

Автоматизация расчета сложности производства изделий на основе нечеткой логики

© 2010 Р.М. Хабибуллин

директор ЗАО «Управляющая компания «АССО-строй»», г. Ижевск
E-mail: Opt10@mail.ru

Предприятия, занятые производством новых изделий, сталкиваются с необходимостью приблизительной оценки сложности изделия без проектирования технологического процесса. Особенно это актуально для мелкосерийных и единичных производств. Предварительная оценка сложности на этапе конструкторской подготовки может позволить определить целесообразность ввода нового изделия в производство и его будущую себестоимость.

Ключевые слова: расчет сложности производства, трудоемкость, нечеткая логика, нормирование.

В нормировании среди различных норм главной является норма времени. Это время, необходимое для производства одного изделия, или трудоемкость единицы продукции. Трудоемкость и норма времени по содержанию сходны между собой, обе величины имеют одну и ту же размерность, во многих случаях эти понятия можно рассматривать как синонимы. Вместе с тем следует отметить, что понятие трудоемкости более широкое и общее, а понятие нормы времени более конкретное и узкое. Норма - это расчетная величина, получаемая при нормировании. Следовательно, должна быть разработана процедура нормирования. Эта процедура носит название метода нормирования. При плановых и оперативных расчетах до обработки пользуются понятием нормы. После обработки, оценивая фактические трудовые затраты, удобнее говорить о трудоемкости. Термин «трудоемкость» используют также в тех случаях, когда не предусмотрено отдельной процедуры нормирования.

В настоящее время рассматриваются различные методы нормирования¹: расчетно-аналитический; исследовательский аналитический; опытно-статистический; суммарный; метод аналогий; непосредственного наблюдения; укрупненный; метод микроэлементов и др. Указанные методы во многом пересекаются друг с другом.

Общепринято деление методов нормирования на две группы по форме обоснования: технические и статистические. Технически обоснованные - нормы, разработанные с помощью аналитических методов, которые обеспечивают более полное использование производственных фондов, повышение производительности труда при соблюдении требований к качеству продукции и сохранению должного уровня труда. К технически обоснованным нормам отнесены расчетные нормы. Под комплексным обоснованием норм понимают их техническое, организационное, психофизиологическое, социальное и экономическое обоснование.

Разработка техпроцесса обработки и определение нормы времени - это разные стадии технологической подготовки производства. Первая задача решается технологическими службами предприятия, вторая - отделами труда и зарплаты. Нужно отметить, что часто обе задачи решаются совместно, поскольку расчетный метод нормирования требует предварительной разработки техпроцесса, но указанные задачи остаются различными, и многие из тех требований, которые относятся к нормированию, фактически касаются только вопросов, связанных с разработкой техпроцесса. По мере совершенствования оборудования и технологической оснастки, улучшения организации труда и производства рабочие процессы должны совершенствоваться, заимствовать то лучшее, что имеется в перспективных технологических процессах.

Если отвлечься от второстепенных признаков и сосредоточить свое внимание на содержании каждого метода, то все эти методы можно свести к трем основным: расчетный метод; метод непосредственного наблюдения; метод аналогий.

При расчетном методе рассматривается рабочий цикл оборудования - совокупность холостых и рабочих ходов, необходимых для обработки одной детали. Зная величину хода и подачу (скорость движения исполнительного органа), можно определить время хода. Суммируя время всех ходов цикла, получим так называемое штучное время, или трудоемкость операции. Суммируя время всех операций, получим трудоемкость маршрутной технологии. Другими словами, операция разбивается на отдельные составные части, определяется трудоемкость каждой части, а затем трудоемкость операции.

Суть метода непосредственного наблюдения заключается в том, что на рабочем месте фиксируются затраты рабочего времени. Опытнo-статистический метод нормирования содержит три

этапа: сбор статистического материала; обработка материала методами математической статистики; формирование результатов исследования.

Важным этапом является сбор материала. При массовых повторениях случайные процессы приобретают устойчивость. Выявление ее вероятности - конечная цель статистических исследований. Сам метод не может ухудшить или улучшить нормы, он выявляет тенденции устойчивости случайных процессов. Если на предприятии накоплен прогрессивный статистический материал, то в результате будут выданы нормы, адекватные исходным. В этом преимущество статистического метода перед расчетным. Статистическое нормирование имеет следующие преимущества перед расчетным: возможно получение более высокой точности норм при правильном подборе статистического материала, достаточно высокая производительность метода при использовании баз данных и высокая возможность повысить гибкость метода, не отрываясь от реального производства.

Рассмотрим применение метода нечеткой логики для определения трудоемкости деталей. Пусть имеется система, соответствующая некоторому множеству изделий G . Свойства, характеризующие данный класс деталей, обозначим $v_i, i = \overline{1, m}$. Свойства становятся переменными рассматриваемой системы, являющейся моделью класса G . Одним из свойств является трудоемкость деталей. Другими свойствами², могут быть: конструктивная сложность, размерный коэффициент, коэффициент заготовки, технологичность конструкции и т.д. Выбранные свойства характеризуются набором лингвистических переменных $x_i, i = \overline{1, m}$. Лингвистические переменные могут иметь основные значения: “низкое” (L), “среднее” (M), “высокое” (H) и некоторые промежуточные (L, LM, M, MH, H) в случае необходимости. Будем записывать n правил, связывающих состояния переменных системы, в виде

$$P_j : x_k = Z_{kj} \mid \{x_1 = Z_{1j}, \dots, x_i = Z_{ij}, \dots, x_m = Z_{mj}\}, \quad (1) \\ j = \overline{1, n},$$

где Z_{ij} некоторое значение из (L, LM, M, MH, H).

Правило читается: переменная x_k принимает соответствующее значение из множества $\{L, \dots, H\}$, если остальные переменные $x_i, i = 1, \dots, m, i \neq k$ имеют некоторые значения из

этого множества. Правила (1) могут устанавливаться экспертами. При наличии системы данных, соответствующей объектам G , правила можно получить по некоему классификационному алгоритму обучения.

Введем кодировку значений лингвистических переменных в виде номеров термов множества $x_i = k, k = \overline{0, K_i}, i = \overline{1, m}$. Каждый терм характеризуется своей функцией принадлежности $\mu_{ik}(v_i)$. Пусть рассматриваемым объектам (деталям) $g_j \in G, j = \overline{1, n}$ соответствует система данных. Значения параметров системы $v_i, i = \overline{1, m}$ образуют матрицу “объект - свойство”:

$Q = \|q_{ij}\|, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$. Столбцы матрицы Q образуют значения переменных: $x_i = k, k = \overline{0, K_i}; i = \overline{1, m}$. Таким образом, элементы матрицы Q являются значениями Z_{ij} из (1).

Для определенности считаем, что трудоемкость соответствует первой переменной v_1 . Система данных Q определена на параметрически неупорядоченном множестве. Функция поведения системы определяется по формуле (1). Состояния c соответствуют сочетаниям значений переменных

. Каждое состояние будем рассматривать,

как правило: $P_j, j = \overline{1, N}; N \leq n$. На этапе определения правил необходимо предусмотреть, чтобы обучающая выборка $g_j \in G, j = \overline{1, n}$ была подобрана корректно, т.е. правила должны быть непротиворечивыми. В случае, если выборка имеет небольшой объем, к полученным правилам эксперт может добавить ряд дополнительных правил. Объект с прогнозируемой трудоемкостью имеет определенные количественные характеристики $v_i = v_i^0, i = \overline{2, m}$. Требуется определить характери-

стику v_1^0 или трудоемкость. Пересечением нечетких множеств $\{x_1 = Z_{1j} \cap x_2 = Z_{2j} \dots \cap x_m = Z_{mj}\}$ для правой части j -го правила является множество со степенью принадлежности

$\mu_j(v_i^0) = \min_{i=2, m} [\mu_i(v_i^0)]$. Значение функции принадлежности левой части правила (1) соответствует этой величине. Скорректированная функция принадлежности, соответствующая переменной v_1 , определяется по соотношению

$$\mu_c(v_1) = \bigcup_{k=0}^{K_1} \mu_{1k}(v_1) b_k, \quad (2)$$

где $b_k = \left\{ x_1 = k \mid \max_j \mu_j(v_j^0) \right\}$, $k = \overline{0, K_1}$.

С использованием функции (2) вычисляется точечная оценка переменной

$$v_1: v_1^0 = \int_{v_1} \mu_c(u) u du / \int_{v_1} \mu_c(u) du. \quad (3)$$

Проведем тестирование модели на основе нечеткой логики. В качестве теста возьмем выборку из 300 деталей при той же самой разрешающей форме. Выборку разделим на две части, первые 200 изделий образуют обучающую выборку. На оставшейся части деталей проверяется изложенный алгоритм. Результаты расчетов приведены в таблице.

Система данных, соответствующая рассматриваемым деталям, описывается 13 переменными: v_1 - трудоемкость, мин; v_2 - тип детали (1 - кронштейны, вилки, рычаги; 2 - корпуса редукторов, станины; 3 - корпуса высокой точности); v_3 - тип заготовки (1 - предварительная обработка; 2 - горячая ковка; 3 - штамповка; 4 - литье); v_4 - габариты; v_5 - количество цилиндрических отверстий; v_6 - количество отверстий с резьбой; v_7 - количество открытых плоскостей; v_8 - количество пазов; v_9 - количество линейных контуров; v_{10} - количество сложных контуров; v_{11} - количество уступов; v_{12} - количество фасок; v_{13} - точность.

Параметры v_2, v_3, v_7, v_{13} для подавляющего большинства деталей имеют одинаковые значения и из рассмотрения для данной выборки исключаются. Объединены переменные: v_5 с v_6, v_8 с v_{11} . В результате рассматриваемая система описывается 7 переменными: v_1 - трудоемкость; v_2 -

Результаты расчетных и фактических значений трудоемкости

Трудоемкость фактическая (Тф), мин	38	40	46	48	66	78	96	98	114	138	172	172	178	217	217	222	245	251	296
Трудоемкость по алгоритму (Тс), мин	39	27	66	78	67	106	92	79	109	120	180	160	185	218	178	160	220	180	300
Номер детали	259	265	241	219	217	232	258	300	201	249	209	282	218	211	204	208	213	203	233

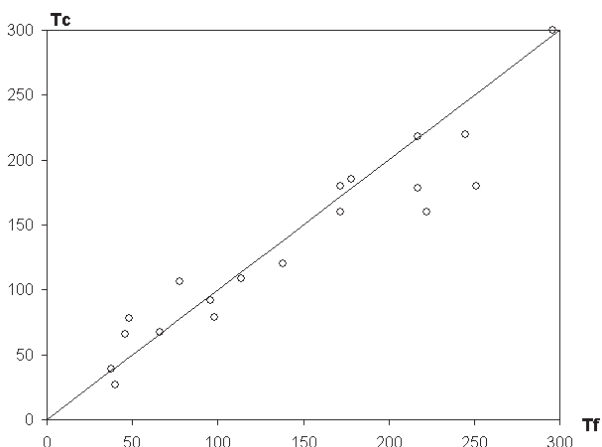


Рис. 1. Сравнение расчетных и фактических значений трудоемкости

Из рис. 1 следует, что предложенный алгоритм позволяет прогнозировать значения трудоемкости с достаточной точностью.

Проведем практическую реализацию метода нечеткой логики для определения трудоемкости деталей. На основе изложенных методов разработана информационная среда анализа и прогнозирования параметров многомерных систем. В частности, на основе имеющихся данных о характеристиках изделий прогнозируется трудоемкость деталей. В работе рассмотрена выборка из деталей объемом 41 шт.

переменная, характеризующая размеры изделия; v_3 - количество цилиндрических и резьбовых отверстий; v_4 - количество пазов и уступов; v_5 - количество линейных контуров; v_6 - количество сложных контуров; v_7 - количество фасок.

Для переменных $v_2 \div v_7$ разрешающая форма взята в виде значений 0 - низкое (L), 1 - среднее (M), 2 - высокое (H) и, соответственно, 3 терма.

В качестве переменной v_2 взята характерная площадь поверхности детали

$$v_2 = (ab + ac + bc) / 1000,$$

где a, b, c - длина, ширина, высота, мм.

Функция принадлежности и термы для этой переменной показаны на рис. 2. Остальные переменные $v_3 \div v_7$ также определяются на трех термах. Для переменной v_1 (трудоемкости в минутах) вид функции принадлежности представлен на рис. 3. В качестве изделия с определяемой трудоемкостью возьмем прижим, не включенный в выборку.

Значения переменных для данной детали: $v_2 = 5,9$; $v_3 = 3$; $v_4 = 4$; $v_5 = 0$; $v_6 = 1$; $v_7 = 0$. Рассчитанная скорректированная функция принадлежности показана на рис. 4.

Величина T_c на рис. 4 соответствует точечной оценке трудоемкости 128 мин. Фактическая

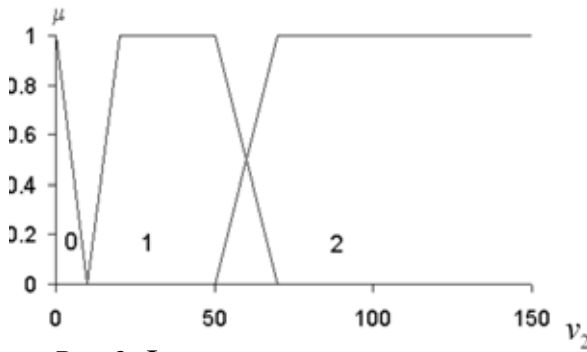


Рис. 2. Функции принадлежности термов второй переменной

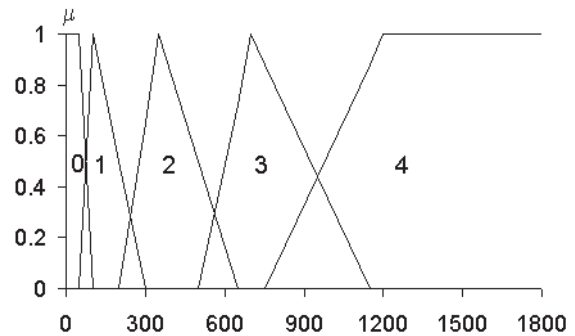


Рис. 3. Функции принадлежности термов трудоемкости

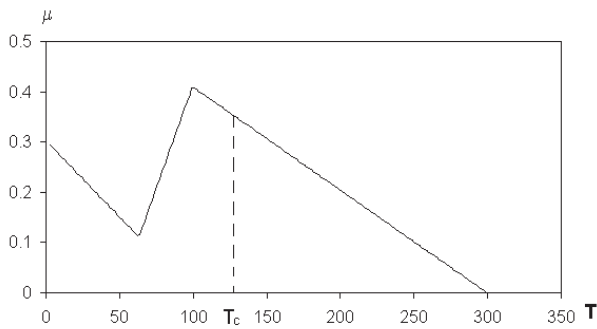


Рис. 4. Скорректированная функция принадлежности

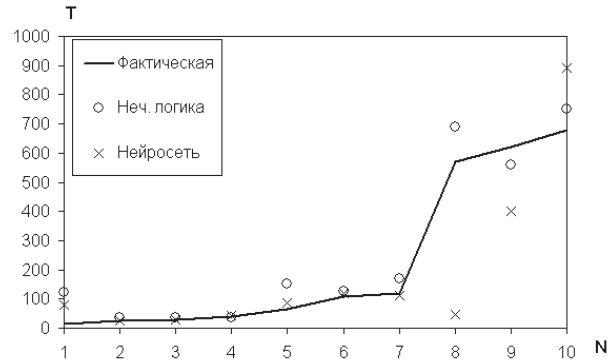


Рис. 5. Сравнение результатов определения трудоемкости, полученных различными методами

величина трудоемкости этой детали равна 110 мин. Спрогнозированная на основе нечеткой логики величина трудоемкости находится достаточно близко от фактического значения. Интересно сравнить результаты прогнозирования по изложенному методу с результатами применения интенсивно развивающихся в последнее время нейросетевых алгоритмов.

Применим для анализа программу Neural NetWork Wizard 1.5 разработки BaseGroup Lab. Исходная выборка из 41 детали была разделена на две части: 31 деталь - обучающая; 10 деталей - проверочная. На рис. 5 переменная N соответствует номеру детали в порядке возрастания фактической трудоемкости в проверочной выборке. Здесь же представлены значения трудоемкости, полученные изложенным в настоящей статье методом на основе нечеткой логики, а также результаты по нейросетевому алгоритму. Величины трудоемкости, рассчитанные по нейросетевому алгоритму, могут иметь "провальные" значения (деталь 8). Это связано с тем, что объем обучающей выборки сравнительно небольшой. Метод нечеткого вывода дает более стабильные результаты при том же объеме выборки. Качество прогнозирования по методу нечеткой логики можно еще повысить, если привлечь дополнительные правила, сформулированные экспертами.

Рассмотрим возможность обучения нечеткой

экспертной системы на соответствующей системе данных. Пусть некоторая система описывается переменными $u_i, i = \overline{1, m}$. Требуется по значениям переменных $u_i^0, i \neq k$ восстановить (спрогнозировать) значение переменной u_k^0 . Это задачи типа прогнозирования и восполнения данных³.

При наличии имеющихся опытных данных

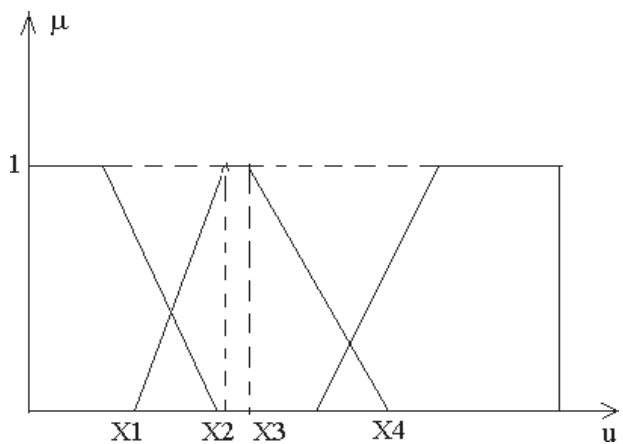


Рис. 6. Функции принадлежности в форме трапеций

параметры функций принадлежности можно подобрать в процессе обучения нечеткой системы. Для этого будем использовать функции принад-

лежности трапецеидальной формы, как это показано на рис. 6. Параметрами функций принадлежности будут являться значения X_1, X_2, X_3, X_4 для каждого термина. Обозначим эти параметры $X_{pi}^t, i = \overline{1, m}, t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4}$, где T_i - количество термов для переменной u_i . Вид правил также определяют границы термов $BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}$, которые в общем случае не совпадают с X_{1i}^t, X_{4i}^t .

Результатом алгоритма точечной оценки является результат u_k^0 , зависящий от правил и параметров $X_{pi}^t, BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4}$. Таким образом, определена функция $U = U(u_i^j, X_{hi}^t, BL_i^t, BR_i^t), j = \overline{1, n}$ или $U = U(Y)$, где Y - вектор, состоящий из переменных $X_{pi}^t, BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4}$. Для обучения строится целевая функция

$$F(Y) = \left[\sum_{j=1}^n \left(U(u_i^j, Y) - u_k^j \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \min, \quad (4)$$

минимизирующая среднеквадратическое отклонение между фактическими значениями u_i^j и полученными точечными оценками $U(Y)$ за счет изменения переменных $Y = \{X_{pi}^t, BL_i^t, BR_i^t, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T_i}; p = \overline{1, 4}\}$.

Для минимизации функции (4) применялся генетический алгоритм, использующий только значения целевой функции и решающий проблему наличия многих локальных экстремумов. Информационные системы, применяющие методы нечеткой логики, обеспечивают более устойчивое и полное представление имеющихся знаний о некотором объекте по сравнению с традиционными экспертными системами. Поэтому они нашли широкое применение в задачах принятия решений в условиях неопределенности.

Достоинствами нечетких экспертных систем являются: возможность параллельного выполнения имеющихся правил; множественность интерпретаций значений переменных, обеспечивающая суперпозицию состояний и возможность использования противоречивых правил; прогнозирование новых состояний рассматриваемой системы; описание проблемы и правил на естественном языке с использованием лингвистических переменных. В нечетких системах эксперты формируют правила и функции принадлежности. Особенно сложным этапом является выбор параметров, характеризующих функции принадлежности. При наличии системы данных желательно извлечь содержащиеся в ней знания и заменить этими знаниями опыт экспертов.

¹ Фролов Ю.В. Интеллектуальные системы и управленческие решения. М., 2000.

² Там же.

³ Лесин В.В., Лисовец Ю.П. Основы методов оптимизации. М., 1995.

Поступила в редакцию 09.01.2010 г.