для построения матрицы знаний, необходимой для решения поставленной задачи,

выполнена экспертная оценка комбинаций значений входных переменных. Результаты оценки сведены в матрицу знаний, которая определяет систему логических значения входных переменных $x_1 \dots x_n$ с одним из возможных типов решения $d_j, j = \overline{1, m}$:

ЕСЛИ $(x_1 = a_1^{11})$ И $(x_2 = a_2^{11})$ И... ИЛИ $(x_1 = a_1^{11})$ И $(x_2 = a_2^{11})$ И... И $(x_n = a_n^{11})$ ИЛИ $(x_1 = a_1^{12})$ И $(x_2 = a_2^{12})$ И ... И $(x_n = a_n^{12})$ ИЛИ ... $(x_1 = a_1^{1k_1})$ И $(x_2 = a_2^{1k_1})$ И ... И $(x_n = a_n^{1k_1})$, ТО $(y = d_1)$, ИНАЧЕ...

Таким образом, связь между входными параметрами $x_1 \dots x_n$ и выходной переменной d_j была формализована в виде нечетких логических высказываний. Данная система логических высказываний имеет название нечеткой базы знаний.

Для принятия решения, позволяющего фиксированному вектору входных переменных $x_1 \dots x_n$ поставить в соответствие решение d_j , построена система логических

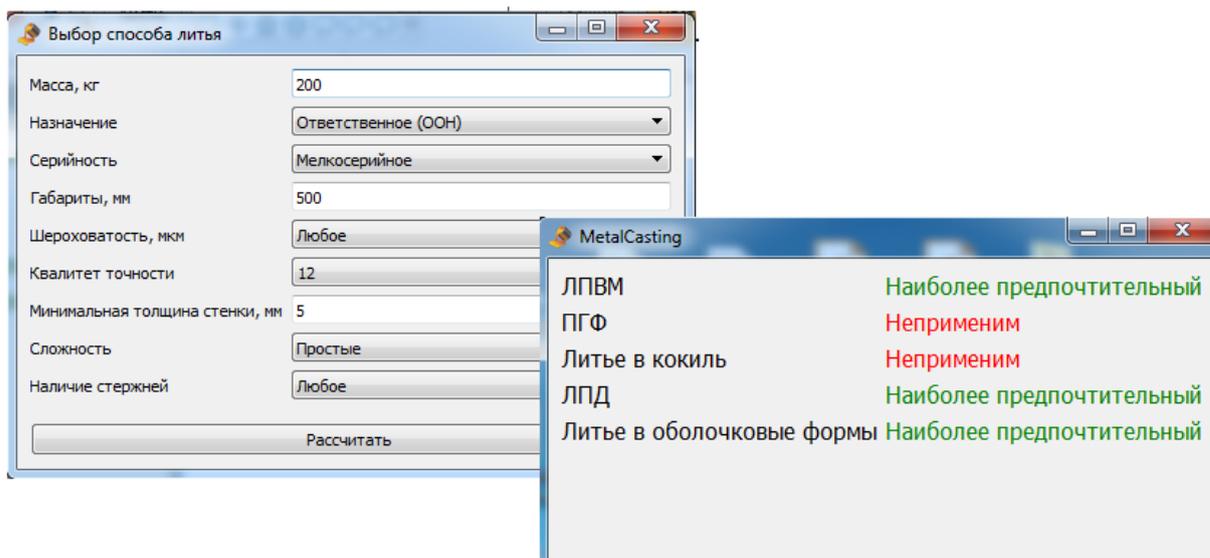


Рис. 2. Фрагмент программы выбора способа литья

уравнений на базе матрицы знаний и рассчитаны значения функций принадлежности различных решений при фиксированных значениях входных переменных. В качестве наиболее предпочтительного варианта выбрано решение с наибольшим значением функции принадлежности. Данная система логических решений заложена в программе для выбора наиболее рационального способа литья, представленной на рис. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена возможность применения одного из методов искусственного интеллекта – нечеткой логики в формализации процесса выбора наиболее рационального способа получения отливки: по размерным характеристикам детали, техническим условиям конструктора и параметрам бизнес-требований.

Показан пример формирования матрицы знаний на основе требований нечеткой логики для разработки компьютерной программы выбора способа литья в условиях многономенклатурного производства отливок различного назначения.

Рассмотренная методика формирования матриц знаний, с использованием алгоритмов нечеткой логики, может быть применена для оценки и управления качеством получаемых отливок в условиях современного автоматизированного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюхин А. С., Гайнцева Е. С., Шайхутдинова И. И. Многомерная модель выбора способа литья получения отливок из алюминиевых сплавов // Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19, № 2(68). С. 3–6. [A. S. Gorukhin, E. S. Gayntseva, and I. I. Shayhutdinova, "Multivariate model selection method for production of casting of aluminum alloys," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 19, no. 2 (68), pp. 3-6, 2015.]
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. [L. Zade, *The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions*, (in Russian). Moscow: Mir, 1976.]
3. Трухов А. П. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы. М.: Академия, 2005. 525 с. [A. P. Truhov, *Technology foundry. Casting sand casting*, (in Russian). Moscow: Academy, 2005.]
4. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. Киев: Вища школа, 1991. 247 с. [P. A. Rudenko, *Design and production of billets in mechanical engineering*, (in Russian). Kiev: Vishcha Shkola, 1991.]
5. Гини Э. Ч., Зарубин А. М., Рыбкин В. А. Технология литейного производства. Специальные виды литья: учебник / под. ред. В. А. Рыбкина. М.: Академия, 2005. 352 с. [E. C. Gini, A. M. Zarubin, V. A. Rybkin, *Technology of foundry. Special types of casting*, (in Russian). Moscow: Academiya, 2005.]
6. ГОСТ Р 53464-2009 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. М.: Стандартинформ, 2010. 44 с. [*Metal and alloy castings. Dimensions and mass tolerances and machining allowances*, (in Russian), Federal standard R ISO/IEC 53464-2009, Moscow, Standatrinform, 2010.]
7. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. 320 с. [A. P. Rotshtein, *Intellectual identification technologies: fuzzy logic, genetic algo-rhythms, neural network*, (in Russian). Vinnitsa: UNIVERSUM-Vinnytsia, 1999.]

ОБ АВТОРАХ

ГОРЮХИН Александр Сергеевич, доц. каф. МитЛП. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1965). Канд. техн. наук по литейн. проив. (МВТУ им. Баумана, 1979). Иссл. в обл. технологии получения сложных отливок в авиапроме.

ГАЙНЦЕВА Екатерина Сергеевна, доцент. каф. МитЛП, дипл. (УГАТУ, 2008). Канд. техн. наук по автоматизации и управлению (УГАТУ, 2013). Иссл. в обл. иск. интеллекта и технологии получения сложных отливок в авиапроме.

ШАЙХУТДИНОВА Ирина Ириковна, асп. каф. МитЛП. Дипл. инж. (УГАТУ, 2012). Готовит дис. в обл. автоматизации и управления технологическими процессами.

METADATA

Title: The choice of casting method using fuzzy algorithms.

Authors: A. S. Gorukhin¹, E. S. Gayntseva², I. I. Shayhutinova³.

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹GorukhinAS@yandex.ru, ²gaintsevae@yandex.ru, ³peacelife@mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 22, no. 1 (79), pp. 3-9, 2018. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: In the paper considers the possibility of using fuzzy algorithms in choosing a particular method for casting depending on the technical requirements of the designer, the cost of casting, the duration of the technological cycle and seriality. A mnemonic scheme of the technological process of obtaining a detail has been developed, in which the adoption of managerial decisions is carried out using the theory of fuzzy sets. An example of forming a knowledge matrix based on the requirements of fuzzy logic is shown, which determines the system of logical utterances. An expert evaluation of combinations of values of input variables is performed.

Key words: foundry; methods of casting; linguistic variable; fuzzy set; a mnemonic scheme; knowledge base; database; matrix of knowledge; expert review; intellectual system; term-set.

About authors:

GORUKHIN, Alexandr Sergeevich, Associate professor, Dept. of Machinery and technology foundry. Dipl. Engineer (UAI, 1965). Cand.of Tech. Sci. (MVTU Bauman, 1979).

GAYNTSEVA, Ekaterina Sergeevna, Senior professor, Dept. of Machinery and technology foundry. Dipl. Engineer (UGATU, 2008). Cand.of Tech. Sci. (UGATU, 2013).

SHAYHUTDINOVA, Irina Irikovna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Machinery and technology foundry (UGATU, 2012).