

УПРАВЛЕНИЕ КАЛЕНДАРНЫМИ ПЛАНАМИ-ГРАФИКАМИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Бурдо Г.Б., Испирян С.Р., Мединцев С.В., Галкина М.В.
Тверской государственный технический университет, Тверь

Ключевые слова: машиностроение, многономенклатурное производство, управление технологическими процессами, нечеткие множества, календарный план-график, алгоритм.

Аннотация. В работе представлен подход к диспетчированию работы механообрабатывающих технологических подразделений машиностроительного единичного и мелкосерийного многономенклатурного производства. Определены входные и выходные нечеткие переменные, показаны их функции принадлежности, полученные на основе экспертных оценок. Дан алгоритм управления в виде нечетких правил. Показан пример реализации такого алгоритма.

WORK SCHEDULE MANAGEMENT BASED ON FUZZY CONTROL

Burdo G.B., Ispiryan S.R., Medintsev S.V., Galkina M.V.
Tver State Technical University, Tver

Keywords: mechanical engineering, multi-nomenclature production, technological processes management, fuzzy sets, work schedule, algorithm.

Abstract. This paper presents an approach to dispatching the work of machining technological departments in single- and small-batch multi-nomenclature mechanical engineering production. Input and output fuzzy variables are defined, and their membership functions, derived from expert assessments, are shown. A control algorithm in the form of fuzzy rules is presented, and an example of implementing such an algorithm is shown.

Под диспетчированием в машиностроении понимается отслеживание хода выполнения технологических процессов с целью приведения сроков их окончания в соответствии с требуемыми, или минимизировать их различие. Подавляющее большинство автоматизированных систем (АС) управления машиностроительными предприятиями мелкосерийного и единичного производства цехового уровня ориентированы лишь на фиксацию хода выполнения дискретных технологических процессов механической обработки (их календарных планов-графиков (КПГ)) за период интервала оперативного планирования (ИОП). При этом их основная функция – выработка управляющего воздействия на производственную систему остается прерогативой диспетчера. В единичном и мелкосерийном машиностроительном производстве проблема оперативного управления усугубляется большой номенклатурой заказов, одновременно находящихся в изготовлении, а также в связи с большим числом объективных и субъективных факторов, влияющих на фактические сроки выполнения заказов, таких как необходимость внесения изменений в конструкцию запущенных изделий и технологию их изготовления, поломки оборудования и режущего инструмента, задержки в выполнении части операций и технологий сторонними исполнителями, болезни рабочих, неточности нормирования технологий, брак при обработке, изменение в приоритетности заказов в связи с изменением сроков их выпуска и т.д.

Поэтому целью работы явилось создание АС, позволяющей вырабатывать рекомендации для цехового управленческого персонала в многономенклатурном производстве.

Модель диспетчирования технологических процессов

Считается что способы диспетчирования технологических процессов (ТПр) эффективны при знании точных временных затрат на технологические операции, и должны учитывать большое число параметров, что не характерно для многономенклатурного мелкосерийного и единичного производства.

Для этих производств возможно применение диспетчирования на основе аппарата нечетких множеств, в том случае, когда:

- 1) определение и учет параметров диспетчирования затруднен;
- 2) число рабочих мест в смене не более 35-40;
- 3) возможна относительная оценка выполнения КПП мастерами и диспетчерами;
- 4) мастера и диспетчеры имеют достаточную квалификацию [1-4].

Диспетчирование ведется по каждому типу и (или) группе станков.

Объект управления – календарные планы-графики выполнения технологических операций механической обработки (КПП).

Введем следующие входные лингвистические переменные:

$\{ X_I^1 \}$ – множество удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по i -му типу станков с начала диспетчирования – *рассогласование по типу станков*;

$\{ X_{IJ}^1 \}$ – множество удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по j -й группе i -го типа станков с начала диспетчирования – *рассогласование по группе станков*;

$\{ X_I^2 \}$ – множество средних удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по i -му типу станков за один ИОП – *скорость изменения рассогласования по типу станков*;

$\{ X_{IJ}^2 \}$ – множество средних удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по j -й группе i -го типа станков за один ИОП – *скорость изменения рассогласования по группе станков*;

$\{ X_I^3 \}$ – множество изменений удельных отклонений от КПП («-» – увеличение отставания (уменьшение опережения), «+» – уменьшение отставания (увеличение опережения)) по i -му типу станков за текущий ИОП – *удельное изменение по типу станков*;

$\{ X_{IJ}^3 \}$ – множество изменений удельных отклонений от КПП («-» – увеличение отставания (уменьшение опережения), «+» – уменьшение отставания (увеличение опережения)) по j -й группе i -го типа станков за текущий ИОП – *удельное изменение по группе станков*.

Выходные лингвистические переменные (управляющее воздействие):

$\{ Y_I \}$ – множество удельных разгрузок (-) или догрузок (+) по объемам работ по i -му типу станков за следующий ИОП – *скорость изменения объемов работ по типу станков*;

$\{Y_{IJ}\}$ – множество удельных разгрузок (-) или догрузок (+) по объемам работ по j -й группе i -го типа станков за следующий ИОП – *скорость изменения объемов работ по группе станков*.

Значения входных переменных:

$$\begin{aligned} \{X_I^1\} &= \{\Delta P_I / (N_I \times \Phi_I)\}; \{X_{IJ}^1\} = \{\Delta P_{IJ} / (N_{IJ} \times \Phi_{IJ})\}; \\ \{X_I^2\} &= \{X_I^1\} / q; \\ \{X_{IJ}^2\} &= \{X_{IJ}^1\} / q; \\ \{X_I^3\} &= \{(\Delta P_I^{Kq} - \Delta P_I^{Hq}) / (N_I \times \Phi_I)\}; \\ \{X_{IJ}^3\} &= \{(\Delta P_{IJ}^{Kq} - \Delta P_{IJ}^{Hq}) / (N_{IJ} \times \Phi_{IJ})\}, \end{aligned}$$

где $\Delta P_I, \Delta P_{IJ}$ – отставания (-) или опережения (+) КПГ по объемам работ в часах по i -му типу и по j -й группе i -го типа станков с начала диспетчирования; N_I, N_{ij} – среднее число работающих станков i -го типа и j -й группы i -го типа с начала диспетчирования, часов; q -номер текущего ИОП; Φ_I, Φ_{IJ} – фонд времени работы станка i -го типа и j -й группы с начала диспетчирования, часов; $\Delta P_I^{Kq}, \Delta P_I^{Hq}$ – отставания (-) или опережения (+) КПГ по объемам работ в часах по группе i -го типа станков на конец и начало q -го ИОП; $\Delta P_{IJ}^{Kq}, \Delta P_{IJ}^{Hq}$ – отставания (-) или опережения (+) КПГ по объемам работ в часах по j -й группе i -го типа станков на конец и начало q -го ИОП.

Размерность $\{X_I^1\}, \{X_I^3\}$ и $\{X_{IJ}^1\}, \{X_{IJ}^3\}$ – [1/станок за время диспетчирования], $\{X_I^2\}, \{X_{IJ}^2\}, \{Y_I\}, \{Y_{IJ}\}$ – [1/станок за один ИОП].

Смысл переменных $\{X_I^1\}$ и $\{X_{IJ}^1\}$ – отставание (опережение) в частях от фактического фонда каждого станка i -го типа и j -й группы i -го типа с начала диспетчирования;

$\{X_I^2\}, \{X_{IJ}^2\}$ – отставание (опережение) в частях от фактического фонда каждого станка i -го типа и j -й группы i -го типа с начала диспетчирования, приходящееся на один ИОП;

$\{Y_I\}$ и $\{Y_{IJ}\}$ – множество удельных разгрузок или догрузок каждого станка i -го типа и j -й группы i -го типа в следующем ИОП в частях от фактического фонда за один ИОП.

Входные переменные $X_I^1, X_{IJ}^1, X_I^2, X_{IJ}^2, X_I^3, X_{IJ}^3$ имеют по три термина – NB, ZR, PB , выходные Y_I и Y_{IJ} по пять: NB, NM, ZR, PM, PB .

Функции принадлежности входных и выходной переменных, полученные на основе экспертных оценок, с учетом особенностей реальной машиностроительной производственной системы приведены на рисунках 1-3.

Для условий других предприятий значения функций принадлежности следует уточнять.

Управление ведется по входам X_I^1, X_I^2, X_I^3 (выход Y_I) и (или) по входам $X_{IJ}^1, X_{IJ}^2, X_{IJ}^3$ (выход Y_{IJ}).

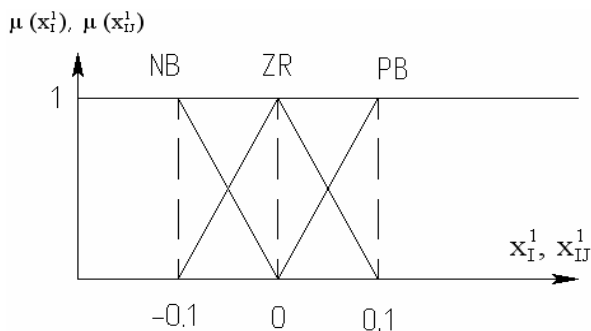


Рис. 1. Функции принадлежности μ входных переменных X_I^1 и X_{II}^1

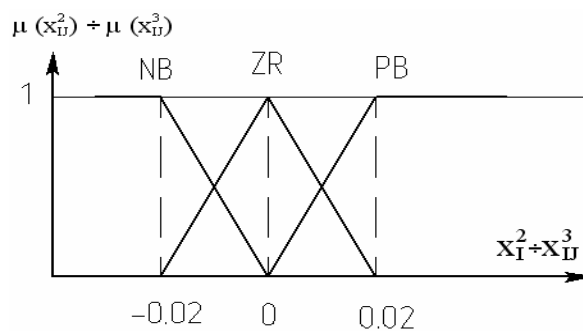


Рис. 2. Функции принадлежности μ входных переменных $X_I^2, X_{II}^2, X_I^3, X_{II}^3$

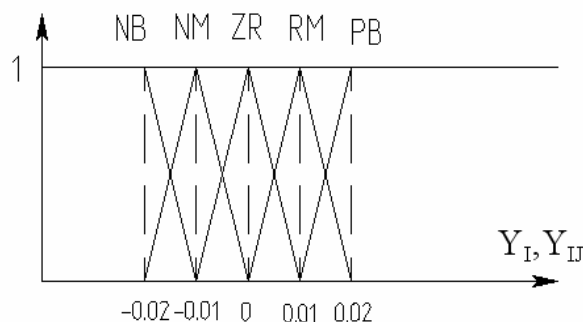


Рис. 3. Функции принадлежности μ выходных переменных Y_I и Y_{II}

Алгоритм управления представлен в виде следующих нечетких правил (индексы I, J опущены), обозначения соответствуют приведенным выше.

Выполнение возможных сценариев в производственной системе приводит к ситуациям – опережению либо отставанию сроков выполнения работ по типам и группам металлообрабатывающего оборудования, и к накоплению либо сокращению отставания (опережения), отличающихся лишь знаком. Эти ситуации, сложившиеся в результате выполнения сценариев в производственной системе, и являются подусловиями в базе правил продукционной модели.

1. Если $X^1=ZR$ и $X^2=ZR$ и $X^3= ZR$,то $Y=ZR$ или
2. Если $X^1=ZR$ и $X^2=ZR$ и $X^3=NB$,то $Y=PM$ или
3. Если $X^1=ZR$ и $X^2=ZR$ и $X^3=PB$,то $Y=PM$ или
4. Если $X^1=ZR$ и $X^2=PB$ и $X^3=ZR$,то $Y=ZR$ или
5. Если $X^1=ZR$ и $X^2=PB$ и $X^3=PB$,то $Y=ZR$ или
6. Если $X^1=ZR$ и $X^2=PB$ и $X^3=NB$,то $Y=PM$ или
7. Если $X^1=ZR$ и $X^2=NB$ и $X^3=ZR$,то $Y=ZR$ или
8. Если $X^1=ZR$ и $X^2=NB$ и $X^3=PB$,то $Y=ZR$ или
9. Если $X^1=ZR$ и $X^2=NB$ и $X^3= NB$,то $Y=PM$ или
10. Если $X^1=PB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=ZR$,то $Y=ZR$ или
11. Если $X^1=PB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=NB$,то $Y=PM$ или
12. Если $X^1=PB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=PB$,то $Y=ZR$ или
13. Если $X^1=PB$ и $X^2=PB$, то $Y=ZR$ или
14. Если $X^1=NB$ и $X^2=NB$, то $Y=PB$ или
15. Если $X^1=NB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=ZR$,то $Y=PB$ или
16. Если $X^1=NB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=NB$,то $Y=PB$ или
17. Если $X^1=NB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=PB$,то $Y=PM$.

Агрегатирование подусловий остальных правил дает нулевую функцию принадлежности, правила 13 и 14 поглощают по два каждое. Если при управлении одновременно выполняется:

$$1) \mu(X^1=PB)>0 \text{ и } \mu(X^2=NB) \text{ или}$$

2) $\mu(X^1=NB)>0$ и $\mu(X^2=PB)>0$, то АС должна выдавать сообщение об ошибке во входных параметрах.

Для фазизической конъюнкции подусловий применяется правило минимума, для нахождения функций совместной принадлежности – правило нечеткой импликации Мамдани, для дефазификации управляющего воздействия – центроидный метод.

Причины отклонений от КПП выявляются пока неавтоматизированным способом, алгоритмы их распознавания находятся в стадии разработки. Как можно увидеть, входная информация системы может быть задана мастерами или диспетчерами соответствующей квалификации.

Система прошла опытную апробацию.

На основе анализа предпринимаемых действий, подсказанных системой, и результатов воздействия принципиально возможна корректировка значения управляющего воздействия (оно приблизительно обратно пропорционально срокам введения производственной системы в норму). Для представленного ниже в статье примера, он равнялся двум интервалам оперативного планирования, т.е. двум неделям, и определялся реальными возможностями по увеличению производственных мощностей по механической обработке.

Пример диспетчирования технологических процессов

Определение управляющего воздействия показано на примере изготовления четырех заказов на 33 рабочих местах.

По результатам диспетчирования за два интервала оперативного планирования были заданы следующие величины входных переменных:

$\{X_I^1\}$: $X_1^1=0,06$; $X_2^1=0,02$; $X_3^1=0,02$ (три типа станков: токарные, фрезерные, координатно-расточные);

$$\{X_{IJ}^1\}: X_{11}^1=0,04; X_{12}^1=0,07; (2 \text{ группы}); X_{21}^1=0,017; X_{22}^1=0,022; (2 \text{ группы});$$

$$\{X_I^2\}: X_1^2=-0,015; X_2^2=0,005; X_3^2=-0,024;$$

$$\{X_{IJ}^2\}: X_{11}^2=-0,016; X_{12}^2=-0,08; X_{21}^2=0,007; X_{22}^2=0,004;$$

$$\{X_I^3\}: X_1^3=-0,005; X_2^3=-0,01; X_3^3=-0,017;$$

$$\{X_{IJ}^3\}: X_{11}^3=-0,005; X_{12}^3=-0,005; X_{21}^3=-0,009; X_{22}^3=-0,012.$$

В среде «MathLab» [5] были получены следующие управляющие воздействия.

$\{Y_I\}$: $Y_1=0,0114$; $Y_2=0,00485$; $Y_3=0,00989$ – множество удельных догрузок по объемам работ по i -му типу станков за следующий ИОП.

$\{Y_{IJ}\}$: $Y_{11}=0,0121$; $Y_{12}=0,0097$; $Y_{21}=0,00411$; $Y_{22}=0,00543$ – множество удельных догрузок по объемам работ по j -й группе i -го типа станков за следующий ИОП – скорость изменения объемов работ (рис. 4).

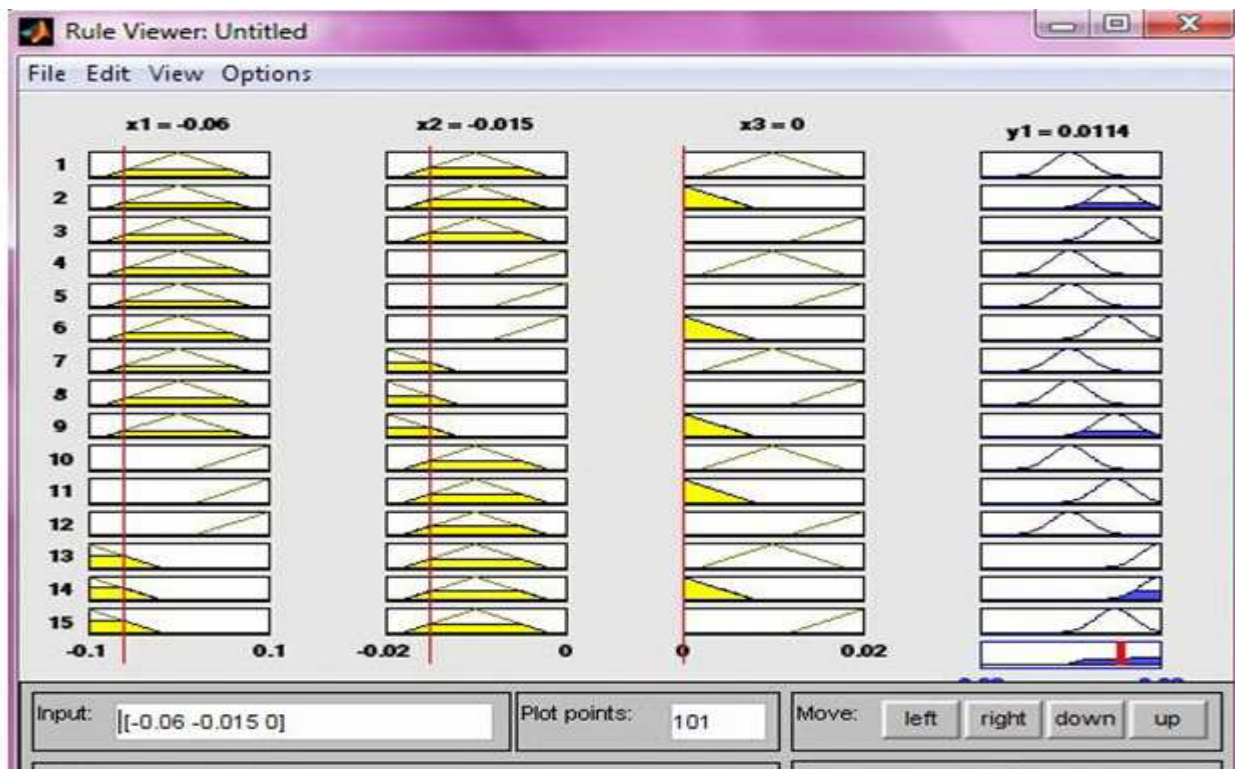


Рис. 4. Реализация в среде «MathLab»

По результатам обработки управляющих воздействий, в следующем интервале оперативного планирования отставания по данным типам и группам станков уменьшились на величину от 64 до 48%.

Список литературы

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
2. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Тэрано Т., Асаи К. Сугэно М. – М.: Мир, 1993. – 363 с.
3. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика; Инфра-М, 2010. – 432 с.
4. Zadeh L.A. Fuzzy probabilities // Information Processing and Management. 1984, vol. 3, pp. 363-372.
5. Дьяков В.П., Круглов В.В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.

Сведения об авторах:

Бурдо Георгий Борисович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения»;

Испирян Светлана Рафаиловна – к.т.н., доцент, доцент;

Мединцев Станислав Викторович – к.т.н., старший преподаватель;

Галкина Марина Владимировна – старший преподаватель.