

УДК 629.08:681.5

Косолапов А.А.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ МОДЕЛІ ГІРКОВИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

ім. акад. В. Лазаряна,

Дніпропетровськ, Лазаряна 2, 49010

В даному докладі пропонуються стратифіковані концептуальні моделі систем керування сортувальними гірками, цілі і критерії керування процесом розпуску составів, взаємозв'язок основних параметрів контролю і керування на виділених шарах системи. Запропоновані моделі можна використовувати для формування онтологічних баз знань в системах проектування автоматизованих систем керування сортувальними гірками.

Ключові слова: концептуальні моделі, сортувальні гірки, шари гіркових систем, проектування систем керування.

In this report we propose a conceptual model of the stratified humps control systems, objectives and criteria for the control process of the dissolution of the compounds, the relationship of the main control and management parameters of system for the selected strata. The proposed models can be used to form the ontological knowledge base in systems engineering of control hump systems.

Key words: conceptual model, sorting hills, strata hill's control systems, design of control systems.

На сортувальних гірках широко впроваджуються інформаційно-керуючі системи, які відрізняються набором функцій, що автоматизуються, їх інформаційним забезпеченням, устаткуванням, технічною структурою та ішими характеристиками. Ефективна розробка, експлуатація і розвиток таких систем практично неможлива без використання бази знань, заснованої на концептуальних

моделях гіркових процесів і систем. Актуальність цієї задачі визначається складністю систем керування сортувальними гірками як об'єктів проектування і керування, великими об'ємами різноманітної інформації, яка необхідна для ефективної розробки нових автоматизованих систем і удосконалення існуючих, а так само і для їх ефективної експлуатації. В роботі представлений формалізований опис АСУ розформуванням потягів на сортувальних гірках, визначені цілі і основні структурні компоненти систем. В основу покладені виконані в [1, 2] дослідження. При розробці концептуальних моделей користуватимемося найбільш поширеною термінологією, прийнятою в роботах [3].

1. Описання процесу розпуску та його цілей

Вважатимемо відомими описання технологічного процесу розпуску і системи автоматичного керування сортувальною гіркою, приведені в [4].

Запишемо основні положення у формалізованому вигляді, що забезпечить згодом відомі зручності при описі структури. В даному випадку має місце деяке абстрагування від ряду технічних деталей, що не виключає можливість їх обліку при розробці моделей. Конструкція гірки і її технологічне устаткування $O_{сг} \subset O_{сс}$ вважаються фіксованими.

Розглянемо гірку як множину пронумерованих ділянок колії $y_i^n \in Y_{сг} \subset Y_{сс}$. Тут n - номер технологічної ділянки i -типу на сортувальній гірці, $i = \{нг, кр, вnv, вс, вnc, стр, гn1, гn2, гn3, ск_к\}$, де $нг$ - ділянка керування насумом состава на гірку, $кр$ - ділянка контролю розчепу, $вnv$ - ділянка вимірювання параметрів відчепів, $вс$ - ділянка вільного скачування, $вnc$ - ділянка вимірювання параметрів навколишнього середовища, $стр$ - стрілочна ділянка, $гn1, гn2, гn3$ - ділянки керування гальмуванням відчепів в сповільнювачах відповідно першої, другої і третьої гальмівної позиції, $ск_к$ - $к$ -а сортувальна колія ($к \in K_{сп}$, $K_{сп}$ - кількість колій в сортувальному парку).

Ототожнюватимемо ділянку з його номером і типом. Позначимо дві суміжні ділянки y_i^n і y_d^{n+1} . Вони зв'язані між собою топологічним

відношенням типу дерево, вузли якого утворюють стрілки, що мають два значення: $y_{стр+}^n$ і $y_{стр-}^n$. Введемо байдуже значення $y_{стр0}^n$ таке, що $y_{стр}^n = \{y_{стр+}^n, y_{стр-}^n, y_{стр0}^n\}$. У такому разі можна побудувати на декартовому просторі r компонент.

Відношення

$$K \subset y_{стр}^1 \times y_{стр}^2 \times \dots \times y_{стр}^r, \quad (1)$$

що зв'язує єдиним чином початкову ділянку y_i^0 з кінцевою $y_{ск_к}^k$, прийнято називати k -м маршрутом. Двом маршрутам k_i і k_d відповідає крайня до кінця загальна вершина - n -а розділювальна стрілка $\vec{y}_{стр}^n(k_i, k_d)$.

Гірка взаємодіє з об'єктами технологічної обробки - відчепами $q_j \in Q$, $j = \overline{1, |Q|}$, де $|Q|$ - кількість відчепів в потязі. Відчепи відрізняються низкою фізичних властивостей $g_{sj} \in G$, где $s = \{\text{дов, вага, опір, шв, приск}\}$ - відповідно довжина, вага, питомий опір скачуванню, швидкість і прискорення j -го відчепу. Суть взаємодії зводиться до скачування відчепу з різними прискореннями (вільне, з гальмуванням) по заданому маршруту, що складається з послідовності ділянок в маршруті. Для кожної ділянки y_i^n фізичний процес скачування характеризується вхідними x і вихідними z параметрами

$$x(y_i^n) = (t', v'); \quad z(y_i^n) = (t'', v''), \quad (2)$$

а весь фізичний процес скачування характеризується відношенням

$$\mathbb{R} \subset X \times Z, \text{ или } \mathbb{R}: X \rightarrow Z, \quad (3)$$

де t', t'', v', v'' - відповідно для кожної ділянки час і швидкість входу і виходу.

Хоча рух відчепів по гірці є безперервним, з позиції аналізу і проектування системи керування як дискретної системи реального масштабу часу (ДСРМЧ), зручно розглядати гірку як своєрідний дискретний простір з координатами y_i^n .

У зв'язку з цим відображення (3) повинне бути замінене подвійним відношенням, що реалізовується в межах двох суміжних ділянок:

$$\mathbb{R}_x : X(y_i^n) \rightarrow X(y_j^{n+1}); \mathbb{R}_z : X(y_i^n) \rightarrow Z(y_i^n), \quad (4)$$

Поки $t'(y_i^n) \leq t(y_i^n) \leq t''(y_i^n)$, вважатимемо, що відчеп має координату y_i^n (знаходиться на ділянці) і описується як $q_j(y_i^n)$.

Процес розпуску підпорядкований реалізації розпоряджень сортувального листка, який ставить у відповідність порядковому номеру відчепа j відповідний номер k -ї колії сортувального парку.

$$\forall q_j \in Q, \forall k \in K_{\text{сп}}, \mathfrak{R} \subset Q \times K_{\text{сп}} \text{ или } \mathfrak{R} : Q \rightarrow K_{\text{сп}}, \text{ где } j = \overline{1, |Q|} \quad (5)$$

Таким чином, в цілому відчеп можна представити відношенням

$$Q \subset J \times G(t) \times Y(t) \quad (6)$$

у якому відображено, що не тільки місцеположення відчепа змінюється в часі, але і його характеристики (тут J - множина номерів відчепів в потязі).

Користуючись прийнятою символікою можна записати глобальну мету технологічного процесу розпуску (сортування у вузькому сенсі) у вигляді відображення

$$\forall q_j \in Q, \mathfrak{R} : Q[y_{\text{нг}}^0(t')] - Q[y_{\text{ск}_k}^k(t'')], \quad (7)$$

що реалізовується фізично шляхом послідовного скачування згідно (4). У виразі (7) враховується, що процес сортування одного відчепа займає інтервал, рівний різниці часів зупинки на колії призначення $t''(y_{\text{ск}_k}^k)$ і заняття вершини гірки $t'(y_{\text{нг}}^0)$.

Мета, сформульована за допомогою відображення (7), повинна бути доповнена найважливішими техніко-економічними (цільовими) обмеженнями $b_i \in B$, які можна звести до наступних положень:

- розпуск повинен протікати достатньо швидко, тобто

$$t'(y_{\text{нг}}^0, q_j) - t'(y_{\text{нг}}^0, q_{j+1}) = b_1 \leq \beta_1 \quad (8)$$

- колії призначення повинні використовуватися ущільнено

$$y_{\text{ск}_k}^k(j) - y_{\text{ск}_k}^k(j+1) - g_{\text{дов}j} = b_2 \leq \beta_2 \quad (9)$$

$$\text{- якщо } b_2 = 0, \text{ то } g_{\text{швид}(j+1)} = b_3 \leq \beta_3 \quad (10)$$

Тут: b_1 - інтервал на вершині (або в точці відриву) між двома наступними один за одним відчепами q_j и q_{j+1} ; b_2 - "вікно", тобто різниця координат між початком j -го відчепу, що стоїть попереду і має довжину $g_{\text{дов}j}$ і кінцем наступного $(j+1)$ -го відчепу, який зупинився на даній сортувальній колії; $g_{\text{швид}(j+1)}$ - швидкість зіткнення $(j+1)$ -го відчепа; β_i - межі області \tilde{B} , причому $b_i \in B$, $B \subseteq \tilde{B}$.

2. Керуючі дії та критерії керування

Відповідно до вказаної мети системи (7) і обмежень (8), (9) і (10) можна виділити наступні основні керуючі дії для кожного відчепа q_j : $u_{\text{стр}}$ - установка стрілок за маршрутом; $u_{\text{нз}}$ - насування відчепу із заданим інтервалом (і швидкістю); $u_{2\text{н}1}$, $u_{2\text{н}2}$ - гальмування відчепа із заданим інтервалом (і швидкістю) відповідно на першій і другій інтервальній гальмівній позиції; $u_{2\text{н}3}$ - прицільне гальмування відчепа на сортувальній колії.

Оскільки кожному значенню $u_{\text{стр}}^i$ відповідає значення

$u_{\text{стр}}^i = \{u_{\text{стр}+}^i, u_{\text{стр}-}^i, u_{\text{стр}0}^i\}$, що входить до складу $u_{\text{стр}}$, то можна розглядати

послідовність векторів $u_{\text{стр}} = (u_{\text{стр}}^1, u_{\text{стр}}^2, \dots, u_{\text{стр}}^r) \in U_{\text{стр}}$, причому

$$u_{\text{стр}}^i = u_{\text{стр}}^i(t).$$

Керуючі дії $u_{2\text{н}3} \in U_{2\text{н}3}$ незалежні один від одного.

Якщо керуючий сигнал виробляється відповідним вирішальним модулем (елементом [3]) тільки на основі інформації, що поступає через канал зворотного зв'язку без координуючих дій і в змозі забезпечити досягнення мети, то керування рахуватимемо сепарабельним (або, згідно термінології [5], децентралізованим) і автономним.

Формально $u_{нз}$ автономно. Проте легко виявити, що реалізація умови $b_1[u_{нз}(q_j)] \leq \beta_1$ може вступати в конфлікт з глобальною метою (7) головним чином тому, що розділювальну стрілку $\bar{y}_{cmp}^n(k_i, k_j)$ не можна перевести, оскільки буде порушено умову

$$t'[\bar{y}_{cmp}^n(k_i, k_j)] - t''[\bar{y}_{cmp}^n(k_i, k_j)] = b_0 \leq \beta_0 \quad (11)$$

Враховуючи цю обставину, складові u_{cmp}^i керуючої дії u_{cmp} реалізуються послідовно в часі і ініціюються рухомим відчепом. Тому має сенс говорити про вектор-функцію $u_{cmp}(t)$.

Таким чином, реалізація розпуску одного відчепа може бути охарактеризована вектором критеріїв (показників (11), (8), (9), (10))

$$\bar{b} = (b_0, b_1, b_2, b_3) = \{b_i \mid i = \overline{0,3}\}.$$

Оскільки забезпечення умови (11) тільки за рахунок $u_{нз}$ є неефективним, то в системі ще на стадії використання механізованих гірок було запропоновано зміну швидкостей скачування відчепів шляхом введення інтервальних сповільнювачів (звичайно дві позиції), за допомогою яких реалізуються керувальні дії u_{2n1} і u_{2n2} .

Отже, кожен відчеп q_j , скачуючись згідно (2), (3) і під дією керувального вектора

$$\bar{u}(t, j) = \{u_{нз}(t, j), u_{cmp}(t, j), u_{2n1}(t, j), u_{2n2}(t, j), u_{2n3}(t, j) \mid j = \overline{1, |Q|}\} \quad (12)$$

повинен переміститися згідно (7) при виконанні обмежень (8), (9), (10) і (11)
 $b(j) \in B \subseteq \tilde{B}$.

Важатимемо задовільними множину керувань U^K , при яких

$$\forall u^K \in U^K, U^K \subseteq U, b(u^K) \in \tilde{B}. \quad (13)$$

Використання для керування критерію (13) вимагає розв'язування ряду суперечностей, пов'язаних з природою процесу:

- вектор показників, що досягається в реалізації j , залежить від ходу розпуску попередніх відчепів і впливає на подальші відчепи, тобто

$$b(j) = b[\dots, u(j-1), u(j), u(j+1), \dots], \quad (14)$$

у зв'язку з чим ці процеси повинні бути оцінені в сукупності;

- система багатокритеріальна $\vec{b} = (b_0, b_1, b_2, b_3) = \{b_i \mid i = \overline{0,3}\}$ і не має природної декомпозиції [5] (алгоритми вирішальних елементів не сепарабельні [3])

$$b_i(u_i, u_m) \neq b_i(u_i, \bar{u}_m), u_i \neq \bar{u}_m, i \neq m, \quad (15)$$

у зв'язку з чим навіть в межах реалізації розпуску одного відчепу необхідні координуючі дії $c \in C$, для яких

$$b_i(u) = b_i(u_i, c_i); \quad (16)$$

- координуючі дії $c_i(t)$ між складовими $u_i(t)$ і $u_m(t + \tau)$ повинні вироблятися в умовах неповної інформації на основі статистичного прогнозу $u_m^*(t + \tau)$, оскільки

$$c_i(t) = c_i[t, u_m^*(t + \tau)], \tau > 0; \quad (17)$$

- наближення деяких складових b_i до меж області \tilde{B} може підвищувати ефективність керування.

Сукупність критеріїв системи може бути згорнута до одного показника шляхом відображення значень b_i на множину втрат (платежів) $\lambda \in \Lambda$ за допомогою обмежених числових функцій $\lambda_i(b_i)$.

Ілюстрації визначення функцій втрат стосовно гіврки приведені в [6, 7]. Враховуючи стохастичний характер протікання процесу, можна оцінювати досягнення глобальної мети за допомогою величини середнього ризику [8]:

$$R(u) = \sum_i \Lambda_i(u), \quad (18)$$

тут

$$\Lambda_i(u) = M[\lambda_i(b_i)]. \quad (19)$$

За допомогою (18) можна також оцінити задовільне управління $R(u^k)$ і сформулювати критерій оптимального керування u^0 у вигляді

$$R(u^0) \leq R(u), \forall u \in U. \quad (20)$$

Відмітимо, що критерій (18) припускає наявність (і вони дійсно є) областей компромісу Парето, і що можлива ситуація, коли $u^0 \notin U^k$.

3. Структури моделей

Приведений вище аналіз процесу скачування, керування їм і критеріїв оцінки управління дає підставу для стратифікації моделі, показаної на рис.2.

Нижнім за ієрархічним рівнем є технологічний страт (макрорівень T^m)

$$S_1 : Q \times U \rightarrow M \times B, \quad (21)$$

у якому моделюються фізичні процеси K і \mathbb{R} згідно (1) і (3) з урахуванням (12) і фізичних властивостей відчепів G . Тут же виробляються вектори зворотних зв'язків $\mu \in M$ і показників $b \in B$.

Другий страт - страт керування (інфраструктурний страт, I^m)

$$S_2 : Q \times G \times M \times \Omega \rightarrow U . \quad (22)$$

містять моделі, що виробляють вектор керування $\vec{u}(t, j)$ на основі q_j, μ, g_j , а також директивних рішень $\omega(t, j) \in \Omega$.

Нарешті, верхній, найбільш абстрактний рівень (метарівень, D^m)

$$S_3 : U \times B \rightarrow R \quad (23)$$

обробляє вектори цільових параметрів, визначає функції Λ, R відповідно до виразів (18) і (19).

Така структура припускає наявність в моделі двох контурів зворотного зв'язку - по μ і по b , а також ітеративного процесу, що реалізується через дослідника (канал ω), що змінює на основі Λ і R структуру і параметри керування.

Звернемо увагу на те, що всі процеси відбуваються в реальному масштабі часу з відповідними часовими обмеженнями [2].

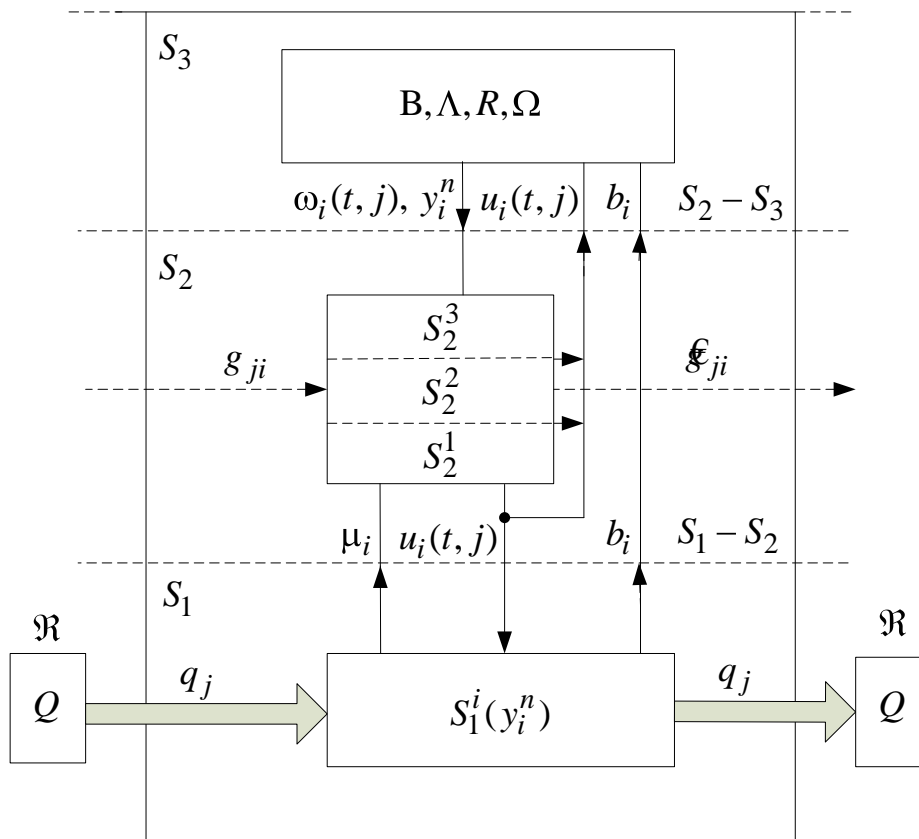


Рис. 1. Стратифікація макрорівня керування сортувальною гіркою

Розглянемо докладніше кожен страт. Умовимося функціонально закінчені елементи стратів називати модулями (функціональними підсистемами). Число модулів і їх деталізація залежать від концепцій, прийнятих при моделюванні, і завдань, які повинні бути вирішені. Обмежимося розбором функцій, що моделюються основними модулями.

Страт S_1 зручно будувати як з'єднання модулів за схемою (повною або спрощеною) гірки (рис.2), і тоді кожній ділянці повинна відповідати модель, що виконує функції

$$S_1^i : x(y_i^n) \times u_i \rightarrow x(y_j^{n+1}) \times z(y_i^n) \times b_i \times \mu_i, S_1^i \in S_1 \quad (24)$$

Можна намітити наступні функціональні модулі:

$S_1^{нг}$ - управління насумом потягу на гірку, початковий інтервал і початкова швидкість;

$S_1^{кр}$ - контроль розчепу;

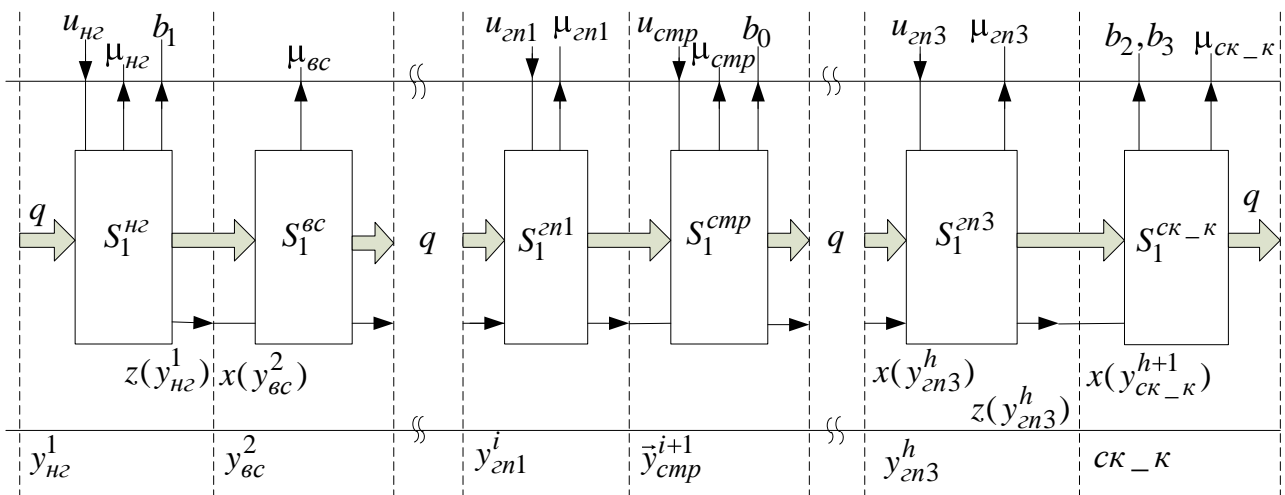


Рис. 2. Структура технологічного страта S_1

$S_1^{нг}$ - скачування по ділянці з вимірюванням ходових та інших властивостей відчепів;

$S_1^{сc}$ - вільне скачування по ділянці;

$S_1^{сmp}$ - установка стрілки і скачування по стрілочній ділянці;

S_1^{zn1} і S_1^{zn2} - гальмування на 1-му і 2-му інтервальному сповільнювачі;

S_1^{zn3} - гальмування на прицільному сповільнювачі;

S_1^{ck-k} - скачування по сортувальній колії;

S_1^{enc} - вимірювання параметрів навколишнього середовища.

Розглянемо ілюстрацію: $S_1^i = S_1^{zn3}$, y_{zn3}^h - ділянка прицільного

сповільнювача (див. рис. 3); $u_i = u_{zn3}(y_{zn3}^h)$ - завдання для двохпозиційного

сповільнювача ($\alpha = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$; α_1 – гальмування; α_0 – відгальмування);

$z(y_{zn3}^h) = v''(y_{zn3}^h)$ – швидкість входу на сортувальну колію; $\mu_i = \mu_{zn3}$ – сигнал, що містить дві складові, що відображають швидкість руху по сповільнювачу і факт його заняття, $b_i = 0$.

Зміст інформації, що проходить через стик $S_1 - S_2$, залежить також і від структури страта керування. Представляється зручним розчленувати страт керування на три подстрата S_2^1, S_2^2, S_2^3 .

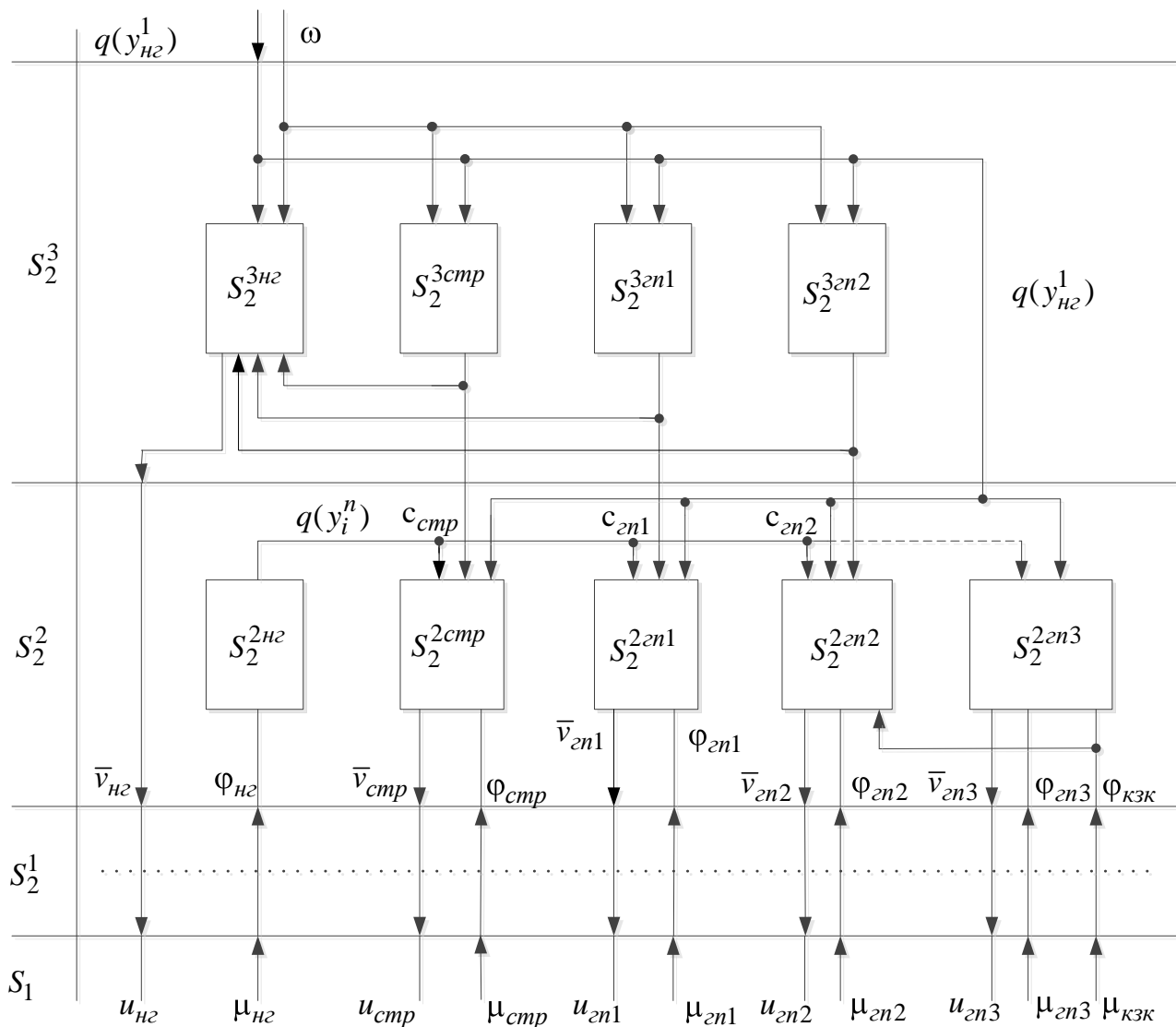


Рис. 3. Структура страта керування

Подстрат S_2^1 містить модулі, що імітують роботу локальної автоматики, в якій, як відомо, забезпечена повна децентралізація. У загальному випадку можна вважати, що кожному модулю S_1^i відповідає модуль S_2^{li} .

Продовжимо розгляд приведеної вище ілюстрації: $S_2^{1зн3}$ імітує роботу регулятора прицільного сповільнювача, що виробляє сигнал $u_{зн3}$ на основі заданої вихідної швидкості $v_{зн3}''$ і інформації $\mu_{зн3}$, що передається далі у вигляді сигналу $\phi_{зн3}$.

В цілях спрощення подальшого аналізу приймемо, що підстрат S_2^1 , будучи проміжним між S_1 і S_2^2 , здійснює перетворення

$$S_2^1: \bar{V} \times M \rightarrow U \times \Phi, \quad (25)$$

де $\bar{v} \in \bar{V}$, $\varphi \in \Phi$ - відповідно множини сигналів завдань на керування і зворотного зв'язку, що діють в підсистемі S_2^2 .

З урахуванням міркувань, висловлених при розгляді співвідношень (16) і (17), керуючі дії $\bar{V}(t)$ повинні формуватися в кожен даний момент t на основі інформації:

- $\Phi(t)$, отриманій по каналах зворотному зв'язку до моменту t ;
- прогнозованою для тих же каналів $\Phi(t + \tau)$;
- що координує прогнозовані керуючі дії $C^*(t + \tau)$.

Так, наприклад, можна відмітити, що керуючі дії $\bar{v}_{н2}$ повинні практично повністю ґрунтуватися на прогнозі, тоді як дія $\bar{v}_{ен3}$ може бути обрана, спираючись в основному на інформацію про відомі факти, за винятком випадкових сторін процесу скачування по сортувальних коліях. Реалізація такої "далекоглядної" стратегії припускає наявність одного з наступних засобів:

- вбудованої (внутрішньої для S_2) статистичної моделі системи;
- внемодельної статистичної моделі, на основі якої всередині страта S_2

можуть бути передбачені закони прогнозування.

Неозорість такого підходу до даної проблеми з вкладеними одна в іншу моделями очевидна. Як компроміс може виступати модель, що реалізовує "короткозору" стратегію, в якій передбачено два рівні ухвалення рішень (рис. 4):

- підстрат S_2^2 здійснює "тактичне" керування, використовуючи інформацію, що отримується послідовно по ходу процесу через канали зворотного зв'язку, прогнозу інформацію про відчепи, що скачуються один за одним в межах найближчих загальних ділянок, а також координуючі дії;

- підстрат S_2^3 здійснює загальносистемне стратегічне управління шляхом вироблення координуючих сигналів C на основі загальних директив Ω і на

базі внутрішньомодельного або позамодельного прогнозу, отриманого на початку процесу.

Формально

$$S_2^2 : Q \times \Phi(t) \times \mathbb{C} \rightarrow \bar{V}(t); \quad (26)$$

$$S_2^3 : Q \times \Omega \rightarrow \mathbb{C}. \quad (27)$$

Можна запропонувати для розглянутих двох підстратів склад модулів, показаних на рис. 3.

Модуль $S_2^{31} : q(y_{н2}^1) \times \omega \rightarrow c_1 \times \bar{v}_1$ – визначення швидкості насуву на основі апріорної інформації.

Модулі:

$$S_2^{3cmp} : q(y_{cmp}^l) \times \omega \rightarrow c_{cmp}^l \mid l = \overline{1, r},$$

$$S_2^{3en1} : q(y_{en1}^m) \times \omega \rightarrow c_{en1}^m \mid m = \overline{1, K_{en1}^{c2}},$$

$$S_2^{3en2} : q(y_{en2}^n) \times \omega \rightarrow c_{en2}^n \mid n = \overline{1, K_{en2}^{c2}}$$

- вироблення на основі апріорної інформації координуючих дій, що визначають установку стрілок в маршруті і величини вихідних швидкостей інтервальних сповільнювачів. Ці значення векторів будуть виконані, якщо процес не відхилиться від заздалегідь запланованого процесу в моделях цих модулів.

Модуль $S_2^{2en3} : q(y_{en3}^n) \times \mu_{en3} \times \mu_{кзк} \rightarrow \bar{v}_{en3}$ - здійснення прицільного гальмування на основі тільки апостеріорної інформації зворотного зв'язку, включаючи КЗП (контроль заповнення колій - КЗК) $\mu_{кзк}$.

Спеціальний модуль супроводу $S_2^{2н2} : \phi_{н2} \rightarrow q(y_m^n)$ оцінює фактичний стан кожного відчепу на n -й ділянці m -го типа на основі інформації, що отримується по каналах зворотного зв'язку. Він фіксує умови нагону, швидкості і моменти проходження відчепами окремих ділянок.

Нарешті, модулі

$$S_2^{2cmp} : c_{cmp} \times q(y_{cmp}^n) \rightarrow \bar{v}_{cmp},$$

$$S_2^{2en1} : c_{en1} \times q(y_{en1}^n) \rightarrow \bar{v}_{en1},$$

$$S_2^{2en2} : c_{en2} \times q(y_{en2}^n) \rightarrow \bar{v}_{en2}$$

- коректують завдання C_{cmp} , C_{en1} , C_{en2} з урахуванням фактичного положення відчепів на n -й ділянці m -го типа $Q(y_m^n)$. У кожному з цих модулів повинні вироблятися прогнози взаємодії відчепів q_j і q_{j-1} , вноситися відповідні корекції, оскільки в загальному випадку $c_i \neq \bar{v}_i$. Кожен модуль повинен мати можливість імітувати роботу відповідного блоку вирішальної підсистеми. Він може, зокрема, містити і елементи адаптації. В цілому кожен модуль S_2^i повинен забезпечити пошук точок Неша [5], заснований на виборі такого u_i^0 , щоб при $u_i = u_j$ ($i \neq j$), що виробляються моделями S_2^i , досягалася умова

$$\forall u_i, R(u_{cmp}, \dots, u_i^0, \dots, u_{en3}) \leq R(u_{cmp}, \dots, u_i, \dots, u_{en3}). \quad (28)$$

Оцінка збіжності таких ітерацій є самостійним і відносно складним завданням.

4. Висновки

Представлена загальносистемна структура автоматизованої сортувальної станції і концептуальна модель автоматизованої сортувальної гори не є єдино можливими і певною мірою залежать від концепції автора.

Запропонований формалізований опис процесів та систем автоматизованих сортувальних гірках дозволяє розробити методологічну канву, за допомогою якої можна упорядкувати моделі та методи досліджень в області автоматизації сортувальних гірок. Отримані схеми і моделі є основою створення онтологічних баз знань для дослідження, розробки, модернізації і експлуатації інформаційно-керуючих систем на сортувальних станціях.

Література:

1. Косолапов А.А., Шафит Е.М. Принципы декомпозиции и интеграции автоматизированных систем управления сортировочными станциями // Автоматизированные информационно-управляющие вычислительные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта. - Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1993. - Вып. № 289/18. - С. 5-17.
2. Косолапов А.А. Моделі дискретних систем реального масштабу часу керування сортувальними гірками. ЦИТ: 312-793 : Сб. научных трудов SWorld. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития `2012». - Том 2. Транспорт. Физика и математика. - Одесса, 2012. - 108 с. - с. 46 - 58.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем.- М.: Мир, 1972.
4. Фонарев Н.М. Автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках. - М.: Транспорт, 1971.
5. Бенсусан А., Лионс Ж.Л., Темам Р. Методы декомпозиции, децентрализации, координации и их приложения. - В сб.: Методы вычислительной математики. - Новосибирск: Наука, 1975.
6. Сафрис Л.В. Об одном критерии автоматического выбора оптимальной скорости роспуска: Труды ДИИТа, вып. 121/3. – Днепропетровск: ДИИТ, 1971.
7. Сафрис Л.В. Стратегия целевого торможения при автоматизации сортировочной горки: Труды ДИИТа, вып. 162/6. - Днепропетровск: ДИИТ, 1974.
8. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. - М.: Мир, 1974.