

ется резерв фонда времени по каждой указанной группе (РГ_г) И суммарный: $\{РГ_i\} = \{\sum_1^d (\Delta P1_{lqi})\}$.

Резерв определяет величины станкоемкостей работ, которыми можно догрузить группы оборудования технологического подразделения.

ПР3. ЕСЛИ ($\{РГ_i\} > 0$ И есть локальные резервы), ТО догрузить группы станков с $РГ_i > 0$.

ПР4. ЕСЛИ ($\{РГ_i\} > 0$ И нет локальных резервов у мастеров), ТО передать работы из (q+1)-го ИОП.

ПР5. ЕСЛИ $\Delta P5(t_k) > [\Delta P5]$, ТО имеются отставания от планового КПП. Далее выясняется момент появления отставания путем сравнения состояния с предыдущим $k = k - 1$ по объемным и средним отклонениям.

ПР6. ЕСЛИ (выполняются

$$У1) \Delta P5(t_k) - \Delta P5(t_{k-1}) \leq [\Delta P5] \text{ И}$$

$$У2) \Delta P6(t_k) / \Delta P6(t_{k-1}) = 0,9, \dots, 1,1), \quad (2)$$

ТО накопление отставания за k-ю смену не происходило.

Далее сравнивается текущее состояние с состоянием t_0 запуска.

ПР7. ЕСЛИ (выполняются

$$У1) \Delta P5(t_k) - \Delta P2(t_0) \leq [\Delta P5] \text{ И}$$

$$У2) \Delta P6(t_k) / \Delta P6(t_0) = 0,9, \dots, 1,1), \quad (3)$$

ТО (отставание получилось за счет невыполнения сроков запуска И необходимо число дополнительных смен, $\{C_{ли}\}$).

Определяются объемы множества отставаний работ по каждому типу станков j – необходимый дополнительный фонд работы $\Phi_{dj} = \sum_i \Delta P4_{lqi}$, делением на 8 получают необходимое число дополнительных смен по каждому типу оборудования для сокращения отставания: $C_{ли} = \Phi_{dj} / 8$.

ПР8. ЕСЛИ (в (2) И (3) не выполняется условие У1) или У2), ТО переход в «ручной» режим (некорректная ситуация, вызванная вводом неверных данных).

ЕСЛИ (ПР7 неверна) (то есть состояние t_k отлично от предшествующего), ТО далее анализируются причины.

ПР9. ЕСЛИ (состояние t_k отлично от предшествующего t_{k-1}) И $\alpha 1(t_k) \leq \alpha 2(t_k)$ (то есть фактический фонд времени работы был больше), ТО (множество оцениваемых причин: неверная оценка времен, неудовлетворительная работа мастеров, простой по организационным причинам).

ПР10. ЕСЛИ (состояние t_k отлично от предшествующего t_{k-1} И выполняется:

$$\alpha 1(t_k) > \alpha 2(t_k), \quad (4)$$

ТО (ЕСЛИ

$$0,9 \times \Delta P5(t_k) \leq \Phi 1(t_k) \geq \Phi 2(t_k) \times K_3) \quad (5)$$

(оцениваются возможные отставания за счет уменьшения фонда времени работы: где K_3 – средний коэффициент загрузки) – **ПР11**), ИНАЧЕ

ПР12.

ПР11. ЕСЛИ условие (5) выполняется, ТО (отставание от КПП произошло из-за отличия фондов времени), ИНАЧЕ из-за отличия фондов времени и организационных потерь. Рассчитывается коэффициент веса оргпотерь (K_o) по отношению к общим потерям:

$$K_o = (\Delta P_T^K(t_T) - K_3 \times (\Phi_o^P(t_T) - \Phi_o^Ф(t_T))) / (K_3 \times (\Phi_o^P(t_T) - \Phi_o^Ф(t_T))).$$

ПР12. ЕСЛИ выполняется (4), ТО (анализируются фонды времени работы оборудования по типам и группам). Попарно сравниваются коэффициенты $\alpha 3_j$ и $\alpha 4_{Tj}$:

$$\forall j, (j=1, n), (\alpha 4_j(t_k) / \alpha 3_j(t_k)) \geq 1,05, \quad (6)$$

где 1,05 определяет возможное повышение выработки за счет реализации локальных резервов и перевыполнения норм. Такие типы станков запоминаются (индексы $\{j'\} \in \{j\}$). Выявленные j' -е типы далее проверяются по соотношению $\alpha 6_{ji}$ и $\alpha 5_{ji}$ для i -х групп:

$$\forall j_i, i = \overline{1, m}, (\alpha 6_{j_i}(t_k) / \alpha 5_{j_i}(t_k)) > 1,05). \quad (7)$$

Отвечающие условию $\{j'\} \in \{j\}$ запоминаются. ЕСЛИ (выявленные множества $\{j'\}$ и $\{i'\}$ определяют более 80 % отставания от КПП), то есть

$$\sum_{j'} \sum_{i'} (\Delta P6_{j_i'}) \geq 0,8 \times \Delta P6, \quad (8)$$

ТО анализу подлежат только они.

0,8 взято исходя из плановой загрузки станков, возможности устранения остальных отставаний за счет локальных резервов. Далее определяются отличия фондов времени по группам и по типам:

$$\{\Delta \Phi_{j_i'}(t_k)\} = \{\Phi 1_{j_i'}(t_k) - \Phi 2_{j_i'}(t_k)\},$$

$$\{\Delta \Phi_{j'}(t_k)\} = \{\Phi 1_{j'}(t_k) - \Phi 2_{j'}(t_k)\} = \sum_i \Phi_{j_i'}(t_k).$$

По каждой группе и типу станков находятся $\beta_{j_i'}(t_k)$ и $\beta_{j'}(t_k)$, определяющие соотношение фондов времени:

$$\beta_{j_i'}(t_k) = \Delta \Phi_{j_i'}(t_k) / \Phi 2_{j_i'}(t_k);$$

$$\beta_{j'}(t_k) = \Delta \Phi_{j'}(t_k) / \Phi 1_{j'}(t_k). \quad (9)$$

ПР13. ЕСЛИ $\beta_{j'}(t_k) < 0,1$ (0,1 учитывает возможности производства по ликвидации отставаний от КПП), ТО (необходимы мобилизация локальных резервов, допущение переработок в пределах $\Delta \Phi_{j_i'}$ И перераспределение работ между взаимозаменяемыми типами или группами станков с учетом $\{\beta_{j_i'}\}$).

ПР14. ЕСЛИ $\beta_{j'}(t_k) \geq 0,1$, ТО (возможно принятие решений из следующих: 1) работа в выходные дни, следующие за ИОП, по группам оборудования, 2) увеличение фактического фонда времени работы оборудования путем отзыва из отпусков рабочих, приема на работу и т.д., 3) приобретение оборудования и прием рабочих при отсутствии свободного оборудования, то есть создание дополнительных рабочих мест по типам $\Delta P M_j$ и группам

ΔPM_{ji} станков; 4) передача части работ другим технологическим подразделениям или сторонним организациям).

1-е решение возможно, если

$$(\beta_{ji}(t_k) > 0,1) \wedge ((\Delta\Phi_{ji}(t_k)) / 8) \leq 2) \quad (2 \text{ смены}).$$

Дополнительное число рабочих по типам оборудования, $\Delta C_j(t_k)$: $\{\Delta C_j(t_k)\} = \{\Phi_{j'}(t_k) / (8 \times m)\}$, (m – индекс дня ИОП (1, 2 и т.д.)), и группам: $\{\Delta C_{ji}(t_k)\} = \{\Delta\Phi_{ji}(t_k) / (8 \times m)\}$;
 $\sum (\Delta C_{ji}(t_k) = \Delta C_j(t_k))$.

2-е решение возможно, если

$$(\beta_{ji}(t_k) > 0,1) \wedge ((\Delta\Phi_{ji}(t_k) / 8) > 2).$$

Прерогатива принятия **решений 3 и 4** (объемы передаваемых работ пропорциональны величинам $\Delta\Phi_{ji}(t_k)$) – высшее управленческое звено фирмы. Решение 1 может быть принято на основе анализа 1–2 ИОП, решение 2 требует анализа 3–5 ИОП, для решений 3 и 4 необходим анализ в течение 1–2 месяцев.

ПР 15. ЕСЛИ (неверны (6) ИЛИ ((7) И (8)), ТО (переход к анализу различия фондов времени по типам и группам оборудования:

$$\{\Delta\Phi_{ji}(t_k)\} = \{\Phi 1_{ji}(t_k) - \Phi 2_{ji}(t_k)\};$$

$$\{\Delta\Phi_j(t_k)\} = \{\Phi 1_j(t_k) - \Phi 2_j(t_k)\}$$

И определяют коэффициенты $\beta_{ji}(t_k)$ и $\beta_j(t_k)$ по (9)). Дальнейший анализ ситуации выполняется аналогично. Заметим, что все приведенные числовые значения справедливы для условий базового предприятия, уточняются на основе опыта работы системы и для других предприятий могут быть рекомендованы как начальные. Некоторые отличия имеются на последнем интервале t_k , соответствующем окончанию ИОП. Здесь необходимо множеству отставаний от КПП на данном ИОП $\{\Delta P_6\}$ присвоить приоритеты [9], сформировать множества невыполненных работ для включения их в следующий ИОП.

Процедуры оценки возможных управленческих воздействий

Полученные с помощью продукционной базы знаний причины отклонения хода выполнения ТП от расчетного КПП и возможные управляющие воздействия анализируются «внутренними» экспертами на шаге 2 работы АСУ ТП. Анализ осуществляется после окончания каждого ИОП.

Процедуры выполняются работниками организации (внутренние эксперты) при активном управлении ЛПП. Как показал опыт, наиболее качественный состав экспертов – это работники самой организации, по своим должностным обязанностям относимые к управленческому персоналу (с точки зрения производства) различного уровня. Состав внутренних экспертов, как правило, следующий:

субъект 1 – ЛПП – руководитель организации по производству или его заместитель;

субъект 2 – начальник производственной системы;

субъект 3 – руководитель (руководители) подразделения (подразделений);

субъект 4 – руководитель (руководители) диспетчерской службы (служб).

Алгоритм принятия решений коллективом внутренних экспертов состоит в следующем.

1. Внутренним экспертам присваиваются веса (их сумма равна 1) с учетом степени ответственности за принимаемое решение и квалификации в предметной области решения.

2. Определяется допустимая нижняя граница общей уверенности внутренних экспертов в эффективности управляющего воздействия (на основе опыта работы рекомендуется $\geq 0,7$).

3. Определяется периодичность корректировок (рекомендуется по окончании каждого ИОП).

4. Определяются точки оценки возможных решений и управляющих воздействий (рекомендуется после шага 1 и шага 2 работы системы); $i=1$.

5. Переход к i -му периоду (ИОП) корректировок.

6. Обсуждение и оценка варианта управляющего воздействия (уверенность в достижении результата реализацией управляющего воздействия) каждым внутренним экспертом в числовой форме (от 0 до 1).

7. Получение взвешенной оценки общей уверенности внутренних экспертов в достижении результата реализацией управляющего воздействия.

8. Принятие решения ЛПП и переход к следующей точке оценки.

9. $i = i + 1$. Возврат на пункт 5.

Отдельного внимания заслуживает способ определения взвешенной уверенности всех внутренних экспертов. С этой целью исходя из экспертных оценок была разработана база знаний на основе нечетких множеств [9].

Правила имеют вид:

(ЕСЛИ уверенность эксперта 1 с весом P_1 равна A_1) И (ЕСЛИ уверенность эксперта 2 с весом P_2 равна A_2) И (ЕСЛИ уверенность эксперта 3 с весом P_3 равна A_3) И

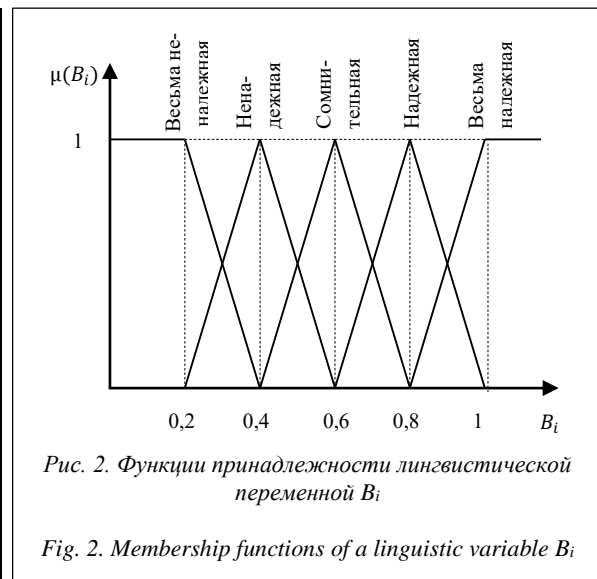
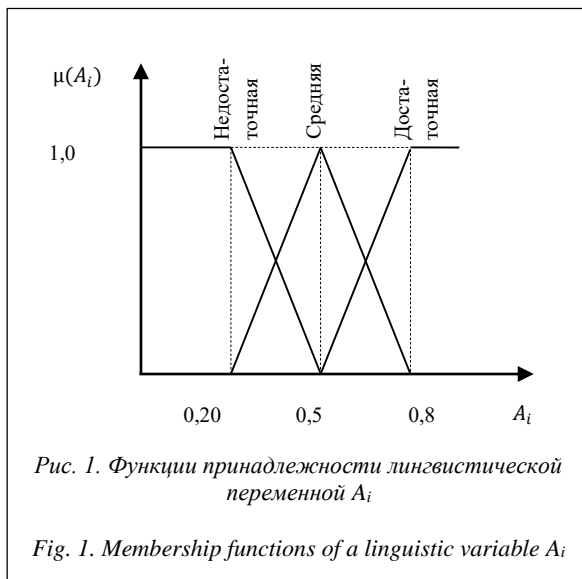
...

(ЕСЛИ уверенность эксперта n с весом P_n равна A_n), ТО (взвешенная уверенность экспертов в результате равна B_i).

Лингвистическая переменная A_i имеет 3 термина: достаточная, средняя, недостаточная (рис. 1).

Лингвистическая переменная B_i имеет 5 термов: весьма надежная, надежная, сомнительная, ненадежная, весьма ненадежная (рис. 2).

Рассмотрим, как строится продукционная база нечетких правил определения взвешенной уверенности экспертов в эффективности выбранного управляющего воздействия.



С этой целью были введены следующие правила создания моделей.

1. Веса внутренних экспертов P_i принимаются из ряда чисел, кратных k_i раз минимальному из них (k_i – целое число, равное или большее 1).

$$P_{\min} = \min\{P_1, P_{2i}, \dots, P_i, \dots, P_n\}.$$

2. Делается предварительное преобразование подусловий по введенному правилу, когда одно подусловие заменяется k_i подусловиями, соединенными оператором «И».

Например, исходное подусловие имеет вид:

(ЕСЛИ уверенность эксперта i с весом ($k_i \times P_{\min}$) равна A_i) И...

Заменяющие подусловия:

(ЕСЛИ уверенность эксперта i с весом P_{\min} равна A_i) И

ЕСЛИ уверенность эксперта i с весом P_{\min} равна A_i И

... ЕСЛИ уверенность эксперта i с весом P_{\min} равна A_i) И...

То есть исходное подусловие разбивается на k_i подусловий.

3. Записываются с учетом п. 2 нечеткие продукционные правила определения взвешенной уверенности экспертов.

4. В продукционном правиле взаимоисключаются подусловия, содержащие значения лингвистической переменной A_i (достаточная \Leftrightarrow недостаточная).

Например, исходное правило:

(ЕСЛИ уверенность эксперта 1 – достаточная И уверенность эксперта 1 – достаточная И уверенность эксперта 2 – недостаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И уверенность эксперта 4 – средняя), ТО...

Преобразованное правило:

ЕСЛИ уверенность эксперта 1 – достаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И уверенность эксперта 4 – средняя), ТО...

Как видим, в результате получаются продукционные правила, содержащие только смежные значения лингвистической переменной A_i .

С помощью экспертных оценок сформированы следующие нечеткие продукционные правила, определяющие значение лингвистической переменной B_i (взвешенная уверенность экспертов).

1. ЕСЛИ все подусловия содержат значение лингвистической переменной A_i – достаточная, ТО значение лингвистической переменной B_i – весьма надежная.

2. ЕСЛИ все подусловия содержат значение лингвистической переменной A_i – недостаточная, ТО значение лингвистической переменной B_i – весьма ненадежная.

3. ЕСЛИ число подусловий со значением лингвистической переменной A_i – средняя (превышает число подусловий со значением лингвистической переменной A_i – достаточная или недостаточная) ИЛИ (не более, чем на одно меньше числа подусловий со значением лингвистической переменной A_i – достаточная или недостаточная), ТО лингвистическая переменная B_i – сомнительная.

4. ЕСЛИ (число подусловий со значением лингвистической переменной A_i – достаточная (или недостаточная) более, чем на одно, превышает число подусловий со значением лингвистической переменной A_i – средняя), ТО лингвистическая переменная B_i – надежная (или ненадежная) соответственно.

Например: (ЕСЛИ уверенность эксперта 1 – достаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И уверенность эксперта 3 – достаточная И уверенность эксперта 4 – средняя), ТО значение лингвистической переменной B_i – надежная.

Fuzzy-логическая конъюнкция подусловий выполняется по правилу минимума.

Нахождение функций совместной принадлежности – по правилу нечеткой импликации Мамдани.

Дефазификация взвешенной оценки уверенности экспертов (результат) выполняется по центральному методу.

Заключение

Таким образом, на основе автоматизированного распознавания производственной ситуации по формальным признакам системой генерируются возможные решения, оцениваемые впоследствии экспертами. Это позволило уточнить выбор управляющего воздействия. При оценке управляющего воздействия эксперты учитывают дополнительные (по отношению к системе) параметры, так как в условиях производственных систем многономенклатурного машиностроения в моделях АСУ ТП учет всех возмущающих действий практически невозможен.

Разработанные методики и модели диспетчирования в рамках АСУ ТП [10, 11] успешно прошли промышленную апробацию на базовом предприятии и могут быть рекомендованы к реализации модулем в автоматизированных промышленных системах планирования и управления производственными подразделениями классов ERP, MRP-II и Scada [3].

Следует подчеркнуть положительный эффект и от привлечения цехового персонала к процессу принятия решений, что увеличивает их меру ответственности за результаты работы и заставляет глубже вникать в суть проблем управления производством.

Опыт реализации методик показал их доступность для понимания и использования цеховым управленческим персоналом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-01-00324.

Литература

1. Самойлович В.Г. Организация производства и менеджмент. М.: Академия, 2008. 336 с.
2. Балахонова И.В., Волчков С.А., Капитуров В.А. Интеграция процессов с помощью ERP-системы. Н. Новгород: Приоритет, 2006. 464 с.
3. Обухов И.А., Гайфуллин Б.Н. Автоматизация систем управления предприятиями стандарта ERP-MRP-11. М.: Интерфейс-Пресс, 2002. 286 с.
4. Гаврилов Д.А. Календарное планирование: что и как? // Умное производство. 2009. № 4. С. 49–57.
5. Лири Д.О. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. М.: Вершина, 2004. 272 с.
6. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А., Исаев А.А. Автоматизированная система управления технологическими процессами в многономенклатурных производствах // Программные продукты и системы. 2012. № 1. С. 80–83.
7. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. М.: Финансы и статистика; Инфра-М, 2010. 432 с.
8. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Мошкович Е.М., Фуремс Е.М. Выявление экспертных знаний; [под ред. С.В. Емельянова]. М.: Наука, 1989. 128 с.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 167 с.
10. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А. Системы управления технологическими процессами в машиностроении: подходы к созданию интеллектуальных систем управления: монография. Palmarium Acad. Publ., 2012. 187 с.
11. Бурдо Г.Б. Интеллектуальные процедуры планирования и управления в производственных системах геофизического приборостроения // Программные продукты и системы. 2011. № 3. С. 107–110.

Software & Systems

DOI: 10.15827/0236-235X.117.021-027

Received 30.11.16

2017, vol. 30, no. 1, pp. 21–27

INTELLIGENT DECISION SUPPORT IN PROCESS SCHEDULING IN DIVERSIFIED ENGINEERING

G.B. Burdo¹, *Dr.Sc. (Engineering), Head of Chair, gbtms@yandex.ru*

N.A. Semenov¹, *Dr.Sc. (Engineering), Professor*

¹ *Tver State Technical University, Nikitin Quay 22, Tver, 170026, Russian Federation*

Abstract. In the last fifteen years the structure of machine-building and instrument-making production has undergone major changes due to the requirements of customers to receive high-tech products at a certain time. This fact made relevant companies to design and manufacture a large number of different products simultaneously. It has led them to diversification.

Historically, diversified engineering and instrumentation enterprises were not equipped with automated tools to manage technological processes effectively. This fact might be explained by high acceleration capacity of their production systems, lack of repeatability in a production list and manufacturing situations, as well as influence of random factors that violate a normal process flow status. All this leads to elongation and disruption of product delivery time, and as a result, to the deterioration of financial and economic performance data of enterprises and firms.

In this regard, it becomes clear that creation of automated decision-making support systems in automated technological process control systems is an important problem.

Dispatching of technological process is focused on their introduction into a normal schedule. It is one of the most important components in management.

In this work we implemented a combined approach to making controlling actions. Based on a large number of random disturbances, an automated system records the most important and most probable of them.

Therefore, by comparing and analyzing planned and actual times (start and end times) of technological process operations, possible situation development (accumulation or reduction of disagreement) the system accumulates the results and identifies the most likely causes of plan failure and possible control actions. The analysis is performed using a knowledge base constructed on the basis of production models. The identified causes are “tips” for the second phase.

At this stage with a predetermined frequency or at the occurrence of the exception a group of experts from company employees discusses and evaluates alternatives. Fuzzy control defines a weighted assessment of experts’ confidence in achievability of a desired result by executing various control action and the final decision is accepted.

Keywords: multiproduct machine-building manufacture, the automated control system of technological processes, production knowledge model, fuzzy control.

Acknowledgements. The work has been financially supported by RFBR, project no. 14-01-00324.

References

1. Samoylovich V.G. *Organizatsiya proizvodstva i menedzhment* [Production Organization and Management]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 336 p.
2. Balakhonova I.V., Volchkov S.A., Kapiturov V.A. *Integratsiya protsessov s pomoshchyu ERP-sistemy* [Integration of processes using ERP system]. N. Novgorod, Prioritet Publ., 2006, 464 p.
3. Obukhov I.A., Gayfullin B.N. *Avtomatizatsiya sistem upravleniya predpriyatiyami standart ERP-MRP-11* [Automation of business management systems of standard ERP-MRP-11]. Moscow, Interfeys-Press, 2002, 286 p.
4. Gavrilov D.A. Calendar planning: what and how? *Umnoe proizvodstvo* [Intelligent Manufacturing]. 2009, no. 4, pp. 49–57 (in Russ.).
5. Liri D.O. *ERP-sistemy. Sovremennoe planirovanie i upravlenie resursami predpriyatiya* [ERP-systems. Modern planning and resource management in a company]. Vershina Publ., 2004, 272 p.
6. Burdo G.B., Semenov N.A., Isaev A.A. Systems technological processes control in multiproduct manufactures. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2012, no. 1 (97), pp. 80–83 (in Russ.).
7. Rybina G.V. *Osnovy postroeniya intellektualnykh sistem* [Basics of Intelligent System Constructing]. Moscow, Finansy i statistika. Infra-M Publ., 2010, 432 p.
8. Larichev O.I., Mechitov A.I., Moshkovich E.M., Furems E.M. *Vyyavlenie ekspertnykh znany* [Expert Knowledge Detection]. S.V. Emelyanov (Ed.), Moscow, Nauka Publ., 1989, 128 p.
9. Zadeh L. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i eyo primeneniye k ponyatiyu priblizhennykh resheniy* [The concept of a Linguistic Variable and its Application to Creating Approximate Solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976.
10. Burdo G.B., Palyukh B.V., Semenov N.A. *Sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v mashinostroenii: podkhody k sozdaniyu intellektualnykh sistem upravleniya* [Mechanical Engineering Production Process Control Systems: approaches to Intelligent Control System Creation]. Monograph. Palmarium Academic Publ., Saarbruchen, Germany, 2012, 187 p.
11. Burdo G.B. Intelligent procedures of planning and control in geophysical industry production systems. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2011, no. 3 (95), pp. 107–110 (in Russ.).

Примеры библиографического описания статьи

1. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при диспетчировании технологических процессов в многономенклатурном машиностроении // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 1. С. 21–27; DOI: 10.15827/0236-235X.117.021-027.

2. Burdo G.B., Semenov N.A. Intelligent decision support in process scheduling in diversified engineering. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2017, vol. 30, no. 1, pp. 21–27 (in Russ.); DOI: 10.15827/0236-235X.117.021-027.