

FİZİKA-RİYAZİYYAT VƏ TEXNİKA ELMLƏRİ

УДК 681.3.01

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ
ОПЕРАТИВНО-ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Член-корреспондент НАНА А.Б.Садыгов

Сформулирована задача оперативно-организационного управления динамическим объектом, разработан метод оптимизации систем управления, построена принципиальная схема системы автоматического управления, основанная на формировании сигнала ошибки.

Ключевые слова: оптимизация, оперативное управление, информационные системы, управление процессами и объектами

Введение

Задачи оперативно-организационного управления имеют чрезвычайно широкое распространение в сфере управления, как традиционными динамическими объектами, так и объектами, проблемы оптимального управления которыми начали рассматривать лишь в последние десятилетия. К ним в первую очередь следует отнести технологические процессы, участки производства, цехи, промышленные предприятия и т.д. Вслед за этими объектами можно назвать крупные территориальные объединения, крупные информационные системы и, наконец, вычислительные процессы и вычислительные системы.

Рассматриваемые в настоящей работе задачи и методы оптимизации находят широкое применение во всех перечисленных выше сферах управления, однако, поскольку принципы их построения имеют определенную специфику, целесообразность использования систем оперативно-организационного управления необходимо определять по сопоставлению на основе технических, эксплуатационных и экономических показателей с системами управления других типов, например, с системами, построенными на основе традиционных принципов теории автоматического управления. В то же время существует достаточно широкий класс объектов управления фактически во всех сфе-

рах практических приложений, где системы оперативно-организационного управления являются, по-видимому, единственным средством достижения поставленной цели управления [1], [2].

Постановка задачи

Рассмотрим объект управления, в каждый момент времени t характеризуемый вектором параметров состояния (выхода) $\vec{x}(t)$ (этот вектор часто называют также фазовым вектором), вектором управляющих переменных $\vec{u}(t)$, вектором возмущающих воздействий $\vec{\xi}(t)$ и вектором наблюдаемых переменных $\vec{y}(t)$. Последние являются теми обобщенными координатами управляемого объекта, сведения об изменении которых поступают на систему управления [3]. Если непосредственно могут быть изменены параметры состояния x^j , то $x^j = y^j$. Далее для простоты положим, что это условие выполняется для всех j и $\vec{x}(t) = \vec{y}(t)$.

Связь между векторами $\vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\xi}(t)$ задается уравнениями связи

$$\dot{\vec{x}}(t) = X[\vec{x}(t), \vec{u}(t_0, t), \vec{\xi}(t_0, t)], \quad (1)$$

где t_0 – начальный момент времени.

Если объект можно характеризовать дифференциальными уравнениями, то вместо (1) можно записать уравнения в нормальной форме Коши

$$\dot{\vec{x}}(t) = f(\vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\xi}(t), t). \quad (2)$$

Решение задачи

Для нахождения $\vec{x}(t)$ по известным $\vec{u}(t)$ и $\vec{\xi}(t)$ на интервале времени $[t_0, T]$ необходимо знать краевые условия на его левом конце, т.е. $\vec{x}(t_0)$, или на правом конце, т.е. $\vec{x}(T)$. При этом решение уравнений (2) называют решением задачи Коши. В случае, когда необходимо перевести объект из начального состояния $\vec{x}(t_0)$ в конечное состояние $\vec{x}(T)$, т.е. заданы одновременно и $\vec{x}(t_0)$ и $\vec{x}(T)$, говорят о необходимости решения так называемой двухточечной краевой задачи (или просто краевой задачи). Решение последней представляет значительно более серьезную проблему, чем решение задачи Коши.

В большей части практически важных задач управления имеют место фазовые ограничения (или ограничения вдоль траектории)

$$\vec{x}(t) \in E_x \quad (3)$$

и ограничения на управление

$$\vec{u}(t) \in E_u, \quad (4)$$

где E_x и E_u – заданные многообразия в линейных метрических пространствах R^{n+1} и R^{m+1} соответственно (n – размерность $\vec{x}$; m – размерность $\vec{u}$).

Выбор вектор-функции $\vec{u}(t)$ должен быть подчинен требованию достижения экстремума показателем цели управления, задаваемого в виде функционала

$$E_{ид}^* = E_{ид}(\vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\xi}(t)) \rightarrow extr. \quad (5)$$

Обращение в экстремум выражения (5) при управлении связи (1) или (2) и ограничениях (3), (4) в общем случае представляет собой трудноразрешимую задачу. Это обусловлено в первую очередь трудностями получения уравнений (1) или (2) объекта предъявляемым к задачам управления, а также трудностями практической реализации закона управления, найденного для такого описания объекта. Поэтому реализацию оптимальной системы управления, как правило, осуществляют в результате выполнения следующих двух этапов:

1) первичной (идеальной) оптимизации, когда для решения вариационной задачи используется упрощенное математическое описание объекта управления; найденную на этом этапе вектор-функцию управления будем обозначать $\vec{u}_{ид}(t)$, а зависимость $\vec{u}_{ид}(t) = \vec{u}_{ид}(\vec{x}(t), t)$ будем называть идеальным алгоритмом управления;

2) вторичной оптимизации (оптимизации качества управления), состоящей в отыскании такой реализуемой вектор-функции управления $\vec{u}^*(t)$, которая, во-первых, в заданном смысле минимально отличается от $\vec{u}_{ид}(t)$ и, во-вторых, учитывает свойства объекта с той степенью полноты, которая достаточна для реализации поставленной цели управления.

В качестве меры приближения идеального алгоритма управления к оптимальному могут быть использованы функционалы, связывающие:

экстремумы цели управления, достигаемые идеальным и реальным алгоритмом управления

$$Q = Q[E_{ид}^* - E^*];$$

идеальный и реальный векторы состояния

$$\Phi = \Phi[\vec{\varepsilon}_{ид}(t) = \vec{x}_{ид}(t) - \vec{x}(t)].$$

Функционал Q называют показателем качества управления, Φ – показателем точности, $\vec{\varepsilon}_{ид}(t)$ – вектором ошибки.

Использование функционала Q по сравнению с функционалом Φ сопряжено со значительно большими трудностями, что связано с необходимостью вычисления текущих значений $E_{ид}^*(t) - E^*(t) = \Delta E(t)$ и возможной неоднозначностью обратной за-

висимости $\vec{u}(t) = \vec{u}(\Delta E(t), \vec{x}(t), t)$. Поэтому практически применяют показатель точности Φ . Схема, в которой для формирования закона управления в автоматической системе используется функционал Φ , приведена на рис. 1.

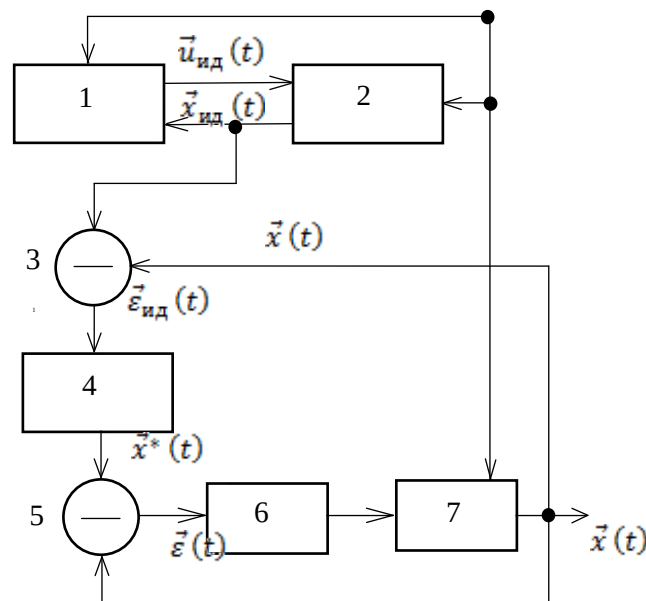


Рис. 1. Принципиальная схема системы автоматического управления, основанная на формировании сигнала ошибки по вектору задания $\vec{x}_{ид}(t)$

На объект 7 оказывают влияние неконтролируемые воздействия $\vec{\xi}(t)$, которые в том или ином виде учитываются идеальной моделью 2, сформированной на основе упрощенного математического описания объекта в форме (1) или (2). Вычислитель идеального режима I решает вариационную задачу, результатом чего являются $\vec{u}_{ид}(t)$ и $\vec{x}_{ид}(t)$. Сравнение $\vec{x}_{ид}(t)$ и $\vec{x}(t)$ устройством 3 позволяет определить $\vec{\epsilon}_{ид}(t)$, после чего оптимизатор точности управления 4 минимизирует функционал Φ и вычисляет оптимальное значение вектора состояния $\vec{x}^*(t)$. Сравнивающее устройство 5 вычисляет разность $\vec{x}^*(t) - \vec{x}(t)$, формирующую сигнал ошибки в замкнутом контуре управления, включающем объект

управления 7 и усилитель мощности 6, обычно необходимый для реализации управления.

В качестве показателя точности Φ , как правило, выбирают функционал следующего вида:

$$\Phi = \int_0^{T_y} \varphi \{ \vec{\epsilon}_{ид}(t) \} dt, \quad (6)$$

где φ – некоторая непрерывная функция аргументов $\epsilon_{ид}^1(t), \epsilon_{ид}^2(t), \dots, \epsilon_{ид}^n(t)$; T_y – момент окончания управления объектом.

В тех случаях, когда представляет интерес мера полного отклонения фактического вектора состояния $\vec{x}(t)$ от идеального на достаточно большом интервале времени, пределы интегрирования в (6) заменяют граничными значениями интервала

$[-\infty \div +\infty]$. Иногда вместо (6) используют оценку не на интервале $[0, T]$, а лишь в определенный момент $t = T$, т.е.

$$\Phi = \varphi [\vec{\varepsilon}_{\text{ид}}(T)]. \quad (7)$$

Очевидно, что может оказаться полезным в качестве показателя точности управления использовать не функционал (6) или единственную оценку (7), а совокупность оценок, проводимых в дискретные моменты времени t_k , которые необходимо выбирать с учетом специфики объекта и поставленной цели управления.

Пусть объект управления, характеризуемый уравнениями (1), должен функционировать на интервале времени $[t_0, T_y]$, причем $(T_y - t_0) \leq \infty$. В момент t_0 известен $\vec{x}(t_0)$. Выберем интервал $[t_0, T]$, полагая $(T - t_0) \ll (T_y - t_0)$, и для этого интервала в ускоренном масштабе времени, пользуясь прогнозирующей идеальной моделью, определим идеальные вектор-функции состояния и управления $\vec{x}_{\text{ид}}(t)$ и $\vec{u}_{\text{ид}}(t)$. Поскольку $\vec{u}_{\text{ид}}(t)$, являющееся решением вариационной задачи (1), (3)-(5), как правило, является нереализуемым, найдем для $t \in [t_0, t_0 + T]$ оптимальный вектор управления $\vec{u}^*(t)$. С этой целью также в ускоренном масштабе времени проводится минимизация показателя точности

$$E = \int_{t_0}^{t_0+T} F \{ \vec{x}_{\text{ид}}(t), \vec{x}(t), \vec{x}(t_0), \vec{u}(t) \} dt$$

При ограничениях связи, ограничениях на управление и фазовых ограничениях типа (1), (3) и (4) соответственно, но учитывающих условия реализуемости управления.

Будем осуществлять управление $\vec{u}^*(t)$ на интервале $\Delta t \ll T$. При этом система управления вплоть до момента $t_1 = t_0 + \Delta t$ будет функционировать по разомкнутому циклу. В момент t_1 необходимо провести оценку фактического состояния объекта $\vec{x}(t_1)$ и вновь в ускоренном масштабе времени рассчитать $\vec{x}_{\text{ид}}(t)$ и $\vec{u}_{\text{ид}}(t)$ для интервала $[t_1, t_1 + T]$ и исходного состояния $\vec{x}_{\text{ид}}(t_1) = \vec{x}(t_1)$. Далее необходимо выработать оптимальное управление $\vec{u}^*(t)$ и реализовать его на объекте в течение интервала времени $[t_1, t_1 + \Delta t]$. По его истечении, т.е. в момент $t_2 = t_1 + \Delta t$, вновь оценивают $\vec{x}(t_2)$, находят $\vec{x}_{\text{ид}}(t)$ и $\vec{u}_{\text{ид}}(t)$ и т.д. К моменту $t_3 = t_2 + \Delta t$ указанная процедура повторяется и далее возобновляется всякий раз в дискретные моменты времени $t_k = t_{k-1} + \Delta t$ до тех пор, пока не будет пройден весь временной интервал $[t_0, T_y]$. Системы, реализующие данный принцип построения, будем называть системами оперативно-организационного управления.

Вероятно, первой задачей, решенной по такому принципу, была рассмотренная Н.Н.Моисеевым задача использования воды водохранилища для орошения. Им же было предложено именовать данный принцип принципом (иногда говорят «подходом», «методом») скользящего плана. Этот термин особенно удачен при рассмотрении задач из области экономики, но для многих технических приложений требуется специальное пояснение термина «план». Поэтому наряду с традиционным мы в дальнейшем будем использовать термин «оперативно-организационное управление».

Заключение

Итак, система оперативно-организационного управления, функционирующая на

интервале времени $[t_0, T_y]$, в заданные дискретные моменты времени $t_0, t_1 = t_0 + \Delta t, t_2 = t_1 + \Delta t, \dots, t_k = t_{k-1} + \Delta t, \dots$, во-первых, осуществляет прогноз идеальной вектор-функции состояния $\vec{x}_{ид}(t)$ и управления $\vec{u}_{ид}(t)$, используя в качестве начальных условий для прогноза фактические значения вектора состояния $\vec{x}(t_k)$, зафиксированные в моменты времени t_k ; во-вторых, прогнозирует оптимальное управление $\vec{u}^*(t)$, являющееся решением вариационной задачи

$$E = \int_{t_k}^{t_k+T} F[\vec{x}_{ид}(t), \vec{x}(t), \vec{x}(t_k), \vec{u}(t)] dt \rightarrow \min;$$

$$\vec{x}(t) = \vec{x}[\vec{x}(t_k), \vec{u}(t_k, t), \vec{\xi}(t_{k,t})]; \quad (8)$$

$$\vec{x}(t) \in E_x;$$

и, в-третьих, реализует на объекте управление $\vec{u}^*(t)$ в течение интервала времени $[t_k, t_k + \Delta t]$.

Принцип действия такой системы иллюстрирует рис. 2.

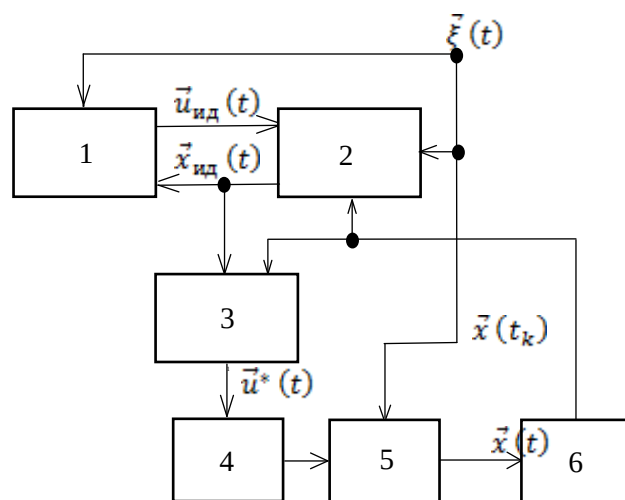


Рис. 2. Принцип построения системы оперативно-организационного управления: 1 – вычислитель идеального режима; 2 – прогнозирующая идеальная модель; 3 – вычислитель $\vec{u}^*(t)$; 4 – исполнительные органы; 5 – объект; 6 – измеритель $\vec{x}(t_k)$

Назовем интервал времени $[t_k, t_k + T]$, на котором требуется найти идеальные и оптимальные управления, интервалом планирования, а интервал $[t_k, t_k + \Delta t]$ – интервалом повторения планирования. Эти интервалы для одного и того же объекта могут быть переменными. Основные соображения по их выбору будут приведены ниже.

Следует подчеркнуть, что для объектов управления некоторых типов необходимость в решении второй вариационной задачи с критерием (8) может отсутствовать. Действительно, если математическая модель (1) объекта и

ограничения (3) и (4) достаточно полно характеризуют объект, то можно положить $\vec{x}_{ид}(t) = \vec{x}^*(t)$ и $u_{ид}(t) = \vec{u}^*(t)$. В схеме, представленной на рис.2, в этом случае будет отсутствовать блок 3, а входом блока 4 будет сигнал $\vec{u}^*(t) = \vec{u}_{ид}(t)$.

Для более наглядного пояснения принципа построения системы оперативно-организационного управления целесообразно рассмотреть некоторые примеры.

ЛІТЕРАТУРА

1. Садыгов А.Б. Модели и технологии решения задач управления в чрезвычайных ситуациях. Баку: Элм, 2017, 356 с.

2. Luis Silva-Domingo. Management Control: Unsolved Problems and Research Opportunities. Innovar, vol. 25, no. 56, Apr./June 2015

3. Певзнер Л. Д. Теория автоматического управления. Задачи и решения. ЭБС Лань, 2016, 604 с.

*Институт систем управления
Национальной академии наук Азербайджана
aminaga.sadigov@gmail.com*

OPERATİV-TƏŞKİLATI İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİNİN
OPTİMALLAŞDIRILMASI METODU

Ə.B. Sadıqov

Dinamik obyektin operativ-təşkilati idarəetmə məsələsi ifadə olunmuşdur. İdarəetmə sistemlərinin optimallaşdırılması üçün metod işlənmişdir. Avtomatik idarəetmə sisteminin səhv signalının formalaşmasına əsaslanan sxematik diaqramı qurulmuşdur.

Açar sözlər: optimallaşdırma, operativ idarəetmə, informasiya sistemləri, proseslərin və obyektlərin idarə edilməsi

THE OPTIMIZATION METHOD OF OPERATIONAL AND
ORGANIZATIONAL MANAGEMENT SYSTEMS

A.B. Sadigov

The problem of operational and organizational control of a dynamic object is formulated. A method for optimizing control system has been developed. A schematic diagram of an automatic control system based on the formation of an error signal is constructed.

Keywords: optimization, operational management, information systems, process and object management