



В.Д. Чертовской
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ: АВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

В стране идет цифровизация экономики, в том числе с помощью процессов управления разных классов. Область применения теории управления достаточно широка: от технических до организационных систем. Разные классы систем имеют свою специфику, которая отражена в многочисленных публикациях. В то же время для систем управления характерны общие свойства. Их учет позволяет улучшить качество применяемых систем. Общим свойствам управления и посвящена настоящая работа.

Цифровизация, процесс управления, технологии, структура, классификация, методы описания.

Одним из важных направлений развития страны является ее цифровизация, одним из направлений решения которой является применение систем управления разных классов. Наиболее проработанным и широко применяемым классом является теория автоматического управления. По теории автоматического управления (ТАУ) имеется значительное количество учебников и учебных пособий [1].

Вместе с тем все шире применяется автоматизированное управление организационно-экономическими системами, позволяющее существенно повысить качество производственных систем.

Прямое применение в автоматизированных системах управления (АСУ) закономерностей ТАУ из-за их специфики не представляется возможным.

К особенностям АСУ относятся:

1. Процесс планирования становится самостоятельным и динамическим.

2. Процесс управления становится все более динамичным, что требует использования приемов ТАУ.

По различным аспектам автоматизированного управления имеется значительное количество публикаций [2–6], которые требуют систематизации и упорядочения для лучшего усвоения теории управления.

В работе излагаются современное состояние теоретических и прикладных вопросов теории как автоматизированного, так и автоматического управления. Рассмотрен математический аппарат, приведено его прикладное применение.

Чтобы рассмотреть общие свойства систем управления разных классов, целесообразно построить схему отдельного структурного элемента системы (рис. 1). На нем введены следующие обозначения.

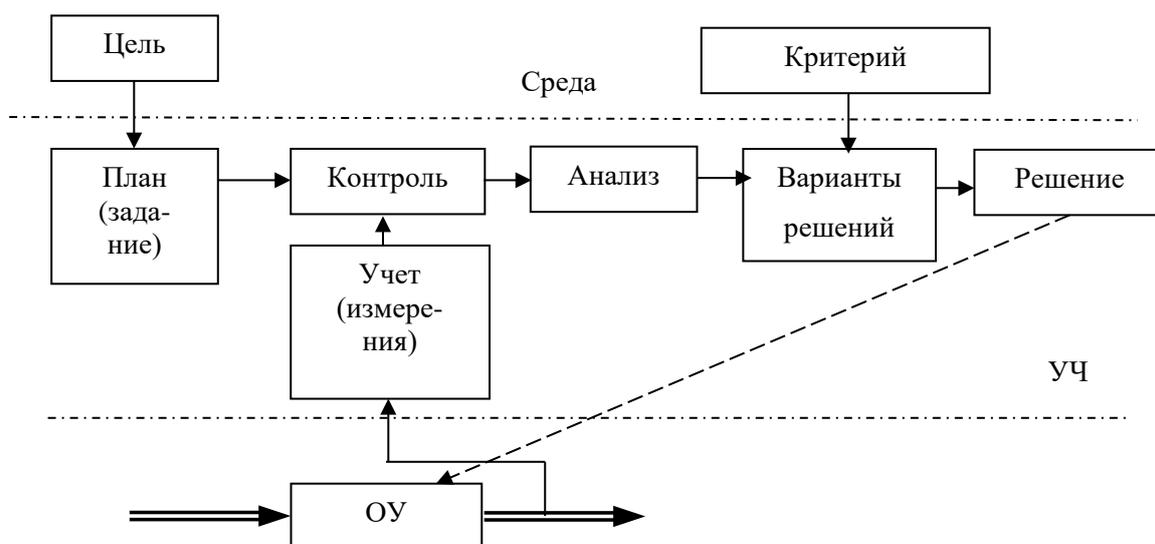


Рис. 1. Цикл управления

Учет (измерения) – определение текущего состояния системы.

Контроль (ошибка) – выявление отклонений текущего состояния системы от планового.

Анализ – выявление причин отклонения.

Критерий – оценка вариантов решений.

Если на всех этапах цикла управления системы работает человек, то это **ручное управление**. Процессы в этой области называют менеджментом. Если на всех этапах цикла управления работают только компьютеры, то это – автоматическое управление. Такие системы автоматического управления иногда называют информационно-управляющими.

Если компьютеры используются хотя бы на одном этапе, то это **автоматизированные системы**. В них выделяют информационно-поисковые (ИПС) и информационно-советующие (ИСС), информационно-управляющие (ИУС) системы.

В информационно-поисковых системах (рис. 2) компьютер работает на этапах планирования, учета и контроля. Остальные этапы являются прерогативой человека.

В ИСС компьютер работает на всех этапах цикла и выдает человеку решения-советы. Руководить принимает окончательное решение, вводя его в режиме диалога с компьютером. В ИУС (рис. 1) компьютер работает на всех этапах цикла.

Тогда по характеру процессов в системе могут быть выделены классы.

Для всех классов – процессов управления характерны понятия анализ и синтез.

Анализ системы – исследование свойств существующей системы.

Синтез системы – построение новой системы по сформулированным требованиям.

Итог определения анализа и синтеза может быть представлен в виде таблицы 1.

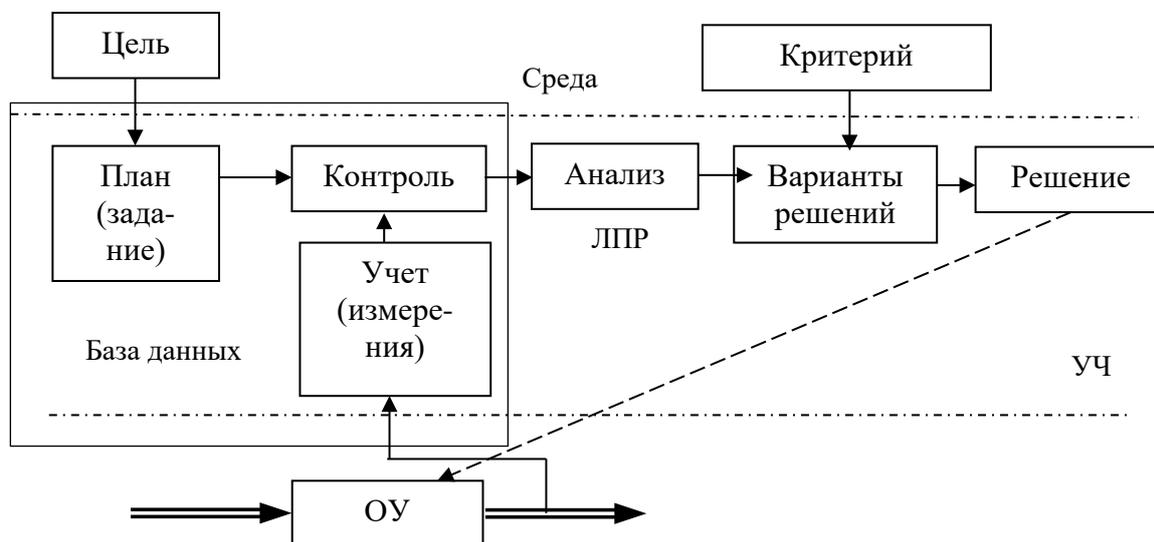


Рис. 2. Информационно-поисковый режим: ЛПР – лицо, принимающее решения (руководитель)

Таблица 1

Использование технологий анализа и синтеза систем управления

Системный анализ	Синтез (киберфизический подход)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение цели функционирования рассматриваемой процедуры. 2. Классификация и общая структура исследуемой системы. 3. Разделение структуры на структурные элементы, проверка их физической совместимости. 4. Выявление особенностей изучаемой системы (адаптация и интеллектуальность). 5. Формирование требований к методам математического описания структурных элементов, процессов планирования и управления. 6. Выбор методов, программирование с согласованием описания структурных элементов. 7. Идентификация данных описания. 8. Отладка. 9. Работа системы. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение цели функционирования проектируемой процедуры. 2. Определение структурных элементов. 3. Физическое согласование элементов. 4. Введение требований к системе, выбор методов описания элементов. 5. Формирование характеристики объекта управления. 6. Выбор критерия синтеза. 7. Определение характеристики управляющей части по сформированным правилам. 8. Определение характеристики корректирующего устройства. 9. Программирование (в том числе выбор) с согласованием описания структурных элементов. 10. Проверка работоспособности сформированной системы. 11. Работа системы.

Графически этот результат можно представить в таком виде (рис. 4).

Рассмотренные общие положения могут быть использованы на начальном этапе построения системы любого класса (рис. 4). Рассмотрим в качестве примера наименее освещенный в литературе класс информационно-управляющих систем со структурой, показанной на рисунке 5.

ИУС обладают следующими особенностями.

1. Высокая динамичность свойств в силу динамичности спроса, определяющего цель работы системы.
2. Многоуровневый характер бизнес-процессов планирования и управления со связями подчинения (иерархическая структура).
3. Изменение на границах уровней масштабов описания процессов по координатам и времени.

4. Целенаправленность функционирования высококоразмерной системы, подверженной целевым воздействиям и структурным изменениям как системы в целом, так и ее отдельных элементов.

5. Проявление целенаправленности в виде целевых функций, позволяющих одновременно выполнить оптимизацию процессов.

6. Потребность в адаптации системы к быстрому изменению характеристик внешней среды (при оперативном переходе на выпуск новой продукции) и ее интеграция с процессами функционирования.

7. Необходимость оценки экономических свойств как отдельных элементов, так и системы в целом.

8. Потребность в системной оценке динамических свойств.



Рис. 4. Схема теории управления

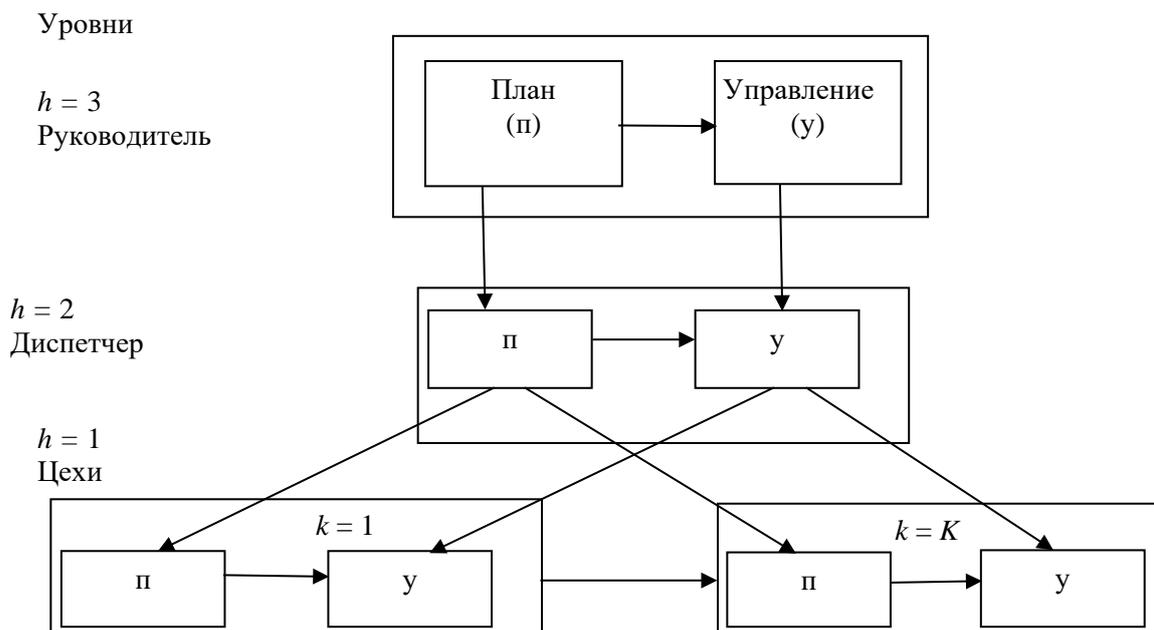


Рис. 5. Схема трехуровневой системы

Учет специфики изучаемого класса систем позволяет сформулировать основные требования к методам математического описания этих систем.

1. Поддержка оптимального режима.
2. Учет многоуровневой структуры системы.
3. Достаточная адекватность описания процессов.
4. Обеспечение процедуры адаптации и ее интеграция с процедурой функционирования.
5. Необходимость согласования экономических интересов элементов.
6. Потребность в координации динамических свойств элементов.
7. Учет нелинейного характера процесса управления в системе.
8. Совместная оценка экономических и динамических свойств.
9. Однородность аппарата математического описания процессов планирования и управления.

Анализ требований позволяет сделать заключение, что для процессов планирования и управления возможно использовать аппарат линейного программирования и динамического линейного программирования (ДЛП). В применении к многоуровневой структуре эти методы трансформируются в однородный метод.

Опишем процессы для трехуровневой системы.

Уровень $h = 1$.

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

$$\mathbf{y}_k(t_i) = \mathbf{C}_k \mathbf{z}_k(t_i), \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{D}_1^m \mathbf{u}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}^m(0), \quad (3)$$

$$\mathbf{y}_k(T) \leq \mathbf{Y}(T), \quad (4)$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{b}_k^m(t_{i-1}), \quad (5)$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{u}_k(t_i) \leq \mathbf{b}_k^m(t_{i-1}), \quad (6)$$

$$\mathbf{b}_k^m(t_i) = \mathbf{b}_k^m(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^m(t_{i-1}), \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i) = \mathbf{p}_k(t_i) - \mathbf{y}_k(t_i), \quad (8)$$

$$J_k = \sum_{i=0}^N \{ \mathbf{C}_{1k} \boldsymbol{\varepsilon}_k(t_i) + \mathbf{C}_{2k} \mathbf{u}_k(t_i) \} \rightarrow \min, \quad (9)$$

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

где \mathbf{z} , \mathbf{y} – вектор-столбцы состояния и выхода, \mathbf{u} – вектор-столбец J управления, \mathbf{R} – вектор-столбец спроса; \mathbf{D} – матрица норм расходов, \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{Y} – вектор-столбец управления 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.

При описании уровня $h = 2$ выражения (6), (9) заменяют на выражения (10), (11).

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{u}_k(t_{i+1}) \leq \mathbf{b}_k^m(t_i) + \mathbf{y}_{k-1}(t_i) - \mathbf{D}_k^m \mathbf{u}_k(t_i), \quad (10)$$

$$J = \sum_{i=1}^K J_k \rightarrow \min, \quad (11)$$

Уровень $h = 3$.

$$\mathbf{Z}(t_i) = \mathbf{A} \mathbf{Z}(t_{i-1}) + \mathbf{B} \mathbf{U}(t_{i-1}), \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0, \quad (12)$$

$$\mathbf{Y}(t_i) = \mathbf{C} \mathbf{Z}(t_i), i = 1, N, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv, \quad (13)$$

$$\mathbf{D} \mathbf{U}(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \mathbf{Y}(t_i) \leq \mathbf{Y}, \quad (14)$$

$$\mathbf{E}(t_i) = \mathbf{P}(t_i) - \mathbf{Y}(t_i), \quad (15)$$

$$J = \sum_{i=0}^N \{ \mathbf{C}_1 \mathbf{E}(t_i) + \mathbf{C}_2 \mathbf{U}(t_i) \} \rightarrow \min, \quad (16)$$

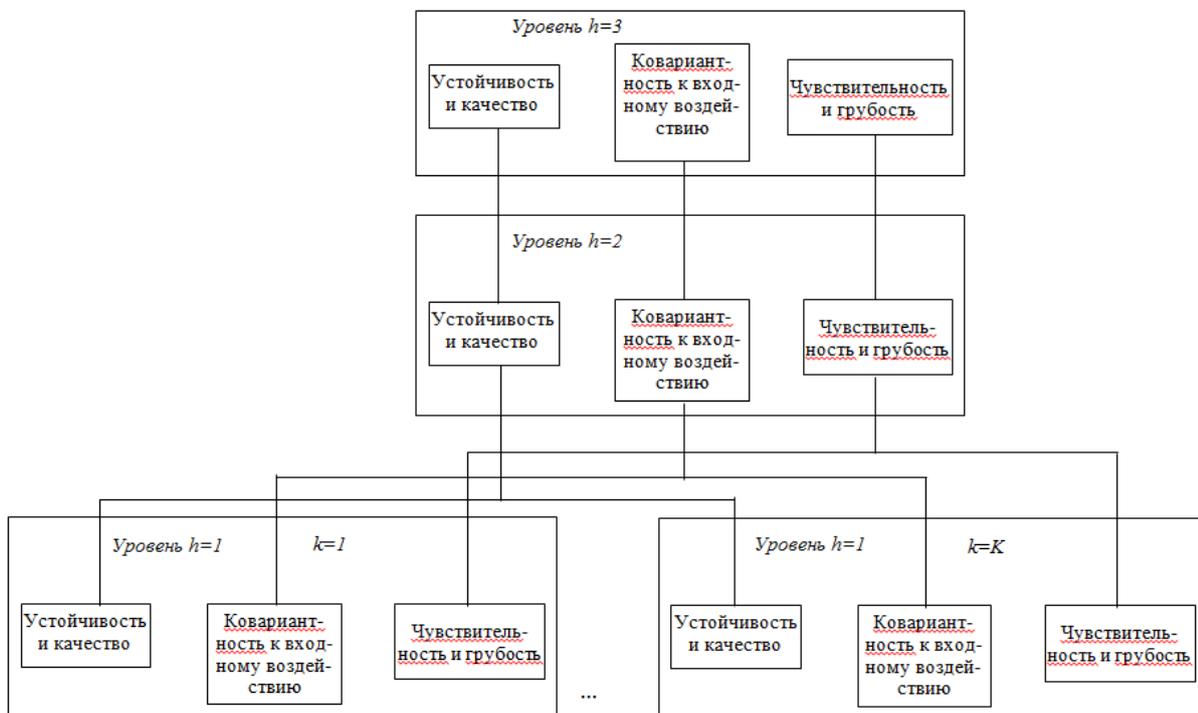


Рис. 6. Соотношение динамических свойств уровней, многоуровневой системы

Исследуем динамические свойства системы. Введем следующие векторные свойства.

1. Устойчивость и качество системы.
2. Ковариантность к входному воздействию.
3. Чувствительность и грубость системы.

Первоначально изучим поведение отдельных структурных элементов как линейных, а затем учтем нелинейный характер описания элемента.

Необходимо выявить связи корней характеристического уравнения замкнутой системы с линейным критерием с точки зрения неколебательности корней и оптимальности критерия.

Рассмотрим критерий $\int \varepsilon(t) dt$ для системы с передаточной функцией замкнутой системы.

$$y(s) = M(s)/D(s)u(s),$$

где $\varepsilon(t) = p(t) - y(t)$

$$M(s) = b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m, \quad (17)$$

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n, \quad m \leq n. \quad (18)$$

Показано, что в наиболее часто встречающемся случае нулевых (пред)начальных условиях и $u(t) = 1(t)$

$$S = \int_{t=0}^{\infty} \varepsilon(t) dt = (b_m a_{n-1} - a_n, b_{m-1}) / a_n^2. \quad (19)$$

Можно получить величину S как функцию только от коэффициентов $D(s)$.

Выражение (19) наталкивает на мысль экспериментального получения экстремального значения S в зависимости от параметров при условии только вещественных значений корней характеристического уравнения (неколебательность переходного процесса).

Отметим, что для ковариантности скачкообразного входного сигнала (плана) необходим астатизм первого порядка.

В этом случае структурная схема для наиболее часто встречающегося случая инерционного объекта первого порядка

$$u(t) = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt. \quad (20)$$

В качестве примеров представим некоторые частные задачи.

Задача «перекос» в выполнении плана. Имеются виды продукции с планами выпуска P_1 и P_2 (рис. 7). Для планового выпуска продукции вида 1 ресурсов недостаточно, тогда как для продукции 2 их с избытком. Здесь возможны два варианта решений.

1. Выявить, в какую «точку» придет выполнение плана при наличных ресурсах и сохранении соотношений доли ресурсов, отводимых для соответствующей продукции.

2. Увеличение в рамках оптимального плана выпуска продукции, обеспеченной ресурсами, в противовес продукции с дефицитными ресурсами («перекос» плана) с последующим возвратом к выпуску последнего вида продукции.

Пусть в первом случае имеется наличное количество ресурсов меньше планового значения или $b'_{\psi}(T_r) < b_{\psi}(T_r)$, где $\psi = m, q, s$ – материальные ресурсы, фонд работы оборудования и трудовых ресурсов; T_r – ретроспективный интервал времени (например, с начала месяца).

Тогда задача запишется в виде

$$z(T) = [T_p](X[T_p] - P[T_p]),$$

$$Y[T_p] = Cz[T_p],$$

$$C = \text{diag} \{ \tau_j^{-1} \},$$

$$X_j[T_p] = \min \{ X_j^m[T_p], X_j^q[T_p], X_j^s[T_p] \},$$

$$X_{\psi j}[T_p] = \min \{ d_{\psi j}[T_p] b'_{\psi}(T_r) / b_{\psi}(T_r) / a_{\psi j} \},$$

j

$$d_{\psi j} = \{ a_{\psi j} P_j[T_p] \} / \{ \sum a_{\psi j} P_j[T_p] \},$$

$j = 1$

где T_p – перспективный интервал времени, оставшийся до конца планового периода T (например, до конца месяца); $X = \{ X_j \}$ – темп запуска скомплектованных ресурсов в производство; τ_j – длительность технологического цикла изготовления продукции вида j ; $a_{\psi j}$ – норма расхода ресурсов; Y_j, P_j – текущий выпуск и план выпуска продукции; $d_{\psi j}$ – доля ресурса ψ в продукции j в соответствии с ранее рассчитанным планом.

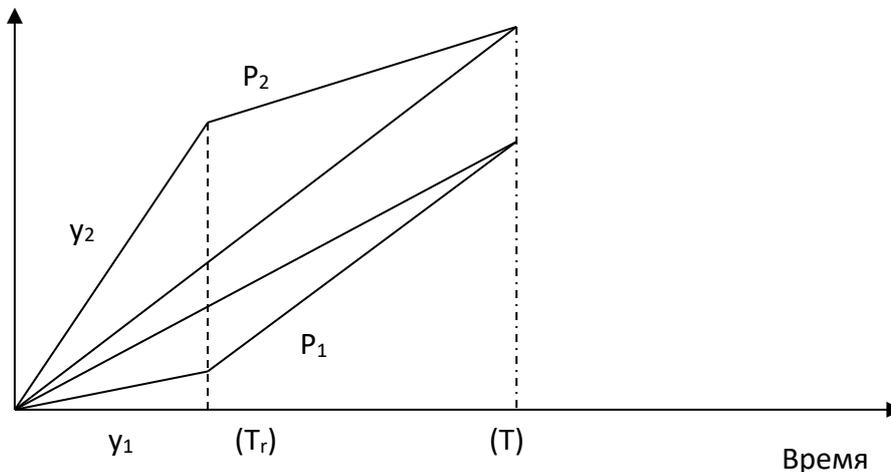


Рис. 7. «Перекас» в выполнении плана

Варианты изменений параметров

Номер строки	I	II	III	IV
1. $\Delta R_3 = 0$ $\Delta R_4 = 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta c = 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F \neq 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F \neq 0$
2. $\Delta R_3 \neq 0$ $\Delta R_4 = 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F \neq 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F \neq 0$
3. $\Delta R_3 = 0$ $\Delta R_4 \neq 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F \neq 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F \neq 0$
4. $\Delta R_3 \neq 0$ $\Delta R_4 \neq 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F = 0$	$\Delta b = 0$ $\Delta F \neq 0$	$\Delta b \neq 0$ $\Delta F \neq 0$

Такое решение чревато тем, что в ожидании поступления дефицитных ресурсов не используются накапливаемые (материальные) ресурсы и теряются ненакапливаемые (остальные) ресурсы.

В этом случае продукция вида 2 выпускается в количестве $Y_2 > P_2$, а $Y_1 > P_1$ (рис. 7). При поступлении ресурса, необходимого для выпуска продукции вида 1, в точке (T_r) производится новый пересчет плана.

В связи с этим более выгоден второй способ с пересчетом плана по отклонениям. По этому плану работа идет до поступления дефицитных ресурсов, после чего осуществляется возврат к начальному плану или переход к вновь пересчитанному плану.

Приведем другой пример.

Исключение старых и введение новых структурных элементов. Интегральный и однородный методы позволяют математически описать не только изменение структурных связей системы, но и изменения (исключения старых и введение новых) структурных элементов. Возможные изменения параметров отдельного структурного элемента показаны в таблице 2.

Рассмотрим вариант II строку 3 таблицы 2.

Возьмем для изучения только уровень $h = 2$, поскольку для остальных уровней рассуждения будут аналогичны.

Технология исследования процесса может быть представлена в виде алгоритма, в котором выделены дополнительные «структурные» возмущения $\mathbf{w}_k^{(s)}(t)$ и $\mathbf{w}_r^{(n)}(t)$.

Шаг 1. Определяется управление $\mathbf{u}_k(t)$ для системы при $\mathbf{V}_{0k} = 0$ и при фиксированной структуре. Такое решение (при $L = 1$) имеет вид

$$\mathbf{u}_k(t) = \mathbf{u}_k^l(t) + \mathbf{u}_k^r(t) + \mathbf{u}_k^p(t) + \mathbf{u}_k^w(t), \quad (21)$$

где \mathbf{u}_k^l , \mathbf{u}_k^r , \mathbf{u}_k^w определяются составляющими для описания объекта управления; \mathbf{u}_k^p – вектор-столбцом плана p . Для выявления структурного переходного процесса полагаем далее $\mathbf{w}_k^c(t) = 0$.

Шаг 2. В момент $t = T = 0_-$ начинается структурный переходный процесс, момент начала которого, не снижая общности, примем за новый нуль. В выражении (21) определяются конечные значения состояния $\mathbf{z}_k(T)$ при фиксированной старой структуре, являю-

щейся начальными значениями $\mathbf{z}_k(0_-)$ для структурного переходного процесса ($\mathbf{z}_k(T) = \mathbf{z}_k(0_-)$).

Шаг 3. С помощью выражений (21) и описания управляющей части составляется описание для стационарного процесса.

При изменении цели функционирования могут исчезать старые или появляться новые координаты $\mathbf{v}(t)$, где \mathbf{v} – любой из вектор-столбцов выражений объекта управления и управляющей части; исчезать старые или появляться новые связи; меняться интенсивность связей, что учитывается матрицей $\mathbf{E}_{kj}(t) = \{e_{kj}^{pq}(t)\}$ с элементами $0 \leq e_{kj}^{pq}(t) \leq 1$.

Обозначим старые координаты и матрицы надстрочным индексом (s), а новые – индексом (n). Новые связи получают двухиндексные обозначения (например, (sn)). Примем, что $\mathbf{z}_k^{(s)}(0_-) = \mathbf{z}_k(T)$, а $\mathbf{z}_k^{(n)}(0_-) = 0$.

Тогда

$$\begin{aligned} \mathbf{z}^{(s)}(t) &= \mathbf{A}_k^{(s)} \mathbf{z}_k^{(s)}(t) + \\ &+ \sum_{j=1, j \neq k} \mathbf{E}_{kj}^{(s)}(t) \mathbf{A}_{kj}^{(s)} \mathbf{z}_j^{(s)}(t) + \sum_{j=1} \{ \mathbf{E}_{kj}^{(sn)}(t) \mathbf{A}_{kj}^{(sn)} \} \mathbf{z}_j^{(n)}(t) + \\ &+ \mathbf{B}_s^{(s)} \mathbf{u}_r^{(s)}(t) + \mathbf{w}_s^{(s)}(t), \\ \mathbf{z}_k^{(s)}(0) &= \mathbf{z}_k^{(s)}(T), \mathbf{y}_k^{(s)}(t) = \mathbf{C}_k^{(s)} \mathbf{z}_k^{(s)}(t); \\ \mathbf{z}_r^{(n)}(t) &= \mathbf{A}_r^{(n)} \mathbf{z}_r^{(n)}(t) + \\ &+ \sum_{k=1} \{ \mathbf{E}_{kj}^{(n)}(t) \mathbf{A}_{rj}^{(n)} \} \mathbf{z}_j^{(n)}(t) + \\ &+ \sum_{k=1} \{ \mathbf{E}_{kj}^{(ns)}(t) \mathbf{A}_{kj}^{(ns)} \} \mathbf{z}_j^{(s)}(t) + \mathbf{B}_r^{(n)} \mathbf{u}_r^{(n)}(t) + \mathbf{w}_r^{(n)}(t), \\ \mathbf{z}_k^{(n)}(0) &= \mathbf{z}_{k0}^{(n)}, \mathbf{z}_j^{(n)}(0) = \mathbf{z}_{j0}^{(n)}, k = 1, K; \\ \mathbf{y}_r^{(n)}(t) &= \mathbf{C}_r^{(n)} \mathbf{z}_r^{(n)}(t), \end{aligned} \quad (22)$$

где $\{ \mathbf{E}_{kj}^{(\gamma\gamma)}(t) \mathbf{A}_{kj}^{(\gamma\gamma)} \}$ ($\gamma = (n)$ или $\gamma = (s)$) – матрицы раз-
мерностей $(n_k^{(\gamma)} \times n_j^{(\gamma)})$.

Трансформируется и целевая функция управляющей части, при этом очевидно, что

$$\mathbf{e}_k^{(s)}(t) = \mathbf{p}_k^{(s)}(t) \mathbf{y}_k^{(s)}(t).$$

Структурные возмущения, как видно из (22), получают вид

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{w}_k^{(s)}(t) = \sum_{j=1, j \neq k}^K \{[\mathbf{I} - \mathbf{E}_{kj}^{(s)}(t)]\mathbf{A}_{kj}^{(s)}\}\mathbf{z}_j^{(s)}(t) + \\
 & + \sum_{j=1}^K \{\mathbf{E}_{kj}^{(sn)}(t)\mathbf{A}_{kj}^{(sn)}\}\mathbf{z}_j^{(n)}(t), \quad (23) \\
 & \mathbf{w}_k^{(n)}(t) = \sum_{j=1}^R \{E_{kj}^{(ns)}(t)\mathbf{A}_{kj}^{(ns)}\}\mathbf{z}_j^{(s)}(t) + \\
 & + \sum_{j=1}^K \{\mathbf{E}_{kj}^{(n)}(t)\mathbf{A}_{kj}^{(n)}\}\mathbf{z}_j^{(n)}(t), \quad (24)
 \end{aligned}$$

где \mathbf{I} – матрица с нулевой диагональю и остальными единичными элементами.

Видно, что

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}_k^{(s)}(t) &= \mathbf{u}_k^{(s)n}(t) + \mathbf{u}_k^{(s)r}(t) + \mathbf{u}_k^{(s)p}(t) + \mathbf{u}_k^{(ss)}(t) + \mathbf{u}_k^{(sn)}(t), \text{ а} \\
 \mathbf{u}_k^{(n)}(t) &= \mathbf{u}_k^{(n)n}(t) + \\
 & \mathbf{u}_k^{(nr)}(t) + \mathbf{u}_k^{(np)}(t) + \mathbf{u}_k^{(nn)}(t) + \mathbf{u}_k^{(ns)}(t),
 \end{aligned}$$

где $\mathbf{u}_k^{(ss)}$ и $\mathbf{u}_k^{(sn)}$ соответствуют первому и второму членам выражения (23), а $\mathbf{u}_k^{(ns)}$ и $\mathbf{u}_k^{(nn)}$ – членам выражения (24).

Фактически для определения «структурных» управлений $\mathbf{u}^{(\gamma)}(t) = \mathbf{u}^{(\gamma\gamma)}(t) + \mathbf{u}_\delta^{(\gamma)}(t)$, $\gamma \neq \varphi$; $\varphi = s$ или $\varphi = n$; $\delta = k$ или $\delta = r$, а, стало быть, выходов $\mathbf{y}_\delta^{(\gamma)}(t)$, для линейной системы достаточно решить уравнение.

$$\mathbf{z}^{(\gamma)}(t) = \mathbf{A}_\delta^{(\gamma)}\mathbf{z}_\delta^{(\gamma)}(t) + \mathbf{B}_\delta^{(\gamma)}\mathbf{u}_\delta^{(\gamma)}(t) + \mathbf{w}_\delta^{(\gamma)}(t). \quad (25)$$

Из его решения $\mathbf{u}_\delta^{(\gamma)}(t) = \mathbf{u}_\delta^{(\gamma)}(t) + \mathbf{u}_{\delta c}^{(\gamma)}(t)$ следует вычесть собственные движения $\mathbf{u}_{\delta c}^{(\gamma)}(t)$, определяемые из (25) при $\mathbf{w}_\delta^{(\gamma)}(t) = 0$. Для исследования процессов (25) возможно использовать методы изучения стационарного режима, минимизируя длительность β структурного переходного процесса. Очевидно, что $\mathbf{z}_\delta^{(\gamma)}(\beta) = 0$ и начинается стационарный процесс для новой структуры.

Заметим, что на интервале времени β может изучаться и векторное свойство (качество управления, точность).

Использование в ней теоретических приемов ТАУ является естественной мыслью. В автоматизированных системах выделяются процесс планирования и процесс управления. Процесс планирования становится самостоятельным. Выделяется стационарный (параметры системы фиксированы в процедуре функционирования системы) и нестационарный (параметры изменяются) процесс планирования. Он становится динамичным.

Управление становится возможным с использованием однородного метода и через процесс планирования.

Следует подчеркнуть, что теория автоматизированного управления, особенно в части динамического процесса управления, находится в начальной стадии развития и требует проведения дальнейших исследований.

Литература

1. Теория автоматического управления / Алексеев А. А., Душин С. Е., Зотов Н. С. [и др]. – Москва : Высшая школа, 2003. – 567 с.
2. Советов, В. Я. Автоматизированное адаптивное управление производством / Советов В. Я, Чертовской В. Д. – Санкт-Петербург : Лань, 2003. – 174 с.
12. Месарович, М. Теория иерархических систем : перевод с английского / Месарович М., Мако Д., Такакура Я. – Москва : Мир, 1973. – 344 с.
4. Чертовской, В. Д. Технологии искусственного интеллекта в управлении : учебное пособие / В. Д. Чертовской. – Санкт-Петербург : СПГУВК, 2012. – 190 с.
5. Советов, Б. Я. Основы теории управления / Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовской В. Д. – Санкт-Петербург : Политехника, 2006. – 219 с.
6. Чертовской, В. Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством / В. Д. Чертовской. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 200 с.

V.D. Chertovskoy

Saint-Petersburg Uljanov (Lenin) State Electrotechnical University

CONTROL THEORY: AUTOMATIC AND AUTOMATED SYSTEMS

The country is digitizing the economy, including with the help of different classes of control processes. The scope of control theory is quite wide: from technical to organizational systems. Different classes of systems have their own specifics which are reflected in numerous publications. At the same time, control systems are characterized by common properties. Taking them into account makes it possible to improve the quality of the applied systems. The present work is devoted to the general properties of control.

Digitizing, control process, technologies, structure, classification, description methods.