

УДК 519

О.О. Морозов, Л.В. Морозова

Національна академія Національної гвардії України, Харків

## АЛГОРИТМ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

У статті розглядається алгоритм визначення моментів контролю виконання системою визначених завдань, аналізуються можливі причини невиконання таких завдань та зміст управляючих впливів на систему. Ці процедури складають методіку проведення контролю та управління складними організаційно-технічними системами.

**Ключові слова:** складна система, контроль системи, управління системою, частість контролю системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Функціонування будь-якої складної організаційно-технічної системи (далі – система) підпорядковано досягненню певної цілі через виконання визначеного обсягу завдань. Для цього система має або їй виділяється необхідні ресурси. Завдання системі у загальному випадку формулюється як досягнення цілі за встановлений термін через виконання завдань, використовуючи наявні ресурси. При цьому на хід виконання системою завдань можуть впливати різні збурюючі фактори, які можуть викликати позитивний або негативний вплив. Завдання органу управління системи полягає у контролі поточного стану виконання завдань, оцінюванні спроможності досягнення цілі за визначений час та виробленні за необхідності управляючих впливів. Змістом таких впливів може бути корегування цілі, обсягу завдань, терміну їх виконання або кількості ресурсів. Це все є змістом управління системою.

Проблема управління системою полягає в оцінюванні обсягу виконаних завдань, визначенні моментів контролю ходу їх виконання, оцінюванні наслідків відхилення нормального ходу виконання завдань та вироблення конкретних корегуючих впливів.

Звісно, контроль за ходом виконання завдань системою може бути або безперервним, або дискретним. Безперервний або частий контроль тягне за собою зростання витрат на його здійснення. Зростання інтервалів контролю (зменшення частоти контролю) може привести до ситуації, коли управляючий вплив на систему може не забезпечити виконання визначених завдань за встановлений час. Отже необхідно визначати частість контролю стану виконання завдань системою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням організації контролю та управління складними системами присвячено достатньо робіт [1 – 3]. В багатьох джерелах задача організації контролю та

управління системами розглядається як задачі програмного-цільового планування – коли, скільки і які ресурси необхідно виділяти (використовувати) аби система виконала поставлені завдання у встановлені терміни. При цьому, як правило, приймається, що стан системи контрольований, завдання виконуються без порушення встановлених регламентів (механізмів) її функціонування [4, 5]. Контроль системи проводиться через заздалегідь встановлені інтервали часу. Але вплив на систему зовнішніх та внутрішніх збурюючих факторів може призводити до відхилень від встановлених для неї механізмів функціонування та, як наслідок, до необхідності адаптації частоти контролю.

За цих умов важливою є задача визначення частоти контролю системи.

**Мета статті** – розроблення алгоритму контролю виконання системою завдань та прийняття рішень щодо управляючих впливів на систему, яка повинна виконати визначений обсяг завдань у встановлений термін.

### Виклад основного матеріалу

Системі визначена ціль функціонування, яку вона повинна досягти за час  $t$ , який не повинен перевищити встановлений  $t_{\text{вст}}$  ( $t \leq t_{\text{вст}}$ ). Для цього вона повинна виконати певний обсяг завдань  $W_{\text{вст}}$ , використавши наявні у системи ресурси  $R_{\text{сис}}$ . Ресурси  $R_{\text{сис}}$  системи визначають її спроможність виконувати завдання  $W(t)$  з деякою середньою швидкістю  $V_0(t)$  на інтервалі часу  $0 \leq t \leq t_{\text{вст}}$ .

Очевидно, що обсяг завдань  $W(t)$  можна визначити як

$$W(t) = \int_0^t V_0(t) dt. \quad (1)$$

Можна припустити, що система може виконувати завдання зі швидкістю більшою  $V_{\text{max}}(t)$  чи

меншою  $V_{\min}(t)$  від швидкості  $V_0(t)$ , тобто  $V_{\min}(t) \leq V_0(t) \leq V_{\max}(t)$ . При цьому швидкість  $V_{\max}(t)$  визначається як максимальна швидкість виконання  $W_{\text{вст}}$  системою з ресурсами  $R_{\text{сис}}$  без порушення встановлених регламентів (механізмів) її функціонування та якості кінцевого результату. Очевидно, що якщо система може забезпечити швидкість  $V_{\max}(t)$ , то при тих же ресурсах  $R_{\text{сис}}$  система може мати швидкість  $V_{\min}(t)$ .

Негативний або позитивний вплив збурюючі факторів  $f$  є одними з чинників коливань середньої швидкості  $V_0(t)$  і фактичний хід виконання завдань  $W_{\phi}(t)$  може істотно відрізнятись від запланованого. Це в кінцевому випадку може призвести до невиконання встановленого обсягу завдань  $W_{\text{вст}}$  за час  $t_{\text{вст}}$ .

Взагалі швидкість виконання завдань системою залежать від ресурсів  $R_{\text{сис}}$ . Зв'язок між швидкістю  $V$  і ресурсами  $R_{\text{сис}}$  можна встановити використавши поняття комплексного ресурсу  $r$  [6].

За одиницю комплексного ресурсу  $r$  приймається сукупність мінімальних кількостей окремих видів ресурсів, що дозволяє виконувати завдання, визначені системою.

Швидкість виконання завдань системою, що володіє одиницею комплексного ресурсу, позначимо через  $\Delta V$ ,  $\Delta V_{\min} \leq \Delta V \leq \Delta V_{\max}$ .

Загальні ресурси системи можуть бути представлені як:

$$R_{\text{сис}} = N \cdot r_{\text{сис}} + \Delta R_{\text{сис}}, \quad (3)$$

де  $N$  - кількість одиниць (потужність) комплексного ресурсу системи  $r_{\text{сис}}$ ;  $\Delta R_{\text{сис}}$  - частина ресурсів, що не використовується системою через некомплектність. Тоді  $V = \Delta V \cdot N$ .

Зміна ресурсів  $R_{\text{сис}}$  на одиницю комплексного ресурсу  $r_{\text{сис}}$  викликає зміну швидкості виконання завдань системою на одиницю  $\Delta V$ .

Для вирішення такої задачі представимо процес виконання системою завдань у графічному вигляді. На рис. 1 представлений можливий хід процесу виконання, де  $W_0(t)$ ,  $W_{\phi}(t)$ ,  $W_{\min}(t)$  та  $W_{\max}(t)$  відповідають обсягам завдань, що виконуються зі швидкостями  $V_0(t)$ ,  $V_{\phi}(t)$ ,  $V_{\min}(t)$  та  $V_{\max}(t)$  відповідно.

Алгоритм контролю визначається на підставі графіків  $W_{\phi}(t)$ ,  $W_{\min}(t)$  та  $W_{\max}(t)$ . Для знаходження такого алгоритму необхідно провести додаткові креслення. Через точку з координатами

$(W_{\text{вст}}, t_{\text{вст}})$  проводиться пряма паралельна прямій  $W_{\max}(t)$ .

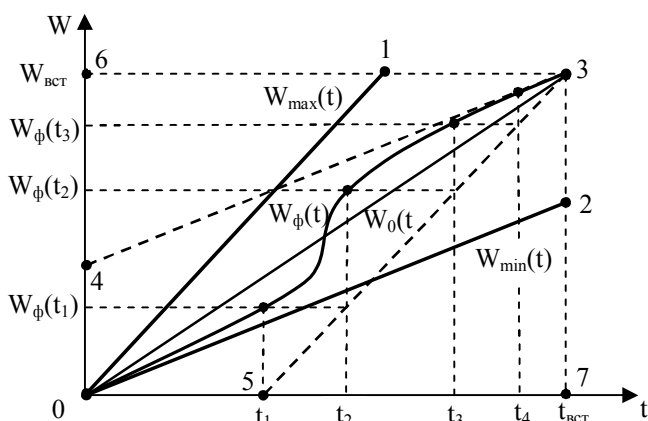


Рис. 1. Формальне представлення процесу виконання завдань системою

Вона відображає хід виконання завдань зі швидкістю  $V_{\max}(t)$ , при якому завдання виконуються в момент  $t = t_{\text{вст}}$ . Абсциса точки перетину цієї прямої з лінією  $W = 0$  буде дорівнювати  $t_1 = t_{\text{вст}} - (W_{\text{вст}}/V_{\max})$ . Вона визначає момент часу, в який ще існує можливість того, що якщо виконання завдань ще не було розпочато, то при використанні граничних можливостей системи обсяг завдань  $W_{\text{вст}}$  буде виконаний до моменту  $t_{\text{вст}}$ . Точку  $t_1$  можна інтерпретувати як граничний момент першого контролю.

Перший контроль в момент  $t > t_1$  при незмінності ресурсів системи може не забезпечити виконання встановлених завдань у встановлений термін.

Прийнявши точку  $t_1$  за точку першого контролю, отримуються відомості про фактично виконаний обсяг завдань  $W_{\phi}(t_1)$ . Цей обсяг, звичайно, відмінний від нуля, і, більше того, можна стверджувати, що якщо параметри системи протягом цього часу були нормальні, то точка  $W_{\phi}(t_1)$  лежить між прямими, що відповідають ходу виконання завдань з мінімальною та максимальною швидкостями. Провівши через точку з координатами  $(W_{\phi}(t_1), t_1)$  пряму, паралельну осі абсцис і яка відповідає нульовій швидкості виконання завдань, до перетинання із прямою, паралельною прямій  $W_{\phi}(t)$ , одержимо точку з абсцисою  $t_2$ , що визначає момент другого контролю.

Наступні моменти контролю визначаються аналогічним чином.

Аналітичний вираз для моменту  $(i+1)$ -го контролю на підставі визначення фактично виконаного обсягу завдань в момент  $i$ -го контролю може бути записаний в такий спосіб:

$$t_{i+1} = t_1 + \frac{W_\phi(t_i)}{W_{вст}}(t_{вст} - t_1) \quad (3)$$

або, якщо врахувати, що

$$t_1 = t_{вст} - W_{вст}/V_{max},$$

то

$$t_{i+1} = t_{вст} - \frac{W_{вст} - W_\phi(t_i)}{V_{max}}. \quad (4)$$

Наведені вище міркування стосувалися випадку, коли  $t \leq t_{min}$ , тобто  $V_{max} \leq 2W_{вст}/t_{вст}$ . При  $t_1 > t_{min}$  система може виконати планові завдання до моменту першого контролю і далі почати перевиконувати їх.

Для прийняття рішень щодо управляючих впливів на систему за результатами контролю ходу виконання нею завдань, необхідно визначити причини виконання чи невиконання завдань і на підставі цього визначити за рахунок чого можна повернути систему до стану, коли завдання  $W_{вст}$  буде виконане до часу  $t_{вст}$ .

Представимо у графічному вигляді можливі стани системи (хід виконання завдань) та причини, що їх породжують (див. рис. 1). Границі областей можливих станів системи та управляючих впливів на неї позначені точками 1-7.

На рис. 1 прями 0-1 і 0-2 відповідають функціям  $W_{max}(t)$  і  $W_{min}(t)$ .

Прямі 3-4 і 3-5 паралельні прямим 0-2 і 0-1 відповідно.

Пряма 3-5 відображає хід виконання завдань з максимальною швидкістю, при якому планові завдання завершуються в момент  $t = t_{вст}$ .

Пряма 3-4 відповідає ходу виконання завдань з мінімальною швидкістю, що завершується в момент  $t = t_{вст}$ .

Прямі 0-1, 3-4, 0-2 і 3-5 розбивають прямокутник 0-6-3-7, що представляє собою сукупність всіх можливих станів системи за час  $0 \leq t \leq t_{вст}$ , на ряд областей.

Область (0-1-3-2). У цю область система може потрапити як при нормальних значеннях своїх параметрів за рахунок змін значень швидкості в межах  $V_{min} \leq V \leq V_{max}$ , так і при короточасних позитивних і негативних збурюючих факторах.

Область (0-2-7). У цю область система може потрапити тільки у випадку впливу на неї негатив-

них збурюючих факторів, що зменшують її швидкість до значень, менших мінімальних,  $V < V_{min}$ .

Область (0-6-1). У цю область система може потрапити тільки при впливі на неї позитивних збурюючих факторів, що збільшують її швидкість до значень, більших максимальних,  $V > V_{max}$ .

За ознакою необхідних управляючих впливів можуть бути визначені такі області.

Область (0-4-3-5). З цієї області при нормальних значеннях параметрів система може досягти точки 3 з координатами  $(W_{вст}, t_{вст})$ , тобто виконати планові завдання в строк за рахунок зміни в припустимому діапазоні швидкості їх виконання. Управляючі впливи в цій області носять характер "директиви" про необхідну швидкість виконання завдань  $V_{необ}$ .

З геометричних міркувань (див. рис. 1) легко одержати значення необхідної швидкості виконання завдань  $V_{необ}$  в момент часу  $t$

$$V_{необ}(t) = V_0 + \frac{\Delta W(t)}{t_{вст} - t}, \quad (5)$$

де  $\Delta W(t) = W_\phi(t) - W(t)$ .

Це справедливо для випадку

$$V_{min} - V_0 < \frac{\Delta W(t)}{t_{вст} - t} < V_{max} - V_0.$$

При цьому зміни ресурсів  $R_{сис}$  системи не потрібно, тобто  $\Delta r_{сис}^{необ} = 0$ ,  $\Delta r_{сис}^{необ}$  - необхідна зміна комплексного ресурсу.

Область (5-3-7). При попаданні системи в цю область максимальна швидкість виконання завдань при нормальних параметрах уже не може забезпечити системі попадання в точку 3. Це має місце при таких значеннях неузгодженості, що

$$\frac{\Delta W(t)}{t_{вст} - t} > V_{max} - V_0.$$

Для виконання завдань в плановий строк швидкість повинна бути збільшена до значень, більших максимальних, за рахунок залучення додаткових ресурсів. У цьому випадку управління представляє собою не тільки "директиву" про необхідну швидкість виконання завдань, але також містить "директиву" на зміну параметрів системи за рахунок зміни її ресурсів на величину  $\Delta r_{сис}^{необ}$ , тобто управляючий вплив.

Як і в першому випадку, значення необхідної швидкості може бути знайдене як

$$V_{необ} \geq V_{max} + \frac{\Delta W(t)}{t_{вст} - t}.$$

Величина додаткових ресурсів, що забезпечать це збільшення швидкості, повинна задовольняти умові

$$\Delta r_{\text{сис}}^{\text{необ}} \geq \frac{\Delta W(t)}{(t_{\text{вст}} - t) \cdot \Delta V} \cdot r_{\text{сис}} \quad (6)$$

Область (4-3-5). Із точок цієї області система, навіть рухаючись із мінімальною швидкістю, виконає планові завдання раніше строку.

Це має місце при таких значеннях неузгодженості, що

$$\frac{\Delta W(t)}{t_{\text{вст}} - t} < V_{\text{min}} - V_0.$$

Якщо потрібно забезпечити попадання системи в точку 3, то необхідно зменшити швидкість до значень, менших мінімальної. Це здійснюється шляхом перерозподіл частини ресурсів або всіх ресурсів системи на деякий проміжок часу на виконання іншого завдання.

Таким чином, як і в попередньому випадку, управляючий вплив містить дві складові: "директиву" про необхідну швидкість руху і управляючий вплив, що змінює ресурси системи.

Значення необхідної швидкості  $V_{\text{необ}}$  визначається нерівністю

$$0 \leq V_{\text{необ}} \leq V_{\text{min}} + \frac{\Delta W(t)}{t_{\text{вст}} - t}.$$

Варто відмітити, що в цьому випадку

$$\Delta W(t) < 0.$$

Кількість ресурсів  $\Delta r_{\text{сис}}^{\text{необ}}$ , що відбираються, вкладаються в межі

$$R \geq \Delta r_{\text{сис}}^{\text{необ}} \geq \frac{-\Delta W(t)}{(t_{\text{вст}} - t) \cdot \Delta V} \cdot r_{\text{сис}}.$$

## Висновки

1. Для організації контролю виконання системою визначених для неї завдань необхідно оцінювати фактичну швидкість виконання завдань протягом часу.

2. Перший контроль (точка контролю) системи повинен визначатися для умов припустимої максимальної швидкості виконання завдань та встановленого терміну їх виконання.

3. Визначення наступних точок контролю повинен враховувати передісторію контролю, тобто фактично виконаний обсяг завдань при попередньому контролі.

4. Розроблений алгоритм контролю та управління складними системами дозволяє вирішувати задачу визначення частоти контролю та вироблення управляючих впливів на систему.

## Список літератури

1. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Новиков Д.А. – М.: Фонд "Проблемы управления", 1999. – 161 с.
2. Лафта Дж.К. Теория организации: учебн. пособие / Дж.К. Лафта. – М.: ТК Велби; Проспект, 2003. – 416 с.
3. Райченко А.В. Прикладная организация / А.В. Райченко. – СПб.: Питер, 2003. – 304 с.
4. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы / Новиков Д.А. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 102 с.
5. Сетевые модели в управлении / Под ред. Д.А. Новикова, О.П. Кузнецова, М.В. Губко. – М.: Эгвес, 2011. – 443 с.
6. Механизмы управления / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: Ленанд, 2011. – 192 с.

Надійшла до редколегії 9.02.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.А. Подригало, Харківський національний автомобільний університет, Харків.

## АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

А.А. Морозов, Л.В. Морозова

*В статье рассматривается алгоритм определения моментов контроля выполнения системой определенных заданий, анализируются возможные причины невыполнения таких заданий и содержание управляющих воздействий на систему. Эти процедуры представляют методику проведения контроля и управления сложными организационно-техническими системами.*

**Ключевые слова:** сложная система, контроль системы, управление системой, частота контроля системы.

## THE ALGORITHM OF MONITORING AND CONTROL OF COMPLEX SYSTEMS

A.A. Morozov, L.V. Morozova

*In article the algorithm of determination of control points the system will perform certain tasks, analyzed possible causes of failure of these tasks and the content of control actions on the system. These procedures represent the methodology for the control and management of complex organizational-technical systems.*

**Keywords:** complex system, control system, control system, frequency control system.