

УДК 519.711.3

## К РЕШЕНИЮ ОСНОВНОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА

**В. К. Иванов**

*Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)*

*Аннотация.* Одной из основных задач при проектировании и управлении производственной системой является получение ответа на вопрос: каковы должны быть параметры производственной системы, при которых удовлетворяются ограничения на целевые критерии системы? Задача в такой постановке относится к основной задаче управления технологической подготовкой производства.

Целью данного исследования является разработка методов и алгоритмов дальнейшего развития основной задачи управления. При ее решении возникают случаи, когда поставленная задача решения не имеет. Нами предложен алгоритм и численный метод, позволяющий практически за конечный промежуток времени находить решение основной задачи управления. Основная идея этого метода заключается в том, что допустимые пределы изменения проектных параметров (область управлений) и ограничения, наложенные на целевые критерии, выбираются в качестве компонентов нового вектора управления. Причем эти величины в свою очередь могут изменяться только в заранее заданных пределах внутри новой области допустимых значений. При этом левые и правые границы задаются с учетом возможностей современного уровня развития техники. Представлены геометрическая интерпретация предлагаемого подхода и алгоритм решения поставленной задачи. Для решения минимаксной задачи использован метод случайного поиска, показавший высокую эффективность при решении других сложных инженерных задач. Приведены блок-схема решения задачи в соответствии с предложенным алгоритмом, включающая два блока оптимизации, а также результаты решения двух задач: первой – формирование рациональных технических условий при фиксированных пределах изменения управляющих параметров, второй – формирование рациональных технологических и эксплуатационных требований при фиксированных технических условиях.

Предложенный алгоритм и программный комплекс автоматизации технологической подготовки производства на основе дальнейшего развития основной задачи управления производственной системой позволяет решать задачу прогнозирования, т.е. в каком направлении необходимо изменять область поиска управляющих параметров (параметров проектирования), чтобы выполнялись заданные технические условия на показатели качества системы (целевые критерии). Получена хорошая сходимости результатов. Дальнейшее развитие работ связано с использованием разработанного программного комплекса для исследования других более сложных технических и экономических систем.

*Ключевые слова:* основная задача управления; технологическая подготовка производства; технологические и эксплуатационные требования; технические условия; целевые критерии; оптимизация; рациональные параметры.

**Введение.** Технологические возможности предприятия в основном зависят от сложности технологического процесса, вида оборудования и квалификации производственного персонала, а они в свою очередь зависят от конкретного вида продукции, выпускаемой на предприятии. Технологическая подготовка производства включает этап определения требуемого количества оборудования и специалистов.

Одной из основных задач при проектировании и управлении производственной системой является ответ на вопрос: каковы должны быть параметры производственной системы, при которых целевые критерии (критерии качества) системы удовлетворяют заданным техническим условиям?

Задача в такой постановке относится к основной задаче управления (ОЗУ) [1, 2]. Доказано, что если решение основной задачи

управления существует, то выполняется условие  $\Gamma_0 \leq 1$ .

**Цель исследования** – разработка новых методов и средств автоматизации технологической подготовки производства на основе дальнейшего развития основной задачи управления,

**Основная часть.** В работах [3-6] представлены алгоритмы и комплекс средств для моделирования и решения основной задачи управления, который содержит базу данных по видам и типам оборудования, специалистов и деталей.

При решении основной задачи управления возникают случаи, когда поставленная задача решения не имеет. Это значит, что среди допустимых значений вектора проектных параметров  $\omega$  нет таких, при которых решение системы уравнений, описывающих поведение производственной системы, обеспечивало бы выполнение технических условий на целевые критерии, т.е.  $\Gamma_0 > 1$ .

В данной работе предложены алгоритм и численный метод, позволяющие практически за конечный промежуток времени определить такой вариант технических условий, технологических и эксплуатационных требований, при которых выполняется условие  $\Gamma_0 \leq 1$ .

Основная идея этого метода заключается в том, что допустимые пределы изменения проектных параметров (область управлений) и ограничения, наложенные на показатели качества (функционалы  $I_\eta$ ), выбираются в качестве компонентов нового вектора управления  $v_1$ .

Пусть пределы изменения управляющих параметров представлены в виде

$$c_j \leq \omega_j \leq C_j, j = 1, J,$$

где  $c_j, C_j$  задаются заранее исходя из технологических и эксплуатационных требований, а ограничения на показатели качества заданы в виде

$$d_\eta \leq I_\eta \leq D_\eta, \quad \eta = \overline{1, \theta}.$$

Тогда вектор управления примет вид

$$v_1 = \{c_j, C_j, d_\eta, D_\eta\}.$$

Причем управляющие параметры в свою очередь могут изменяться только в заранее заданных пределах внутри области допустимых значений  $V_1$  в следующих диапазонах:

$$\begin{aligned} c_j' &\leq c_j \leq c_j'', \\ C_j' &\leq C_j \leq C_j'', \\ d_\eta' &\leq d_\eta \leq d_\eta'', \\ D_\eta' &\leq D_\eta \leq D_\eta''. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом левые и правые границы диапазонов изменения параметров выбираются с учетом возможностей современного уровня развития техники.

В такой формулировке задача формирования рациональных технических условий, технологических и эксплуатационных требований заключается в определении управляющих параметров  $v_1$  из области (1), при которых выполняется условие

$$\Gamma_1[v_1] = \min_{v_1} \Gamma_0 = \min_{v_1} \min_{\omega} \max_{\eta} \gamma_\eta \leq 1. \quad (2)$$

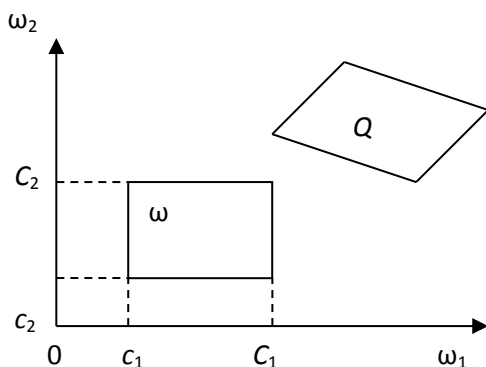


Рис. 1. Область управлений

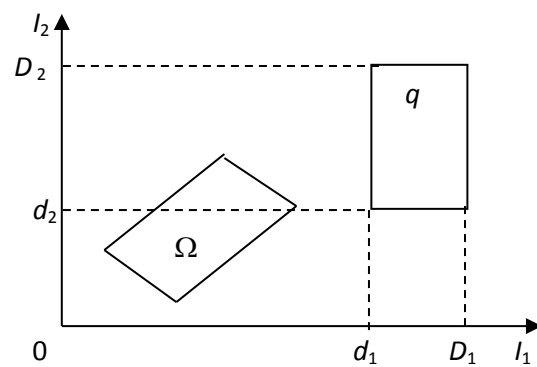


Рис. 2. Область целевых критериев

На рисунках 1 и 2 представлена геометрическая интерпретация предлагаемого подхода, где  $\omega$  – область технологических и эксплуатационных требований (область управлений, область поиска), которой соответствует область  $\Omega$  в пространстве целевых критериев (функционалов). В этом же пространстве выделена область  $q$  заданных технических условий на проектируемую систему, которой в пространстве управлений соответствует область  $Q$ .

В том случае, когда  $\Gamma_0 > 1$ , область  $\omega$  не пересекается с областью  $Q$ , а область  $\Omega$  – с  $q$ , т. е. отсутствует решение основной задачи управления.

Таким образом, задача формирования рациональных технических условий, технологических и эксплуатационных требований заключается в определении такого вектора управлений  $v_1$ , при которых происходит пересечение областей  $\omega$  с  $Q$  и  $\Omega$  с  $q$ .

#### Алгоритм решения

1. Для заданных технических условий, которые представляют первое приближение вектора управлений  $v_1^{(1)}$ , решается основная задача управления.

2. Проверяется условие  $\Gamma_1 \leq 1$ . Если оно выполняется, то решение основной задачи управлений существует. Процесс вычислений на этом заканчивается. При необходимости решается оптимизационная задача.

3. Если  $\Gamma_1^{(1)} > 1$ , то в соответствии с алгоритмом случайного поиска определяется следующее приближение  $v_1^{(2)}$ . Начиная с п. 1 процесс повторяется в автоматическом режиме и продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие (2).

4. Проверяется условие окончания цикла. Если  $\Gamma_1^{(m)} > 1$ , то выдается сообщение проектировщику, который вновь задает компоненты вектора  $v_1$ .

Для решения минимаксных задач выделяются как наиболее эффективные так называемые прямые или пошаговые итерационные методы. В данной работе для решения минимаксной задачи использован метод случайного поиска, в котором компоненты вектора

управления предлагается определять следующим образом:

$$\begin{aligned}\omega_i &= 0,5 [(1 + \varphi_i) A_i + (1 - \varphi_i) a_i]; \\ \omega_i &= \omega_{oi} + H_i (A_i - a_i); \\ \omega_i &= \omega_{oi} + H_i (A_i - a_i) + \Delta\omega_{oi},\end{aligned}\quad (3)$$

где  $\varphi_i$  – случайное число;  $H_i = \text{ВН} \cdot \varphi_i$ ;  $A_i, a_i$  – соответственно левосторонний и правосторонний векторы ограничений, накладываемые на вектор  $\omega$ ;  $\omega_0$  – вектор  $\omega$ , при котором значение критерия качества наилучшее;  $\Delta\omega_{oi}$  – разность между последним и предпоследним значениями вектора управления.

Проектировщик имеет возможность задавать значения кк1, кк2, кк3 – число неудачных попыток, ВК – параметр, характеризующий степень уменьшения подпространства, ВН – минимальный размер подпространства.

Блок-схема решения задачи в соответствии с предложенным алгоритмом представлена на рисунке 3. Здесь кк (кк1, кк2, кк3) – число неудачных попыток в методе случайного поиска (задается специалистом).

**Пример.** Решены две задачи:

1) формирование рациональных технических условий;

2) формирование рациональных технологических и эксплуатационных требований (ТЭТ), при которых  $\Gamma_0$  будет меньше единицы.

**Первая задача.** В соответствии с приведенным алгоритмом при фиксированных пределах изменения управляющих параметров  $C_1, \dots, C_6$  варьировались ограничения, наложенные на показатели качества  $D_1, \dots, D_3$ , т. е.  $v_1 = \{D_1, d_1, D_2, d_2, D_3\}$ , которые изменялись в следующих пределах:

$$\begin{aligned}0,25 &\leq D_1 \leq 0,45; \\ 0,05 &\leq d_1 \leq 0,15; \\ 1,8 &\leq D_2 \leq 2,2; \\ 0,35 &\leq d_2 \leq 0,6; \\ 1,1 &\leq D_3 \leq 1,3.\end{aligned}$$

В результате реализации алгоритма получены следующие результаты.

Рациональные значения технических условий:

$$\begin{aligned}D_1^* &= 0,42; d_1^* = 0,11; D_2^* = 2,1; d_2^* = 0,53; \\ D_3^* &= 1,21.\end{aligned}$$

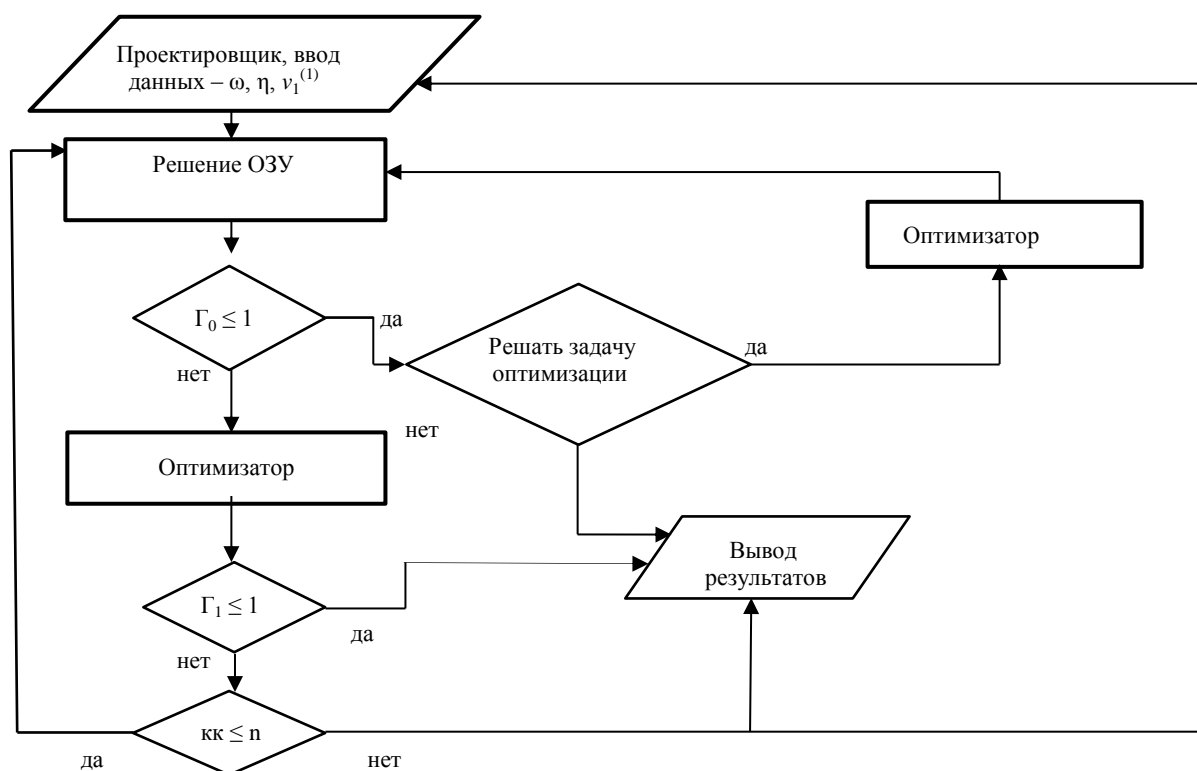


Рис. 3. Блок-схема решения задачи формирования рациональных технических условий, технологических и эксплуатационных требований

Рациональные значения компонентов вектора управления:

$$\begin{aligned} \kappa_1^* &= 24,1; T_1^* = 0,14 \text{ с}; \kappa_5^* = 13,2; \\ T_5^* &= 0,09 \text{ с}; \kappa_6^* = 0,89; \kappa_7^* = 0,48. \end{aligned}$$

Рациональные значения показателей качества переходного процесса:

$$t_{\text{ср}}^* = 0,21 \text{ с}; t_p^* = 1,52 \text{ с}; \sigma^* = 1,13; \Gamma_0 = 0,75.$$

**Вторая задача.** При фиксированных значениях технических условий, т.е. ограничениях, наложенных на показатели качества  $D_1, \dots, D_3$ , рассмотрена задача формирования рациональных технологических и эксплуатационных требований. В этом случае

$$\nu_1 = \{C_1, c_1, C_2, c_2, C_3, c_3, C_4, c_4, C_5, c_5, C_6, c_6\}.$$

Пределы изменения заданы в виде

$$\begin{aligned} 20,0 \leq C_1 \leq 30,0; & \quad 0,08 \leq C_4 \leq 0,12; \\ 10,0 \leq c_1 \leq 20,0; & \quad 0,03 \leq c_4 \leq 0,07; \\ 0,1 \leq C_2 \leq 0,2; & \quad 0,8 \leq C_5 \leq 1,2; \\ 0,1 \leq c_2 \leq 0,15; & \quad 0,3 \leq c_5 \leq 0,7; \\ 12,0 \leq C_3 \leq 18,0; & \quad 0,2 \leq C_6 \leq 0,8; \\ 5,0 \leq c_3 \leq 10,0; & \quad 0,08 \leq c_6 \leq 0,12. \end{aligned}$$

В результате решения второй задачи получили рациональные значения технологических и эксплуатационных требований, вектора управления, а также величины  $\Gamma_0$  (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты решения задачи формирования рациональных ТЭТ

ТЭТ	$C_1$	$c_1$	$C_2$	$c_2$	$C_3$	$c_3$	$C_4$	$c_4$	$C_5$	$c_5$	$C_6$	$c_6$
Исх.	25,0	15,0	0,15	0,08	15,0	7,0	0,1	0,05	1,0	0,5	0,5	0,1
Рац.	28,3	18,6	0,18	0,14	16,6	8,9	0,11	0,06	1,14	0,61	0,73	0,11

Таблица 2

Рациональные значения компонентов вектора управления

Параметры	$\kappa_1^*$	$T_1^*$	$\kappa_5^*$	$T_5^*$	$\kappa_6^*$	$\kappa_7^*$	$\Gamma_0$
Исходные значения	22,0	0,13	12,0	0,08	0,72	0,41	<b>1,24</b>
Рациональные	26,5	0,17	15,4	0,09	1,05	0,69	<b>0,87</b>

Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что при заданных технических условиях основная задача управления будет иметь решение, если компоненты вектора управления (варьируемые параметры) будут изменяться в сторону увеличения (многогранник ТЭТ будет перемещаться вправо).

**Выводы.** Разработан алгоритм и программный комплекс автоматизации технологической подготовки производства на основе развития основной задачи управления произ-

водственной системой, который позволяет решать задачу прогнозирования, определяя направление изменения технологических и эксплуатационных требований (область поиска параметров) для выполнения заданных технических условий по показателям качества системы (целевые критерии). Дальнейшее развитие работы связано с использованием предложенного программного комплекса для исследования более сложных технических и экономических систем.

#### Список литературы

1. Сиразетдинов Т. К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.
2. Сиразетдинов Т. К. Динамическое моделирование экономических объектов. Казань: ФЭН, 1996. 224 с.
3. Иванов В. К. К задаче аналитического проектирования элементов гибких производственных систем // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2010. № 1. С. 93-96.
4. Иванов В. К. Автоматизация выбора рациональных параметров производственной системы // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 9. С. 26-29.
5. Иванов В. К. Автоматизация моделирования возможностей гибких производственных систем // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2010. № 4. С. 142-144.
6. Иванов В. К. Интегрированная система моделирования и управления возможностями предприятия // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 7. С. 34-39.

#### Информация об авторах

*ИВАНОВ Владимир Константинович*, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл. Область научных интересов – автоматизация проектирования и управления, математическое моделирование, оптимизация, автоматизация производственных процессов. Автор более 60 научных работ.

UDC 519.711.3

## BY THE DECISION OF THE BASIC MANAGEMENT TASKS TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION

**V. K. Ivanov**

*Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)*

*Abstract.* One of the main problems in the design and management of the production system is the answer to the question: what should be the parameters of the production system, in which satisfies the constraints on the target system criteria. The problem in this formulation refers to the basic problem of the control of technological production preparation.

The purpose of this paper is to develop methods and the further development of the basic management tasks of algorithms. In addressing the basic management tasks, there are cases when the assigned task has no solution. In this paper, we propose an algorithm and a numerical method that allows virtually finite period of time to find the solution of the basic management tasks. The basic idea of this method lies in the fact that the limits of design parameters change (management areas) and restrictions imposed on the target criteria, selected as a new control

vector components. Moreover, these values are, in turn, can only be changed within predetermined limits in the new field of admissible values. In this case the left and right boundaries are set taking into account the features of the modern state of the art. The paper presents a geometric interpretation of the proposed approach and the algorithm to solve this problem. In this paper, to solve the problem of minimax used random search method, the method showed high efficiency in solving other complex engineering problems. Is a flowchart for solving the problem according to the proposed algorithm, the optimization includes two blocks. The results of solving two problems: the first – the formation of rational technical conditions for changes at fixed within control parameters, and the second – the formation of rational technological and operational requirements for fixed specifications.

The proposed algorithm and software complex of automation of technological preparation of production on the basis of further development of the basic management tasks of production system allows us to solve the problem of prediction, ie in what direction you need to change the search area of the control parameters (design parameters), to carry out the set specifications for quality performance of the system (target criteria). We obtain a good reproducibility. Further development work associated with the use of the developed software package for the study of other more complex technical and economic systems.

*Keywords:* the main task of management; production planning; technological and operational requirements; technical conditions; targeted criteria; optimization; rational parameters.

#### REFERENCES

1. Sirazetdinov T. K. *Metody resheniya mnogokriterial'nykh zadach sinteza tekhnicheskikh sistem* [Methods for solving multiobjective synthesis problems of technical systems], Moscow: Mashinostroenie, 1988, 160 p.
2. Sirazetdinov T. K. *Dinamicheskoe modelirovanie ekonomicheskikh ob"ektov* [Dynamic modeling of economic objects], Kazan: FEN, 1996, 224 p.
3. Ivanov V. K. *K zadache analiticheskogo proektirovaniya elementov gibkikh proizvodstvennykh sistem* [On the problem of analytical design elements of flexible manufacturing systems], *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva* [Vestnik of KSTU A. N. Tupolev], 2010, No. 1, pp. 93-96.
4. Ivanov V. K. *Avtomatizatsiya vybora ratsional'nykh parametrov proizvodstvennoi sistemy* [Automation of a choice of rational parameters of the production system], *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies], 2010, No. 9, pp. 26-29.
5. Ivanov V. K. *Avtomatizatsiya modelirovaniya vozmozhnostei gibkikh proizvodstvennykh sistem* [Automation modeling capabilities of flexible production systems], *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva* [Vestnik of KSTU A. N. Tupolev], 2010, No. 4, pp. 142-144.
6. Ivanov V. K. *Integrirovannaya sistema modelirovaniya i upravleniya vozmozhnostyami predpriyatiya* [Integrated modeling and control system capabilities of the enterprise], *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies], 2012, No. 7, pp. 34-39.

#### Information about the authors

*IVANOV Vladimir Konstantinovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El. Scientific interests – automation of design and management, mathematical modeling, optimization, and automation of manufacturing processes. Author of more than 60 scientific papers.

#### Библиографическая ссылка

Иванов В. К. К решению основной задачи управления технологической подготовкой производства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2017. – № 2. – С. 101-106.