

В. В. ЦЕХАНОВСКИЙ, В. Д. ЧЕРТОВСКОЙ
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
 им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

СПЕЦИФИКА ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Зафиксировано, что эффективным направлением развития экономики является цифровизация производственных систем управления. Такие автоматизированные системы характеризуются целым рядом особенностей. Важнейшими из них являются: многоуровневая структура с разными масштабами по времени на разных уровнях, режим оперативного перехода на выпуск новой продукции.

Показано, что многоуровневая структура математически представлена тремя трехуровневыми блоками.

Отмечено, что более детальное изучение процесса планирования в режима оперативного перехода на выпуск новой продукции удобнее проводить на верхнем блоке – руководитель – диспетчер – начальники цехов.

Более подробно авторами исследуется процесс на двух нижних уровнях, поскольку процесс на верхнем уровне более прост в описании.

Предлагаемое решение режима построено на однородном методе.

Первоначально описан статический процесс планирования. Особенностью является представление динамики режима в отклонениях от статического варианта. Это позволяет снизить размерность задачи и увеличить скорость ее расчета.

Введение. Важнейшей экономической задачей является цифровизация экономики. Одним из направлений решения проблемы является построение многоуровневых систем управления производством [1–3] с режимом оперативного перехода на выпуск новой продукции. Описание таких систем возможно в виде трехблочной модели с трехуровневой структурой в каждой. Требования к методам описания таких систем сформулированы в [1]. На их основе в [1, 2] проведен анализ методов описания и предложен универсальный однородный метод. С его помощью системы описаны в виде трехблочной схемы. Каждый блок представлен трехуровневой структурой. Интерес представляет верхний блок со структурой руководитель (уровень $h=3$) – диспетчер ($h=2$) – начальники цехов ($h=1$).

Постановка задачи. В работах, исследующих эту структуру, рассматриваются в основном экономические статические свойства системы. В данной работе упор сделан на изучение динамических свойств.

Решение задачи. Основу однородного метода составляет задача статического линейного программирования (СЛП), которая в самом общем случае имеет вид

$$\begin{aligned} & \mathbf{D}\mathbf{P} \leq \mathbf{b}, \\ & \mathbf{R} \leq \mathbf{P} \leq \mathbf{R}^+, \\ & G(\mathbf{P}) = \mathbf{F}\mathbf{P} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{P} , \mathbf{b} , \mathbf{R} – вектор-столбцы искомого плана, ресурсов, спроса; \mathbf{D} – матрица норм расходов; \mathbf{F} – вектор-строка прибыли за единицу готовой продукции; G – целевая функция.

Эту задачу, которую будем называть *прямой*, можно сформулировать и так

$$\text{Даны} \quad \mathbf{F}, \mathbf{b}, \mathbf{D}, \text{ найти } \mathbf{P}. \quad (2)$$

Наряду с прямой задачей, для генерации числовых данных для компьютерной модели используются *обратная* задача

$$\text{Даны} \quad \mathbf{F}, \mathbf{P}, \mathbf{D}, \text{ найти } \mathbf{b}. \quad (3)$$

Выделяются 2 режима планирования: традиционный (статический) и адаптивный (переход на выпуск новой продукции).

Пусть в системе, работавшей в традиционном режиме, появляется необходимость начать выпуск новой продукции с планом \mathbf{P} на уровне $h = 3$. Это вызывает изменения матрицы \mathbf{D} на всех уровнях. Для выявления потребных ресурсов решается обратная задача в рамках СЛП или с использованием алгоритма Р. Габасова.

Следует заметить, что для новой продукции потребуются не все ресурсы старого статического режима. В этом случае размерность задачи СЛП может быть уменьшена.

Если выявляется недостача ресурсов, то принимаются организационные меры.

Если ресурсов достаточно, то значение \mathbf{P} передается на уровень $h = 2$ для решения задачи для диспетчера со структурой в виде \mathbf{K} последовательно связанных элементов.

Непосредственное описание отдельных структурных элементов с учетом специфики уровней связано с задачей динамического линейного программирования (ДЛП). Каждый уровень имеет свою специфику.

Уровень $h = 1$.

$$\mathbf{z}_k(t_i) = \mathbf{A}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}) + \mathbf{B}_k \mathbf{p}_{1k}(t_{i-1}), \mathbf{z}_k(0) = \mathbf{z}_{k0}, \quad (4)$$

$$\mathbf{p}_k(t_i) = \mathbf{F}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}), \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{D}_1^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}^m(0), \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{p}_k(t_i) \leq \mathbf{P}(T), \quad (7)$$

$$\mathbf{D}_k^\Psi \mathbf{p}_k(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_k^\Psi(t_i), \quad (8)$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_k(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_k^m(t_i), \quad (9)$$

$$\mathbf{b}_k^\Psi(t_i) = \mathbf{b}_k^\Psi(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^\Psi(t_{i-1}), \quad (10)$$

$$G_k = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_k(T) \rightarrow \min, \quad (11)$$

$$i = 0, N-1, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv,$$

где \mathbf{z} , \mathbf{p} – вектор-столбцы (планового) незавершенного производства и ежедневного плана, \mathbf{p}_1 – вектор-столбец запуска комплектов ресурсов в производство, \mathbf{R} – вектор-столбец спроса; \mathbf{D} – матрица норм расходов ресурсов; \mathbf{b} – вектор-столбец наличного количества ресурсов; $\mathbf{b}^m(0)$ – вектор количества материальных ресурсов, которыми располагает уровень $h=3$; $\Delta \mathbf{b}$ – поступление ресурсов; \mathbf{P} – вектор-столбец плана уровня $h=3$; \mathbf{F} – вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} – единичные матрицы соответствующих размерностей; v , T – минимальный интервал времени и время моделирования; $m = 1, M$ – виды материальных ресурсов; $\psi = 1, \Psi$ – виды прочих ресурсов; $i = 1, I$ – моменты времени; $k = 1, K$ – номер подразделения.

Уровень $h = 2$.

Выражения (9), (11) меняются на выражения (12), (13)

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_{1k}(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_k^m(t_i) + \mathbf{p}_{k-1}(t_i) - \mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_{1k}(t_i), \quad (12)$$

$$G = \sum_{i=1}^K G_k \rightarrow \max, \quad (13)$$

Приведенное описание позволяет представить динамику процесса планирования при оперативном переходе на выпуск новой продукции.

Описание оперативного перехода на выпуск новой продукции. В этом режиме вектор спроса $\mathbf{R}(t) = \{\mathbf{R}_3^T(t), \mathbf{R}_4^T(t)\}^T$, где $\mathbf{R}_4(t)$ – вектор спроса на новую продукцию; T – символ транспонирования. Пусть в момент времени $(t) = (\tau - 1)$ возникает необходимость в оперативном переходе на выпуск новой продукции $\mathbf{P}_4[\tau] = \{\mathbf{P}_{4j}[\tau], j \in 1, J_4\}$. При этом старая продукция $\mathbf{P}_3[\tau]$ из $\mathbf{P}[\tau]$ снимается с производства полностью ($\mathbf{P}'_3[\tau] = 0$) или частично ($\mathbf{P}'_3[\tau] < \mathbf{P}_3[\tau]$).

Скачкообразные изменения можно использовать для оценки целесообразности перехода с помощью задачи СЛП.

Обратимся к случаю, когда матрица ограничений \mathbf{D} заполнена полностью.

Ограничения старого плана имеют вид

$$\mathbf{D}_1 \mathbf{P}_3[\tau] \leq \mathbf{b}(0). \quad (14)$$

При появлении новой продукции описание получает вид

$$(\mathbf{D}_1 \mathbf{D}_2) \begin{pmatrix} \mathbf{P}_3[\tau] \\ \mathbf{P}_4[\tau] \end{pmatrix} \leq \mathbf{b}(0), \quad (15)$$

если новые ресурсы не требуются и

$$\begin{pmatrix} \mathbf{D}_1 \mathbf{D}_2 \\ 0 \quad \mathbf{D}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{P}_3[\tau] \\ \mathbf{P}_4[\tau] \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} \mathbf{b}(0) \\ \mathbf{b}_1(0) \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Запись в отклонениях (15) от (14) получает вид с величиной \mathbf{b}^* , получим

$$\mathbf{D}_1(\mathbf{P}'_3[\tau] - \mathbf{P}_3[\tau]) - \mathbf{D}_2 \mathbf{P}_4[\tau] \leq \mathbf{b}^* - \mathbf{b} \quad (17)$$

Переход целесообразен, если

$$\mathbf{F}_1(\mathbf{P}'_3[\tau] - \mathbf{P}_3[\tau]) + \mathbf{F}_2 \mathbf{P}_4[\tau] \geq 0. \quad (18)$$

В случае (16) к ограничению (17) добавляется

$$\mathbf{D}_3 \mathbf{P}_4[\tau] \leq \mathbf{b}_1(0), \quad (19)$$

а целевая функция

$$\mathbf{G} = \mathbf{F}_1 \mathbf{P}'_3[\tau] + \mathbf{F}_2 \mathbf{P}_4[\tau] \rightarrow \max. \quad (20)$$

Заметим, что при $\mathbf{P}_4 = 0$ получается описание традиционной системы.

В частном варианте рассмотренного случая матрица \mathbf{D} разрежена. Размерность задачи уменьшается и ее решение упрощается.

Поскольку описание (14) – (20) аналогично описанию интеллектуальной системы управления, можно воспользоваться следующими [1–3] ранее полученными результатами:

- методами согласования экономических интересов отдельных структурных элементов и координации динамических свойств элементов;
- алгоритмами генерации числовых данных для оперативной отладки компьютерной модели;
- программами реализации структурных элементов и системы малой размерности с помощью пакета MatLab;
- программами реализации отдельных высокоразмерных элементов.

Можно будет использовать находящуюся в процессе отладки программу сетевой модели интеллектуальной системы управления производством.

В рамках этой структуры администратор формирует базу данных, используя сгенерированные числовые данные. Первоначально проводится планирование «с нуля». Руководитель формирует план, а на его основе диспетчер и начальники цехов строят планы соответствующих уровней иерархии. Затем задаются параметры для несогласованного плана, и клиенты проводят необходимое согласование. Далее реализуется процедура перехода на выпуск новой продукции сначала без учета динамики планирования, а потом – с учетом инерционности процесса. Рассмотренная модель служит основой для анализа, оптимизации и компьютерного моделирования процессов управления в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чертовской В.Д.** Интеллектуализация автоматизированного управления производством. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2007. 164 с.
2. **Чертовской В.Д.** Основы теории адаптивных автоматизированных систем управления производством. *Труды Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСИУ-2019, Совецание)*. Москва: ИПУ, 2019, С. 2676–2679.
3. **Чертовской В.Д.** Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством: Монография. С.-Петербург. Лань, 2019. 216 с.
4. **Угольников Г.А., Усов А.Б.** Трехуровневая система управления средой. *Проблемы управления*, 2020, №1. С. 26-32.
5. **Haseeb M, Hussain H., Slusarczyk B., Jermittiparsert K.** 2019 Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance Soc. Sci. 8 00154
6. **Chertovskoy V.D., Tsehanovsky V.V.** Cyberphysical adaptive manufacturing control systems (2020). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919 (3), статья № 032018,
7. **Новиков Д.А.** Теория управления организационными системами. М.: Физмат, 2007.

V.D. Chertovskoy, V.V. Tsehanovsky (Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»)
Specifics of the planning process in production management systems

It has been recorded that an effective direction of economic development is the digitalization of production management systems. Such automated systems are characterized by a number of features. The most important of them are: a multilevel structure with different time scales at different levels; a mode of operational transition to the production of new products. It is shown that the multilevel structure has a block mathematically represented by three three-level blocks. It is noted that a more detailed study of the planning process in the regime of operational transition to the output of new products is more convenient to conduct on the upper block manager - dispatcher - heads of shops. The authors study the process at the two lower levels in more detail, because the process at the upper level is simpler to describe. The proposed mode solution is based on the homogeneous method. Initially, a static planning process is described. A feature is the representation of mode dynamics in deviations from the static variant. This makes it possible to reduce the dimensionality of the problem and increase the speed of its calculation.