

АЛГОРИТМЫ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Г.Б. БУРДО, д-р техн. наук

Тверской государственной технической университет,
170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gbtms@yandex.ru

© Бурдо Г.Б., 2020

Представлен подход к диспетчированию работы механообрабатывающих технологических подразделений машиностроительного единичного и мелкосерийного многономенклатурного производства. Даны алгоритмы диспетчирования технологических процессов, основанные на аппарате нечеткого управления. Определены входные и выходные нечеткие переменные, показаны их функции принадлежности, алгоритм управления в виде нечетких правил. Приведен пример реализации этого алгоритма.

Ключевые слова: машиностроительное многономенклатурное производство, диспетчирование, производственные правила, технологический процесс.

DOI: 10.46573/2658-5030-2020-3-88-96

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроительное производство (как и любое другое) нуждается в планировании. Традиционно применяются три вида планирования: объемное планирование по совокупному выполняемым работ на достаточно большие периоды; календарное планирование – распределение всего объема работ во времени (на срок до недели-десяти дней); оперативное планирование на глубину до десяти дней – распределение станочных работ по рабочим местам с привязкой по времени.

Для осуществления управления технологическими процессами (ТПр) предусматривается обратная связь по времени начала и окончания выполнения операций на рабочих местах технологических подразделений – диспетчирование.

Таким образом, в машиностроительном производстве диспетчирование – это оценка и анализ сроков выполнения ТПр, имеющие целью приведение в соответствие планируемых и фактических времен выполнения операций ТПр.

К сожалению, применяемые в настоящее время автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), применяемые в многономенклатурном машиностроительном производстве (ММП), как правило, предназначены лишь для фиксации графиков выполнения технологических операций в период интервала оперативного планирования (ИОП). Спланированные ранее графики выполнения операций, называемые календарными планами-графиками (КПГ), и являются объектом управления. Однако промышленные АСУТП не имеют в своем составе инструментальных средств, позволяющих управлять дискретными ТПр, поэтому выработкой управляющих действий занимаются цеховые диспетчеры.

Можно отметить, что в ММП действует большое число возмущающих факторов, так как они весьма динамичны по ряду параметров (большому числу заказов, изменению сроков их выполнения и т. д.), что весьма затрудняет принятие решений цеховыми работниками. Поэтому авторами исследования ставилась задача повышения качества принимаемых решений при управлении ТПр.

АЛГОРИТМ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Принято полагать, что диспетчирование времен выполнения операций целесообразно выполнять при знании точных временных параметров ТПр, которые отражают множество параметров. Однако в единичном и мелкосерийном производстве не предполагается закрепление операций за рабочими местами, а лишь за типом станков в пределах группы. В этом случае выполняется диспетчирование не по рабочим местам, а по группам и типам оборудования с использованием аппарата нечеткого управления [1–4].

Рассматриваемую методику диспетчирования целесообразно применять в следующих случаях:

- 1) выявление и анализ строгих данных диспетчирования невозможен;
- 2) общее число типов станков в пределах всех групп не более 40;
- 3) линейные мастера и диспетчеры имеют квалификацию не ниже средней.

В основу положены разработанные ранее [5, 6] процедуры диспетчирования.

Диспетчирование, как указывалось выше, осуществляется по типам и группам металлорежущего оборудования.

Объект управления – времена начала и окончания операций механической обработки, т. е. КПП.

Предлагаются следующие входные данные – входные лингвистические переменные:

$\{X_i^1\}$ – множество относительных запаздываний (–) или опережений (+) КПП по станочным работам по i -му типу металлорежущего оборудования от начала ведения диспетчирования – *расхождение КПП по типу металлорежущего оборудования*;

$\{X_{ij}^1\}$ – множество относительных запаздываний (–) или опережений (+) КПП по станочным работам по i -му типу j -й группы металлорежущего оборудования от начала ведения диспетчирования – *расхождение КПП по группам металлорежущего оборудования*;

$\{X_i^2\}$ – множество средних относительных запаздываний (–) или опережений (+) КПП по объемам работ по i -му типу металлорежущего оборудования за один интервал оперативного планирования – *скорость изменения расхождения по типу металлорежущего оборудования*;

$\{X_{ij}^2\}$ – множество средних относительных запаздываний (–) или опережений (+) КПП по объемам работ по i -му типу j -й группы металлорежущего оборудования за один интервал оперативного планирования – *скорость изменения расхождения по группе металлорежущего оборудования*;

$\{X_i^3\}$ – множество изменений относительных отступлений от КПП («–» – наращивание запаздывания (сокращение опережения); «+» – сокращение запаздывания (наращивание опережения)) по i -му типу металлорежущего оборудования за текущий интервал оперативного планирования – *относительное изменение по типу металлорежущего оборудования*;

$\{X_{ij}^3\}$ – множество изменений относительных отступлений от КПП («–» – наращивание запаздывания (сокращение опережения); «+» – сокращение запаздывания (наращивание опережения)) по j -й группе i -го типа металлорежущего оборудования за текущий интервал оперативного планирования – *относительное изменение по группе металлорежущего оборудования*.

Выходные управляющие воздействия – выходные лингвистические переменные:

$\{ Y_i \}$ – множество относительных уменьшений (–) или увеличения планов (+) по объемам станочных работ по i -му типу металлорежущего оборудования на последующий выполняемый интервал оперативного планирования – *скорость модификации объемов станочных работ по типу станочного оборудования*;

$\{ Y_{ij} \}$ – множество относительных уменьшений (–) или увеличения планов (+) по объемам станочных работ по j -й группе i -го типа станков на последующий выполняемый интервал оперативного планирования – *скорость модификации объемов станочных работ по группе станочного оборудования*.

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 $\Delta P_i, \Delta P_{ij}$ – запаздывание (–) или более быстрое выполнение (+) КПП по объемам станочных работ, станко-ч, по i -му типу и по j -й группе i -го типа металлорежущего оборудования с момента осуществления диспетчирования; N_i, N_{ij} – среднее число функционирующих единиц станочного оборудования i -го типа и j -й группы i -го типа с момента осуществления диспетчирования, станко-ч; q – номер настоящего интервала оперативного планирования; Φ_i, Φ_{ij} – фактические фонд времени работы станочного оборудования i -го типа и j -й группы от момента выполнения диспетчирования, ч; $\Delta P_i^{Kq}, \Delta P_i^{Hq}$ – запаздывания (–) или более быстрое выполнение (+) КПП по объемам станочных работ, станко-ч, по группе i -го типа металлорежущего оборудования на момент окончания и начала q -го интервала оперативного планирования; $\Delta P_{ij}^{Kq}, \Delta P_{ij}^{Hq}$ – запаздывания (–) или более быстрое выполнение (+) КПП по объемам работ, станко-ч, по j -й группе i -го типа металлорежущих станков на момент окончания и начала q -го интервала оперативного планирования.

Скажем несколько слов о размерности введенных переменных.

У переменных $\{ X_i^1 \}, \{ X_i^3 \}$ и $\{ X_{ij}^1 \}, \{ X_{ij}^3 \}$ размерность – [1/единицу станочного оборудования за интервал диспетчирования], у переменных $\{ X_i^2 \}, \{ X_{ij}^2 \}, \{ Y_i \}, \{ Y_{ij} \}$ – [1/единицу станочного оборудования за один интервал оперативного планирования].

Физический смысл переменных $\{ X_i^1 \}$ и $\{ X_{ij}^1 \}$ – запаздывание или более раннее выполнение как часть от фактического фонда времени каждой единицы станочного оборудования i -го типа и j -й группы i -го типа от начала ведения диспетчирования; а переменных $\{ X_i^2 \}, \{ X_{ij}^2 \}$ – запаздывание или более раннее выполнение как часть от фактического фонда времени каждой единицы станочного оборудования i -го типа и j -й группы i -го типа от начала ведения диспетчирования, отнесенное к одному интервалу оперативного планирования.

Переменные $\{ Y_i \}$ и $\{ Y_{ij} \}$ – множество уменьшений или увеличений объемов планов, приходящееся на каждую единицу оборудования i -го типа и j -й группы i -го

типа в последующем интервале оперативного планирования, как часть фактического фонда времени за один интервал оперативного планирования.

Входные переменные продукционных правил $X_I^1, X_{II}^1, X_I^2, X_{II}^2, X_I^3, X_{II}^3$ имеют по три терма (NB, ZR, PB), выходные переменные Y_I и Y_{II} – по пять (NB, NM, ZR, PM, PB).

Функции принадлежности входных и выходной переменных, полученные с помощью экспертов, показаны на рис. 1–3.

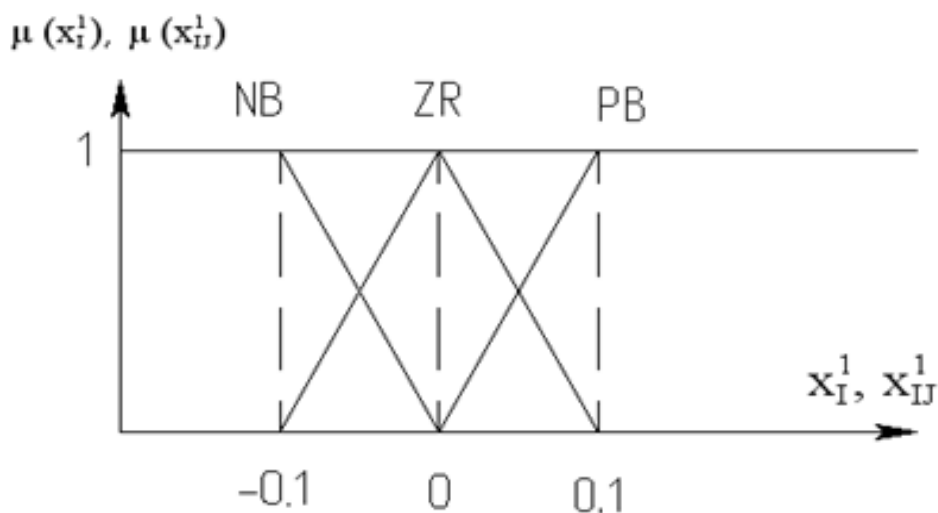


Рис. 1. Функции принадлежности μ входных переменных X_I^1 и X_{II}^1

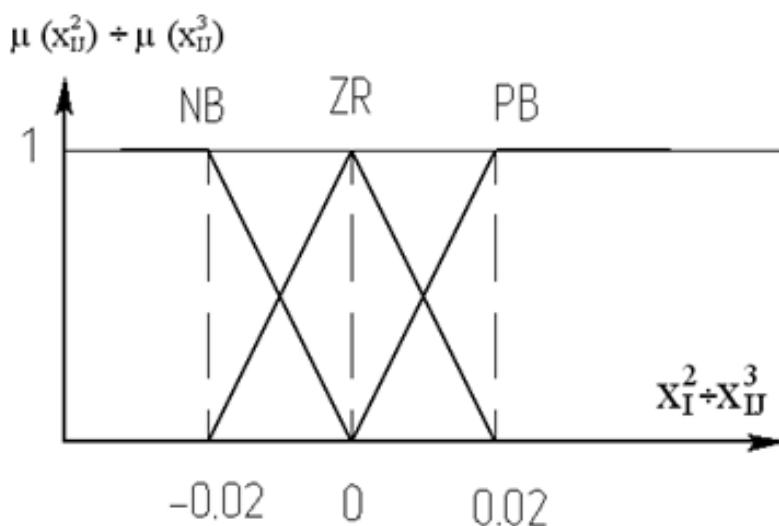


Рис. 2. Функции принадлежности μ входных переменных $X_I^2, X_{II}^2, X_I^3, X_{II}^3$

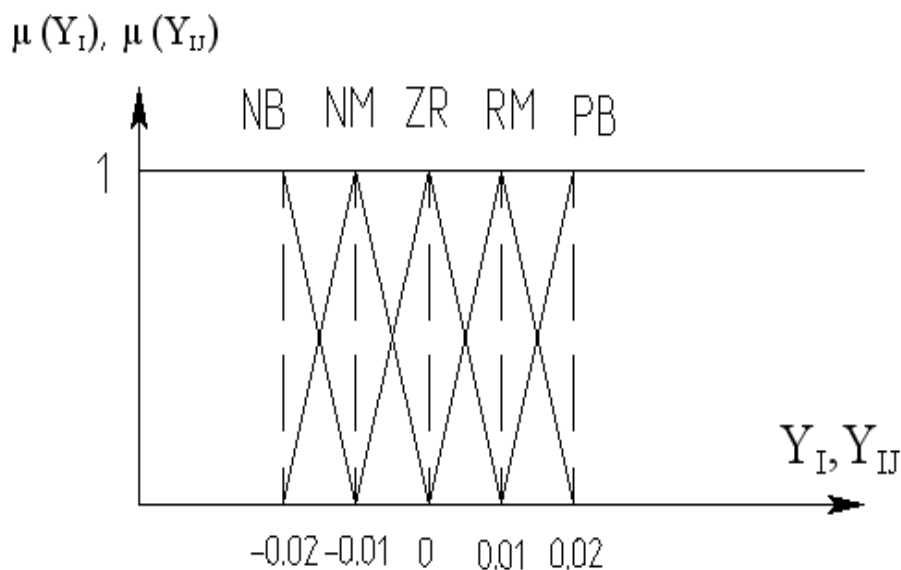


Рис. 3. Функции принадлежности μ выходных переменных Y_I и Y_{II}

Если говорить о применении методики в условиях других машиностроительных предприятий, то необходимо отметить, что в этом случае значения функций принадлежности следует уточнить.

В формальной постановке задачи управление ТПр осуществляется по входным параметрам X_I^1, X_I^2, X_I^3 (выход Y_I) и (или) по входным параметрам $X_{II}^1, X_{II}^2, X_{II}^3$ (выход Y_{II}).

Предложена база знаний для управления технологическими процессами, представленная перечисленными ниже нечеткими правилами (индексы I, J опущены).

Осуществление различных вариантов действий в производственной системе приводит к запаздыванию либо более раннему выполнению запланированных КПГ по каждому типу и группе станков, а также к увеличению либо уменьшению запаздывания (опережения).

База знаний выглядит следующим образом.

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 $Y = PM$.

Если выполняются условия 1) $\mu(X^1 = PB) > 0$ и $\mu(X^2 = NB)$ или 2) $\mu(X^1 = NB) > 0$ и $\mu(X^2 = PB) > 0$, то выдается комментарий об ошибке во входных параметрах.

При фази-логической конъюнкции подусловий используется правило минимума, при определении функций совместной принадлежности – правило нечеткой импликации Мамдани, для дефазификации выходного параметра – центроидный метод.

Предполагается задание входной информации в АСУТП линейными мастерами или диспетчерами необходимой квалификации.

Реализуя управляющие воздействия, добиваются введения производственной системы в норму. Сроки введения в расчетные КПП зависят от возможностей увеличения производственных мощностей по механообработке.

ПРИМЕР ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Покажем выявление управляющего воздействия на конкретном примере (рис. 4).

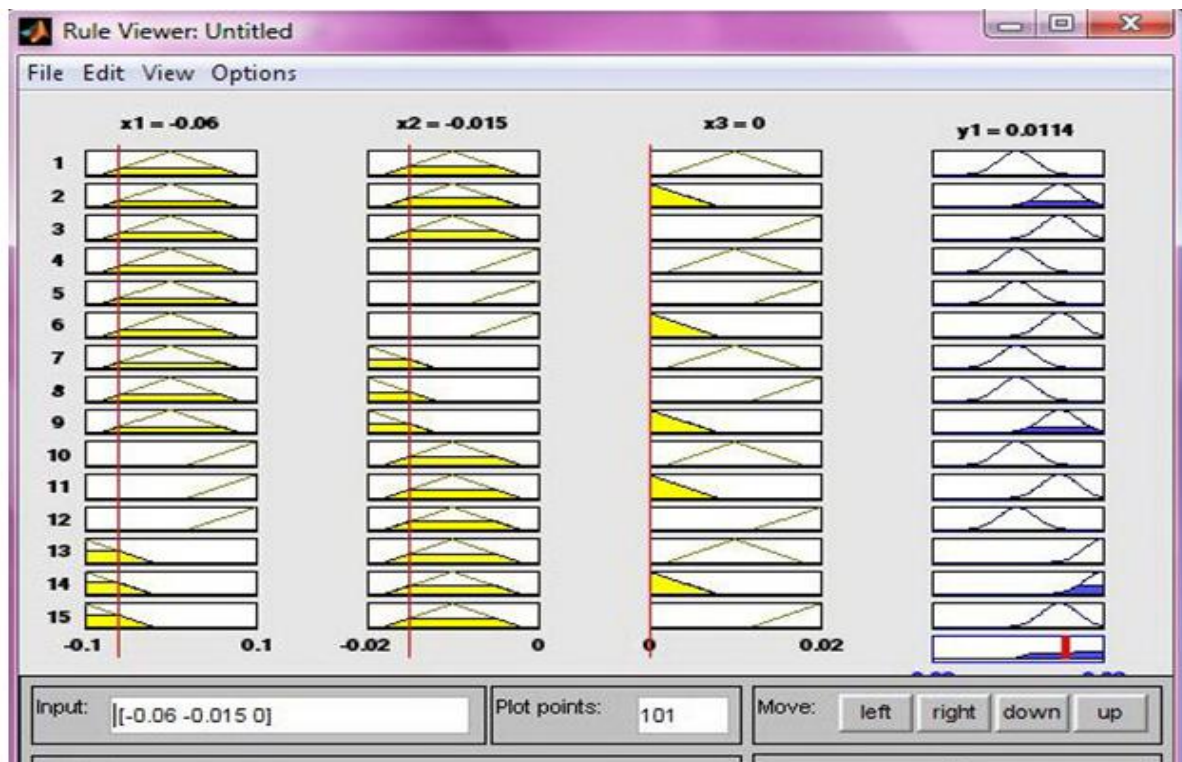


Рис. 4. Реализация в среде MATLAB

По данным выполнения процедур диспетчирования за два ИОП были получены следующие значения входных переменных:

$\{X^1_I\}$: $X^1_1 = 0,06$; $X^1_2 = 0,02$; $X^1_3 = 0,02$ (три типа станков: токарные, фрезерные, координатно-расточные);

$\{X^1_U\}$: $X^1_{11} = 0,04$; $X^1_{12} = 0,07$ (две группы); $X^1_{21} = 0,017$; $X^1_{22} = 0,022$ (две группы);

$\{X^2_I\}$: $X^2_1 = -0,015$; $X^2_2 = 0,005$; $X^2_3 = -0,024$;

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

$\{X^3_I\}$: $X^3_1 = -0,005$; $X^3_2 = -0,01$; $X^3_3 = -0,017$;

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

В среде MATLAB [5] были сформированы управляющие действия (выходные параметры).

$\{Y_I\}$: $Y_1 = 0,0114$; $Y_2 = 0,00485$; $Y_3 = 0,00989$ – множество относительных увеличений планов по станочным работам по i -му типу станочного оборудования за последующий интервал оперативного планирования.

$\{Y_{II}\}$: $Y_{11} = 0,0121$; $Y_{12} = 0,0097$; $Y_{21} = 0,00411$; $Y_{22} = 0,00543$ – множество относительных увеличений объемов станочных работ по j -й группе i -го типа металлорежущего оборудования за последующий интервал оперативного планирования (см. рис. 4).

Реализация полученных управляющих воздействий привела к сокращению отставания по рассматриваемым типам станков на 28 % за следующий ИОП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика отличается простотой и позволяет управлять загрузкой металлорежущего оборудования по типам и группам.

Управление загрузкой отдельных рабочих мест не предусматривается ввиду того, что в единичном и мелкосерийном производстве оно не реализуется. Это связано с тем, что закрепление операций за рабочими местами на этапе проектирования ТПр не выполняется.

Методика достаточна прозрачна и понятна линейным мастерам средней квалификации, однако в то же время является весьма эффективным рычагом управления производством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
2. Прикладные нечеткие системы / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. 368 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. V. 3. P. 363–372.
5. Бурдо Г.Б. Принципы построения автоматизированной системы управления технологическими процессами в многономенклатурных производствах // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2010. № 3 (48). С. 113–118.
6. Burdo G. Improving the technological preparations for manufacturing production // *Russian Engineering Research*. 2017. V. 37. № 1. P. 49–56.
7. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 480 с.

Для цитирования: Бурдо Г.Б. Алгоритмы диспетчирования работы производственных подразделений // *Вестник Тверского государственного технического университета*. Серия «Технические науки». 2020. № 3 (7). С. 88–95.

DISPATCHING ALGORITHMS FOR THE PRODUCTION UNITS WORK

G.B. BURDO, Dr. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail:gbtms@yandex.ru

Presents the approach to dispatching the work of mechanical processing technological divisions of machine-building single and small-scale multi-product production plants. Algorithms for technological processes dispatching based on the fuzzy control method are shown. Input and output fuzzy variables are defined and their membership functions are shown. The control algorithm is given in the form of fuzzy rules. An example of the algorithm implementation is shown.

Keywords: machine-building multi-nomenclature production, dispatching, production rules, technological process.

REFERENCES

1. Zade L. Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yeye primeneniye k ponyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to the concept of approximate solutions]. Moscow: Mir, 1976. 165 p.
2. Prikladnyye nechetkiye sistemy [Applied fuzzy systems], under the editorship of T. Terano, K. Asai, M. Sugeno. Moscow: Mir, 1993. 368 p.
3. Rybina G.V. Osnovy postroyeniya intellektualnykh sistem: uchebnoye posobiye [Fundamentals of building intelligent systems: textbook]. Moscow: Finansy i statistika; Infra-M, 2010. 432 p.
4. Zadeh L.A. Fuzzy probabilities. *Information processing and management*. 1984. V. 3, pp. 363–372.
5. Burdo G.B. The principles of building an automated process control system in multinomenclature production. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. No. 3 (48), pp. 113–118. (In Russian).
6. Burdo G. Improving the technological preparations for manufacturing production. *Russian Engineering Research*. 2017. V. 37. No. 1, pp. 49–56.
7. Dyakonov V.P., Kruglov V.V. Matematicheskiye pakety rasshireniya MATLAB: spetsialnyy spravochnik [Mathematical expansion packages MATLAB: special reference]. St. Petersburg: Piter, 2001. 480 p.

Поступила в редакцию/received: 07.05.2020; после рецензирования/revised: 01.07.2020;
принята/accepted 03.08.2020