

## ФОРМИРОВАНИЕ ОПИСАНИЯ АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Показана актуальность изучения адаптивных автоматизированных систем управления производством в свете построения цифровой экономики. Предложена технология изучения: системный анализ – математическое описание процессов – получение данных для него. С помощью системного анализа выявлен трехблочный состав системы. Каждый блок характеризуется универсальной трехуровневой структурой локальной системы. На основе учета особенностей системы проведен отбор метода формального описания. Им является обобщенный однородный метод, позволяющий учесть оптимальность режима, оперативный переход на выпуск новой продукции, взаимодействие процессов планирования и управления, интеграцию уровней. Предложены обобщенные специфические методы получения числовых данных, необходимых для активизации формального описания. Обобщенный метод трансформирован в прикладной однородный метод для локальных систем с учетом их специфики.

Адаптивная автоматизированная система, производство, блоки, структура блоков, обобщенное описание, числовые данные, прикладное описание.

**1. Введение.** Автоматизация управления является одним из эффективных путей повышения производительности промышленных производств. Автоматизированная система управления производством обладает многоуровневой структурой. Формальное описание таких систем первоначально осуществлялось методами «прямого счета», алгоритмы которых не выходили за четыре действия арифметики [1].

Однако такое построение систем характеризуется низким уровнем автоматизации и слабым использованием возможностей компьютеров. В связи с этим уже в 70-х годах прошлого века начался поиск методов описания с более широкими возможностями. Обсуждались методы групп «вход–выход» [2, 3], пространства состояний [4–7] и методы исследования операций [7–17]. Рассматривались системы с относительно простыми частными многоуровневыми структурами: двухуровневые с учетом горизонтальных связей в процессе управления [3], трехуровневые с «веерной» структурой процесса планирования [8–17].

Работы по описанию многоуровневых структур особенно оживились с появлением адаптивных автоматизированных систем управления производством [18–20], работающих в оптимальном режиме и позволяющих осуществлять оперативный переход на выпуск новой продукции. Применение адаптивных систем является к тому же одним из серьезных направлений решения проблемы построения цифровой экономики, что подчеркивает актуальность детального исследования таких систем.

Адаптивные системы обладают более сложной структурой. Вместе с тем многочисленные предложенные методы рассматривались «враспыленную», а выбор структур систем был достаточно произволен. Требуется упорядочение, обобщение известных методов и формирования новых методов описания. Этим вопросам посвящена настоящая работа.

**2. Постановка задачи.** Исследование процессов адаптации в системе предполагает два этапа: форми-

рование математического описания; описание процедуры функционирования.

В данной работе рассматривается первый этап. Исследование проведем в такой последовательности:

- 1) обобщенная технология и обобщенный однородный метод;
- 2) прикладная технология и прикладной однородный метод.

*Обобщенная технология и метод описания.* В обобщенной технологии исследования можно выделить:

- применение системного анализа;
- построение формального описания;
- получение для него числовых данных.

**3. Решение.** Обсудим первоначально **технологии формирования системы.**

*Системный анализ* позволяет выделить прежде всего цель работы системы, которая должна обеспечить оперативный переход на выпуск новой продукции. Цель определяет общую технологию и структуру.

Структура системы базируется на схеме традиционной системы (рис. 1) и охватывает бизнес-процесс «Производство». В общем случае структура системы является многоуровневой и может быть представлена в виде трех блоков, показанных на рис. 2. На нем приняты следующие обозначения: 0 – цехи; 1 – начальники цехов; 2 – диспетчер; 3 – руководство; 0а – участки; 1а – начальники участков; 2а – цепочки участков; 3а – начальник цеха; 0б – согласование работы элементов в пределах выпуска одного вида продукции или партии однотипной продукции (один цикл); 1б – согласование работы элементов в пределах выпуска партии однотипной продукции при наличии циклов для нескольких видов ресурсов; 2б – организация работы системы элементов в пределах выпуска одного вида продукции или партии разнотипной продукции с пересекающимися циклами для разных видов ресурсов; 3б – начальник участка.

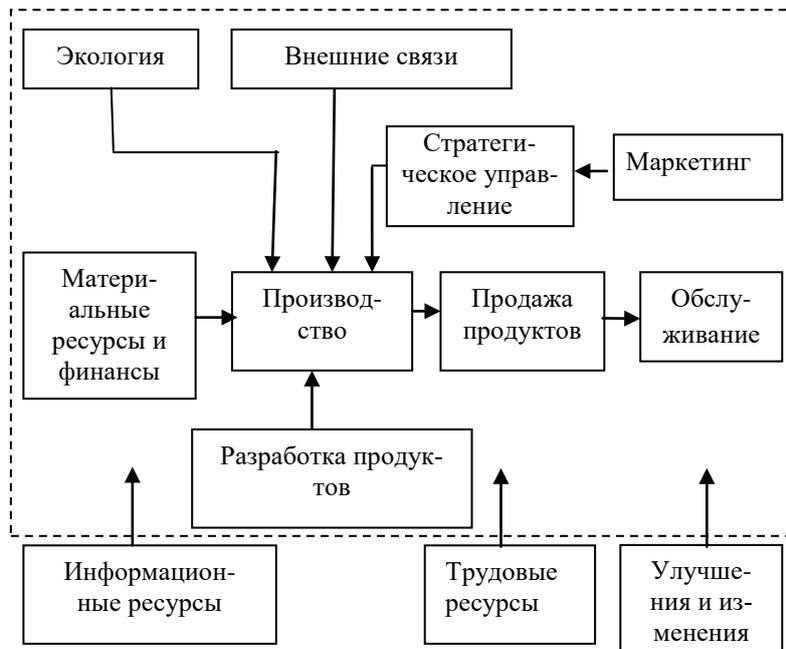


Рис. 1. Схема процедурного представления традиционной автоматизированной системы

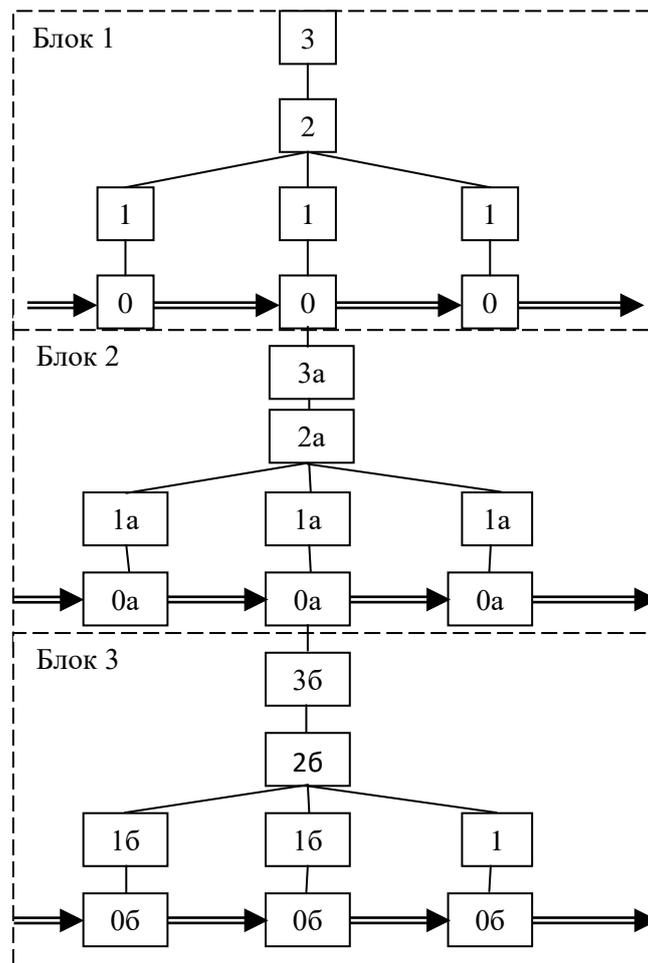


Рис. 2. Общая структура системы

Каждый из блоков характеризуется однотипной трехуровневой структурой. Для блока 1 структура имеет вид, показанный на рис 3. Она охватывает все возможные изменения по времени и координатам при переходе с уровня на уровень и отличается

удобным сочетанием масштабов по времени. В силу однотипности структур блоков возникает соображение построить формальное описание, которое назовем обобщенным, справедливое для всех блоков.

Обобщенное математическое описание системы. Выявим особенности системы и специфику их описания.

Рассмотрим сначала описание отдельного структурного элемента.

1. Любой элемент использует цикл управления [6], показанный на рис. 4. В нем следует выделить связанные процессы планирования и управления.

2. В силу применения компьютера следует использовать оптимальное планирование, которое в общем виде записывается так

$$f_k(P_k) \rightarrow \max, g_k(b_k, R_k, D_k, P_k) = 0, \quad (1)$$

где  $f, g$  вектор-функции цели и ограничений;  $P, b, R$  вектор-столбцы искомого плана, наличных ресурсов, спроса;  $D$  матрица норм расходов;  $k(k=1, K)$  номер структурного элемента.

Заметим, что требование оптимальности исключает из дальнейшего рассмотрения прикладные частотные методы [2], а введение целевой функции позволяет учесть экономические интересы элементов.

3. Процедура оперативного перехода на выпуск новой продукции определяет необходимость учета

динамики процесса планирования. Тогда выражения (1) преобразуются к виду

$$\begin{aligned} f_k(P_k(t_i)) &\rightarrow \max, \\ g_k(b_k(t_i), R_k(t_i), D_k, P_{1k}(t_i)) &= 0, \\ z_k(t_{i+1}) &= f_{11k}(z_k(t_i), P_{1k}(t_i)), \\ P_k(t_i) &= f_{12k}(z_k(t_i)), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $P_1$  вектор-столбец комплектов ресурсов;  $z$  вектор состояния;  $f_{11}, f_{12}$  вектор-функции переходов и выходов;  $i(i=1, I)$  номер интервала времени.

4. Выражения (1) позволяют легко описать горизонтальные связи уровня  $h=2$ .

Назовем задачу (1) уровня  $h=1$  прямой задачей и перепишем ее в виде

$$\text{дано } D_k, b_k, f_{11k}, f_{12k}, f_k, \text{ найти } P_k(t_i), p_{1k}(t_i). \quad (3)$$

Тогда выражение для горизонтальных связей получает вид

$$D^m_k p_{1k}(t_i) = b^m_{k-1}(t_{i-1}), \quad (4)$$

$$f = F(f_k(P_k(t_i))) \rightarrow \max, k = 1, K, \quad (5)$$

где  $m(m=1, M)$  материальные ресурсы;  $f, F$  вектор-функции.

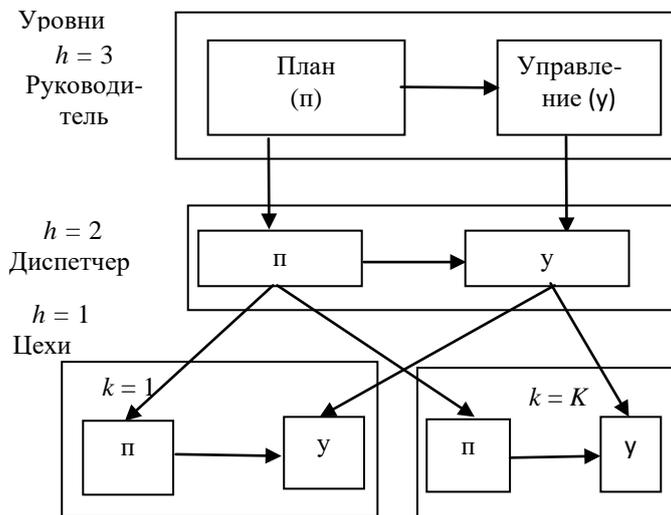


Рис. 3. Управляющая часть трехуровневой системы

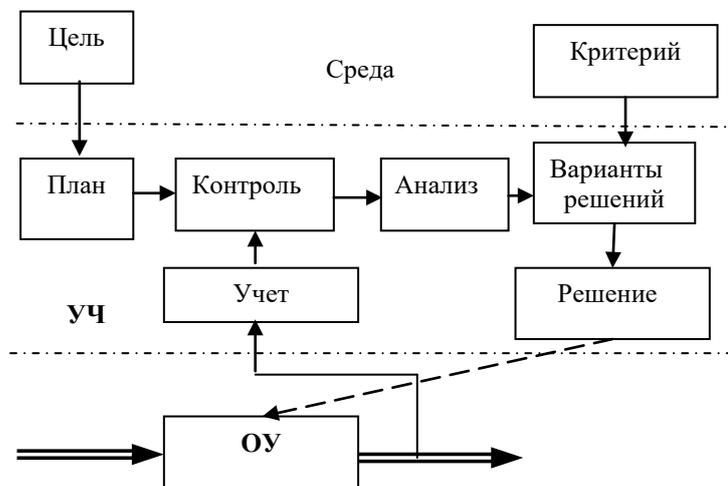


Рис. 4. Цикл управления

Не представляет труда перейти к описанию уровня  $h=3$  при замене  $(t_i)$  на  $(T)=I(t)$  при  $(t_i)=(t)=\text{const}$ , число интервалов времени.

4. Выражение (2) позволяет описать нелинейную динамику процесса управления для уровня  $h=1$

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_k(\mathbf{b}_k(t_i), \mathbf{Y}_k(t_i), \mathbf{D}_k, \mathbf{u}_k(t_i)) &= 0, \\ \dot{\mathbf{z}}_k(t_{i+1}) &= \mathbf{f}_{11k}(\mathbf{z}_k(t_i), \mathbf{u}_k(t_i)), \\ \mathbf{Y}_k(t_i) &= \mathbf{f}_{12k}(\mathbf{z}_k(t_i)) \\ J_k &= f_k(\mathbf{Y}_k(t_i), \boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i)) \rightarrow \min, \\ \boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i) &= \mathbf{P}_k(t_i) - \mathbf{Y}_k(t_i), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\mathbf{z}$ ,  $\mathbf{Y}$  – вектор-столбцы состояния и выхода,  $\mathbf{u}$  – вектор-столбец управления;  $\mathbf{p}$  – вектор-столбец плана;  $\boldsymbol{\varepsilon}$  – вектор столбец отклонений;  $\mathbf{D}$  – матрица норм расходов;  $\mathbf{b}$  – вектор-столбец наличного количества ресурсов;  $t_i$ ,  $T$  – 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;  $J$  целевая функция.

Заметим, что выражения (2) и (6) легко согласуются при описании цикла управления в целом..

Для описания других уровней процесса управления можно использовать аналоги выражений (4) и (5).

5. Адаптивные системы обладают трехуровневой структурой, что не позволяет использовать для описания методы работ [7-9, 11].

6. Трехуровневые структуры описывают методы публикаций [6, 11-16, 19, 20]. Во всех работах, кроме [6, 15], рассматривается процесс планирования либо для веерной структуры, либо для структуры с одним элементом на каждом уровне.

7. В системе взаимодействуют процессы планирования и управления, тогда как в [15] исследуется только первый процесс.

8. Перечисленные особенности учитываются в работах [6, 19], опирающиеся на выражения (2), (4)-(6). Они составляют основу метода описания, который назовем «обобщенный однородный метод». Он позволяет однотипно описать связанные, но разные по своей природе процессы планирования и управления.

Использование однородного метода связано с необходимостью формирования числовых данных для компьютерной модели управления производством.

*Получение числовых данных.* Числовые данные могут быть получены в процедуре идентификации из реальной системы или сгенерированы компьютером.

В первом случае данные для компьютерной реализации берутся из циркулирующих в системе документов и результатов бесед со специалистами-технологами и руководителями.

Определение детальных данных целесообразно начать с уровня  $h = 1$ . При использовании в описании процесса планирования возможно документальное получение данных о планах  $\mathbf{p}_k$ , нормах расходов и ресурсах  $\mathbf{D}_k$ ,  $\mathbf{b}_k$ ,  $k = 1, K$  – номер структурного элемента. При переходе на уровень  $h = 2$  данные о нормах суть произведение норм структурных элементов, а вход определяется вектором  $\mathbf{b}_1$ . При обращении к уровню  $h = 3$  проводится агрегация вектора по времени (переход от масштаба времени  $[t]$  к масштабу  $[T] = m[t]$ , где  $m$  – целое число). Длительность перехода на выпуск новой продукции на нижнем уровне опреде-

ляется экспертно. На среднем уровне длительность является суммой длительностей в структурных элементах уровня  $h = 1$  с переходом на уровне  $h = 3$  на более крупный масштаб времени.

Для снижения уровня неопределенности важно выявить логическую последовательность действий ЛПР по выработке решений. Для этого возможно использовать «вторичные» беседы с ЛПР с обязательной фиксацией результатов в виде документов. При этом на результат существенное влияние оказывает неформальное, субъективное представление исследователя о функционировании управляющей части элемента.

Перед работой с данными, полученными при идентификации, следует провести настройку компьютерной системы, для чего перейти к генерации данных. Первоначально генерируют данные для уровня диспетчера.

Для генерации используются обратные задачи СЛП, которые можно представить так:

$$\text{дано } \mathbf{D}_k, \mathbf{b}_k, \mathbf{f}_{11k}, \mathbf{f}_{12k}, \mathbf{f}_k, \text{ найти } \mathbf{P}_k(t_i), \mathbf{p}_{1k}(t_i). \quad (3)$$

Данные для отдельного элемента получаются по алгоритму, предложенному Р. Габасовым [21]. При генерации данных для уровней диспетчера и руководителя построены алгоритмы с использованием выражений (4), (5).

*Прикладная технология и метод описания.* Обобщенный метод и обобщенная технология представляют общую картину процессов в системе. Для получения однородным методом прикладных результатов необходимо учесть более тонкие особенности реальных систем.

Обсудим два варианта описания:

для блоков 1 и 2, поскольку описание их похоже; для блока 3.

*Блоки 1 и 2. Формирование системы. Цель работы и структура* этих блоков определены ранее. Еще одной особенностью систем является учет и согласование экономических интересов элементов структуры. Очевидно, что целевая функция должна быть линейной.

Выделяются взаимодействующие процессы планирования и управления. Рассмотрим процесс планирования более подробно.

### Уровень управления $h = 3$ .

$$\mathbf{P}(T) \geq \mathbf{R}(T), \mathbf{P}(t_i) = \mathbf{P}(t_{i-1}) + \mathbf{p}(t_i), \quad (7)$$

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{p}_1(t_{i-1}), \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0, \quad (8)$$

$$\mathbf{p}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (9)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{p}_1(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (10)$$

$$G(\mathbf{P}(T)) = \mathbf{F}\mathbf{P}(T) \rightarrow \max, \quad (11)$$

где  $\mathbf{z}$ ,  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{P}$  – векторы незавершенного производства, планов текущего и с накоплением;  $\mathbf{p}_1$  – вектор запуска комплекта материалов в производство;  $\mathbf{R}$  – вектор спроса;  $\mathbf{D}$  – матрица норм расходов;  $\mathbf{b}$  – вектор имеющегося количества ресурсов;  $\mathbf{F}$  – вектор прибыли от выпуска единицы продукции;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$  – матрицы соответствующих размерностей;  $T$ ,  $t_i = i\nu$  – интервалы времени;  $i = 1, N$ ;  $T = N\nu$ . Основу однородного метода составляет задача статического линейного программирования (СЛП) в виде выражений (10), (11). Выражения (7) – (9) преобразуют задачу СЛП в задачу **динамического линейного программирования** (ДЛП).

**Уровень управления  $h = 1$ .**

$$\mathbf{z}_k(t_i) = \mathbf{A}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}) + \mathbf{B}_k \mathbf{p}_{1k}(t_{i-1}), \mathbf{z}_k(0) = \mathbf{z}_{k0}, \quad (12)$$

$$\mathbf{p}_k(t_i) = \mathbf{C}_k \mathbf{z}_k(t_i), \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{D}_1^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}^m(0), \quad (14)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{p}_k(t_i) < \mathbf{P}(T), \quad (15)$$

$$\mathbf{D}_k^\psi \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}_k^\psi(t_i), \quad (16)$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}_k^m(t_i), \quad (17)$$

$$\mathbf{b}_k^\psi(t_i) = \mathbf{b}_k^\psi(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^\psi(t_{i-1}), \quad (18)$$

$$G_k(\mathbf{p}_k(t_i)) = \mathbf{F}_k \mathbf{p}_k(T) \rightarrow \max, \quad (19)$$

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

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  $h=3$ ;  $\Delta \mathbf{b}$  – вектор поступления ресурсов;  $\mathbf{P}$  – вектор-столбец плана уровня  $h=3$ ;  $\mathbf{F}$  – вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$  матрицы, отражающие динамику процесса планирования;  $t_i$ ,  $T$  – минимальный интервал времени и время моделирования;  $m = 1, M$  – виды материальных ресурсов;

$\psi = 1, \Psi$  – виды прочих ресурсов;  $i = 1, N$  – моменты времени;  $k = 1, K$  – номер подразделения.

**Уровень управления  $h = 2$ .**

Выражения (17), (19) в описании уровня  $h=1$  заменяются на выражения (20), (21)

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{p}_{1,k-1}^m(t_{i-1}), \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^N G_k(\mathbf{p}_k(t_i)) \rightarrow \max, \quad (21)$$

Тогда описание процесса управления для уровня  $h=1$  получит вид

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

$$\mathbf{y}_k(t_i) = \mathbf{C}_k \mathbf{z}_k(t_i),$$

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

$$\mathbf{y}_k(T) \leq \mathbf{Y}(T),$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{u}_k(t_{i+1}) \leq \mathbf{y}_{k-1}(t_i)$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{b}_k^m(t_{i-1})$$

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

$$\boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i) = \mathbf{p}_k(t_i) - \mathbf{y}_k(t_i),$$

$$J_k = \sum_{i=0}^I \{ \mathbf{C}_{1k} \boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i) + \mathbf{C}_{2k} \mathbf{u}_k(t_i) \} \rightarrow \min,$$

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

где  $\mathbf{z}$ ,  $\mathbf{y}$  – вектор-столбцы состояния и выхода,  $\mathbf{u}$  – вектор-столбец управления;  $\mathbf{p}$  – вектор-столбец плана;  $\boldsymbol{\varepsilon}$  – вектор столбец отклонений;  $\mathbf{D}$  – матрица норм расходов;  $\mathbf{b}$  – вектор-столбец наличного количества ресурсов;  $\mathbf{Y}$  – вектор-столбец плана уровня  $h=3$ ;  $\mathbf{C}_1$ ,  $\mathbf{C}_2$  – вектор-строки потерь от отклонений и затрат на дополнительные ресурсы для управления;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$  матрицы, отражающие динамику процесса управления  $v$ ,  $T$  – 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.

Нетрудно по аналогии представить и описание уровней  $h=2$  и  $h=3$ .

Числовые данные для этого описания могут быть получены из реальной системы (идентификация) или сформированы специальной компьютерной программой (генерация).

Идентификация – процесс трудоемкий и осложнен наличием в системе «человеческого фактора». К тому же перед процедурой использования компьютерной модели процесса управления ее следует отладить. Для этой цели наиболее подходит генерация данных.

Она для уровня  $h=1$  базируется на обратной задаче ДПП, построенной на основе алгоритма Р. Габасова

дано  $\mathbf{D}_k, \mathbf{P}_k(t_i), \mathbf{p}_{1k}(t_i), \mathbf{A}_k, \mathbf{B}_k, \mathbf{C}_k$ , найти  $\mathbf{b}_k(t_i), \mathbf{F}_k$ .

С учетом выражений для горизонтальных связей строятся данные для уровня диспетчера. По полученным результатам могут быть построены данные для уровня  $h=3$

$$\mathbf{D} = \prod_{k=1}^K \mathbf{D}_k,$$

$$\mathbf{F} = \sum_{k=1}^{K-1} \mathbf{F}_k \prod_{r=k+1}^K \mathbf{D}_r,$$

где

$$r = \begin{cases} k+1, k < K, \\ 0, k = K, \end{cases}$$

$\mathbf{D}_0 = \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{E}$  – единичная матрица.

В процедуре работы компьютерной модели системы выделяются два варианта: традиционный (стационарный) и адаптивный (нестационарный), связанный с оперативным переходом на выпуск новой продукции.

Адаптивный вариант отличается от традиционного введением дополнительных данных и определением на уровне  $h=3$  целесообразности оперативного перехода.

Независимо от варианта возможен ряд режимов отладки и использования модели. Первоначально строится модель с согласованными экономическими интересами структурных элементов системы (согласованный режим МГ1). Далее выполняются две операции: формируется несогласованный режим и проводится согласование интересов.

В формировании несогласованного режима выделяются следующие способы:

- 1) нарушение равенства в описании горизонтальных связей (МГ2);
- 2) нахождение ближайшей угловой точки в задаче СЛП с пересчетом коэффициентов целевой функции (МГ3);
- 3) произвольное соотношение угловых точек (МГ4).

**Блок 3. Формирование системы. Цель работы и структура** этого блока остается прежней. По-прежнему остаются и два основных требования к методам математического описания: возможность опти-

мизации режима работы и отражение процедуры взаимодействия ресурсов.

Блок 3 специфический. Работа в нем осуществляется на коротких промежутках времени. Группу станков может заменить обрабатывающий центр. В качестве структурных элементов могут выступать как отдельные станки, так и обрабатывающие центры.

Общая схема передачи обрабатываемых объектов показана на рис. 5.

Рассмотрим случай, когда маршрут движения материальных ресурсов между группами оборудования может меняться, а количество выпускаемой продукции много больше единицы, что соответствует крупносерийному производству.

Если в обрабатывающем центре имеется возможность изменять последовательность операций обработки, то снова следует обратиться к более распространенной общей схеме (рис. 5).

Частным случаем схемы, выделенным на рис. 5, является наличие на каждой позиции по одному элементу оборудования.

Обычно претендентами на описание таких процессов являются такие методы, как графы, графики Ганта, задача трех станков (задача Джонсона), сети Петри (цветные, временные), искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы..

Действительно, в графиках Ганта отсутствует оптимизация. В задаче Джонсона оптимизация осуществляется за счет выбора последовательности запуска в обработку видов продукции. Задача имеет аналитическое решение только для трех станков, что существенно ограничивает сферу ее применения. Применение сетей Петри связано с серьезными затруднениями учета взаимодействия ресурсов при отсутствии оптимизации режима работы. Использование искусственных нейронных сетей связано с трудностями учета взаимодействия ресурсов в рамках оптимизационного режима работы. При применении генетических алгоритмов затруднительна процедура перехода к кодовой системе.

Таким образом, во всех этих методах трудно учесть взаимодействие ресурсов, а ряд методов не описывает процедуру оптимизации. К тому же такая структура характерна для единичного или массового типа производства.

В то же время для производств крупносерийного типа представляет интерес применение задачи СЛП. Тогда описание для блока 3 может быть таким [22].

Если  $t_{mj}$ ,  $t_{sj}$ ,  $t_{vj}$  норма расхода материала, станкоемкость (пропускная способность) оборудования и трудозатраты (производительность труда) на единицу продукции  $j$ ,  $P_j$  – величина заказа,  $b_m$ ,  $b_s$ ,  $b_v$  – наличное количество материалов, фонды времени работы оборудования и трудящегося в группе  $k$ , то должны соблюдаться неравенства

$$\sum_{j=1}^J \begin{pmatrix} t_{mj} \\ t_{sj} \\ t_{vj} \end{pmatrix} P_j(t_i) = \begin{pmatrix} b_m(t_i) \\ b_s(t_i) \\ b_v(t_i) \end{pmatrix},$$

$$\sum_{i=1}^I P_j(t_i) \geq P_j(T),$$

Критерии могут быть обычным

$$\sum_{j=1}^J C_j P_j(t_i) \rightarrow \max,$$

где  $C_j$  оптовая цена одного изделия вида  $j$ , или специфическими.

Специфическими критериями являются равномерная загрузка оборудования

$$\sum_{i=1}^I |T(t_i) - \sum_{j=1}^J T_j P_j(t_i)| \rightarrow \min,$$

где  $T(t_i)$  – средняя трудоемкость всех изделий, вошедших в программу интервала времени  $(t_i)$ ;  $T_j$  – полная трудоемкость изделий вида  $j$ ,

отклонение стоимости программы выпуска от плановой стоимости

$$\sum_{i=1}^I \left| \sum_{j=1}^J C_j P_j(t_i) - C(t_i) \right| \rightarrow \min,$$

где  $C_j$  – оптовая цена одного изделия вида  $j$ ;  $C(t_i)$  – товарный запуск продукции на интервале  $t_i$ .

Возможно использование нескольких критериев (векторного критерия). Нетрудно видеть, что СЛП применяется во всех блоках, однако в блоках 1 и 2 оперируют с объемными параметрами, тогда как в блоке 3 – с показателями времени [22].

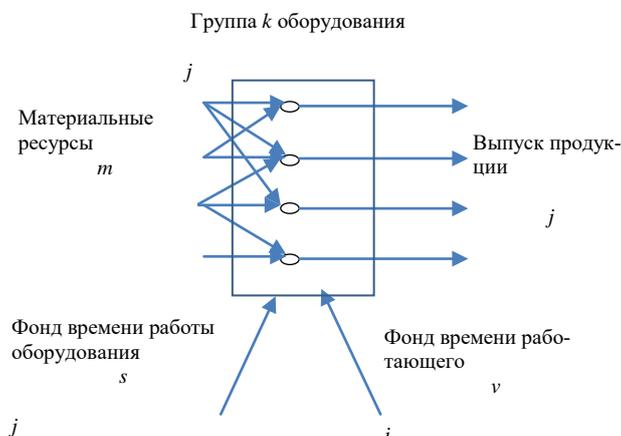


Рис. 5. Схема взаимодействия ресурсов

**4. Заключение.** Таким образом, для перспективной адаптивной автоматизированной системы управления производством рассмотрены и решены задачи двух этапов: описание системы, получение числовых данных. На первом этапе выявлен трехблочный состав системы. Каждый локальный блок представлен универсальной трехуровневой структурой. Для нее построен обобщенный однородный метод описания процессов, сформированный с учетом специфики системы. Для построенного описания предложена обобщенная специфическая процедура получения числовых данных.

Обобщенный метод формального описания трансформирован для каждого блока в прикладной математический однородный метод.

Полученное описание служит основой для третьего этапа – исследования процедур функционирования и адаптации системы.

#### Литература

1. Основы построения АСУ / под ред. В. И. Костюка. – Москва: Сов. радио, 1977. – 304 с.
2. Дранев, Я. А. Модель принятия решений в динамической двухуровневой системе / Я. А. Дранев // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 1. – С. 94–102.
3. Воронов, А. А. Введение в динамику сложных управляемых систем / А. А. Воронов. – Москва: Наука, 1985. – 352 с.
4. Findeisen et al. Control and Coordination in Hierarchical Systems. – New York: Wiley, 1980. – 467 p.
5. Singh, M. G. Dynamical Hierarchical Control / M. G. Singh. – Amsterdam: North Holland, 1977. – 576 p.
6. Советов, Б. Я. Адаптивные автоматизированные системы управления производством / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2013. – 186 с.
7. Русяева, Е. Ю. Концептуальные основы теории активных систем, их развитие в теории управления организационными системами: тенденции и перспективы / Е. Ю. Русяева, С. А. Салтыков // Проблемы управления. – 2017. – № 4. – С. 74–83.
8. Угольницкий, Г. А. Устойчивое развитие организаций / Г. А. Угольницкий. – Москва: Физматгиз, 2011. – 320 с.
9. Горелов, М. А. Иерархическая игра с умышленным искажением информации / М. А. Горелов // Автоматика и телемеханика. – 2016. – № 4. – С. 89–113.
10. Лавлинский, С. М. Двухуровневая модель государственно-частного партнерства / С. М. Лавлинский, А. А. Панин, А. В. Плясунов // Автоматика и телемеханика. – 2015. – № 11. – С. 89–103.
11. Береснев, В. П. О задаче конкурентного размещения предприятия со свободным выбором поставщиков / В. П. Береснев // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 4. – С. 94–105.
12. Сагынгаалиев, К. С. Согласование планирования в трехуровневой активной системе / К. С. Сагынгаалиев // Автоматика и телемеханика. – 1988. – № 3. – С. 80–91.
13. Управление трехуровневой производственной системой типа «человек-машина» / Д. Голенко-Гинзбург, В. Кац, С. Синяковский, Э. Л. Ицкович // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 5. – С. 166–184.
14. Угольницкий, Г. А. Алгоритмы решения дифференциальных моделей игр / Г. А. Угольницкий, А. Б. Усов // Автоматика и телемеханика. – 2016. – № 5. – С. 148–158.
15. Теоретико-игровые регламенты механизмов управления устойчивым развитием мелководных экосистем / А. и. Сухинов, А. Е. Чистяков, Г. А. Угольницкий и др. // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 6. – С. 122–137.
16. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – Москва: Физматгиз, 2012. – 344 с.
17. Абдикеев, Н.М. Управление знаниями корпорацией и реинжиниринг бизнеса / Н. М. Абдикеев. – Москва: Инфра, 2010. – 352 с.
18. Васильев, С. Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С. Н. Васильев. – Москва: Физматлит, 2000. – 352 с.
19. Системное применение задачи статического линейного программирования в адаптивной системе управления производством / М. П. Бестужев, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской, А. И. Яшин // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2017. – № 5. – С. 10–16.
20. Мизон, В. А. Интеллектуальные методы управления предприятием / В. А. Мизон. – Санкт-Петербург: Академия управления и экономики, 2008. – 302 с.
21. Альсевич, В. В. Оптимизация линейных экономических моделей: статические задачи / В. В. Альсевич, Р. Габазов, В. С. Глушенков. – Минск: БГУ, 2000. – 210 с.
22. Исмаилов, И. Г. Об одном классе модельных задач оптимизации с континуумом решений / И. Г. Исмаилов, Ю. О. Кузнецов // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 5. – С. 96–103.

V.D. Chertovsky

## FORMATION OF THE ADAPTIVE AUTOMATED MANUFACTURING CONTROL SYSTEM DESCRIPTION

The relevancy of the study of the adaptive automated manufacturing control systems in the light of creation of digital economy is shown. The technology of study is offered: system analysis – the mathematical description of processes – data acquisition for it. By means of system analysis the three-block composition of the system is revealed. Each block is characterized by the universal three-level structure of the local system. Selection of a method of the formal description is made on the basis of consideration of the system features. It is the generalized uniform method allowing to consider optimal regime, operational transition to release of new production, interaction of planning and control processes, integration of levels. The generalized specific methods of obtaining the numeric data necessary for activation of the formal description are offered. The generalized method is transformed into an application-oriented uniform method for local systems considering their specifics.

The adaptive automated system, manufacturing units, structure of units, the generic description, numeric data, application-oriented description.