

## Використання принципів та процедур координації для складних динамічних систем

С.І. Кондрашов, Т.В. Дроздова

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", вул. Кирпичова, 2, 61002, Харків, Україна  
Drozdova.tv@ukr.net

### Анотація

Проведено аналіз складної системи як системи, що має декілька рівнів ієрархії та нестационарний характер функціонування. Найпростіша форма ієрархічної системи є дворівневою. Це пояснюється її простотою та здатністю синтезувати з найпростіших систем (модулів) більш складну загальну. Така структура передбачає, що існує певна проблема координації — узгодженість функціонування модулів, якої намагається досягти система управління найвищого рівня. Як основа для її вирішення розглядаються "постулат сумісності", принципи та процедури координації.

Аналізуються три принципи, такі як прогнозування, координація та оцінка взаємодій. Зазначено, що правильно обраний принцип координації визначає задачу, яка повинна бути вирішена системою вищого рівня. Використання цих принципів координації має таку перевагу: якщо умови координованості не виконуються, тоді "похибку" може бути знайдено та використано для поліпшення координуючого сигналу.

Після вибору цієї задачі виникає проблема пошуку відповідного рішення. Існує декілька способів процедури координації. Детально розглянуто послідовну ("лінійну") та координацію з використанням зворотного зв'язку. Процедура послідовної координації дозволяє здійснити оптимальне наближення фактичних результатів функціонування системи до заданого глобального вектору мети. Також розглянуто тип "лінійної" координації — з адаптацією. У цьому випадку здійснюється аналогічна процедура, при якій ураховуються також умови роботи системи через зміни параметрів технологічного процесу або об'єкта досліджень.

Показано, що система управління якістю, яка розроблена відповідно до вимог міжнародних стандартів, є нестационарною системою з ієрархічною структурою. Розглянуто рівні ієрархії систем менеджменту якості та визначено основні задачі, які вирішуються на кожному з рівнів. Тому для координації такої системи є адекватним використання класичних принципів та процедур теорії систем. Якість усієї системи буде визначатися якістю всіх підсистем і ступенем їх взаємодії та взаємовпливу, таким чином, і координацією. Для достовірної оцінки необхідною умовою є високий рівень процедури вимірювання якості та мінімізації похибки.

**Ключові слова:** лінійна координація, адаптація, еталонний керуючий вплив, нестационарна система, ієрархічна структура.

Отримано: 26.11.2018

Відредаговано: 05.12.2018

Схвалено до друку: 10.12.2018

### Вступ

У сучасних умовах для вирішення багатьох науково-технічних, соціально-економічних та задач управління виробництвом використовують складні системи. Система повинна реалізувати досягнення заданої мети найбільш ефективним чином, що вимагає пошуку оптимальнішого технічного рішення системи. Максимальної ефективності вони набувають за рахунок впровадження новітніх технологій, удосконалених методів контролю і управління тощо.

Віднесення якоїсь реальної системи до розряду "складних" або "простих" є досить умовним і багато в чому визначається задачами дослідження

системи. Будемо вважати систему складною в тому випадку, якщо в силу властивостей самої системи та за характером задач, що виникають при її дослідженні, необхідно брати до уваги наявність у ній великої кількості взаємопов'язаних та таких, що взаємодіють між собою, елементів, що забезпечують виконання системою деякої достатньої складної функції [1].

### Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Серед вчених-системологів можна виділити наукові праці таких, як М. Месарович, Д. Мако,

І. Такаха, В. Вунш, К.В. Тараканов, Л.А. Овчаров, А.Н. Тиришкін, Н.П. Бусленко, І.Г. Железнов. У роботі Флейшмана розглянуто концептуальні та математичні основи теорії складних систем. Аналізу складних систем присвячено роботи таких вчених-сучасників, як К.І. Діденко, С.І. Кондрашов, Н.А. Яремчук, О.М. Величко, Л.В. Коломієць, Т.Б. Гордієнко. Особливу увагу останні приділено розвитку теорії складних систем з ієрархічною структурою.

Наразі розроблено різні модифікації методів координації управління та узгодження локальних рішень, що приймаються на різних рівнях управління, в багаторівневих системах управління. До них відносяться ігрові та градієнтні методи, засновані на запропонованих у [2] необхідних і достатніх умовах координуваності локально організованої ієрархії динамічних систем; методи координації, засновані на принципах самоорганізації на базі моделей обчислювальних полів [3]; методи нечіткої параметричної координації в багаторівневих ієрархічних системах [4]; методи координації шляхом прогнозування та розв'язання взаємодій [2] тощо [5].

У роботах [2,6] наведено загальну схему та математичну постановку задачі координації в багаторівневих нестационарних системах. Запропоновано процедуру координації в таких системах. Конструюються різні чисельні методи координації — безітеративні й ітеративні. При ітеративних процедурах координації в системі відбувається багаторазовий обмін інформацією, а при безітеративних — одноразовий обмін інформацією між рівнями.

У роботі [7] запропоновано алгоритми координації, засновані на нечітких множинах. У роботі [8] розглядалися питання координації в умовах невизначеності для складних виробничих систем.

Автори роботи [9] розглядають системи координуваного управління з точки зору забезпечення функціональних співвідношень між вихідними координатами локальних підсистем. Це дозволяє підтримувати оптимальне функціонування підсистем у сенсі заданих показників ефективності, наприклад, у динамічних режимах роботи, викликаних дією досить великих неконтрольованих збурень, коли можливість їх обліку на рівні локальних підсистем виявляється вичерпаною тощо.

Складні системи можна розбити на підсистеми з ієрархічною структурою зв'язків, кожна з яких, вирішуючи конкретну задачу, забезпечує досягнення глобальної мети. Ієрархічна модель системи зручна тим, що є стійкою (малі зміни викликають малий ефект) і гнучкою (доповнення до добре структурованої ієрархії не порушує її характеристик). Тому при аналізі функціонування будь-якої складної системи першою вимогою є побудова ієрархії, що відтворює функціональні відношення [10].

## Мета та завдання дослідження

Метою роботи є аналіз доцільності використання принципів та процедур координації для складних динамічних (нестационарних) систем на прикладі системи менеджменту якості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз складної системи як системи, що має кілька рівнів ієрархії та нестационарний характер операції;
- розглянути “постулат сумісності”, принципи та процедури координації;
- запропонувати модель вирішення задачі координації кваліметричних характеристик системи менеджменту якості.

## Ієрархічна структура слабоформалізованих нестационарних систем

Принципово нову структурну організацію інтелектуальних систем управління, спираючись на теорію штучного інтелекту, дослідження операцій і автоматичного управління, розробив у 1989 р. Дж. Сарідіс [11].

Інтелектуальна система управління (ІСУ) структурно поділяється на три узагальнених рівні, упорядкованих відповідно до фундаментальних принципів IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence) теорії інтелектуальних машин: у міру просування до вищих рівнів ієрархічної структури підвищується інтелектуальність системи, але знижується її точність, і навпаки. Під “інтелектуальністю” системи мається на увазі її здатність працювати з базою подій із метою виявлення деяких спеціальних знань, що дозволяють уточнити запропоновану задачу і намітити шляхи її вирішення. Під “неточністю” мається на увазі невизначеність у виконанні операції за рішенням завдання. Загальний вигляд архітектури ІСУ, що відповідає цьому базовому принципу, наведено на рис. 1.

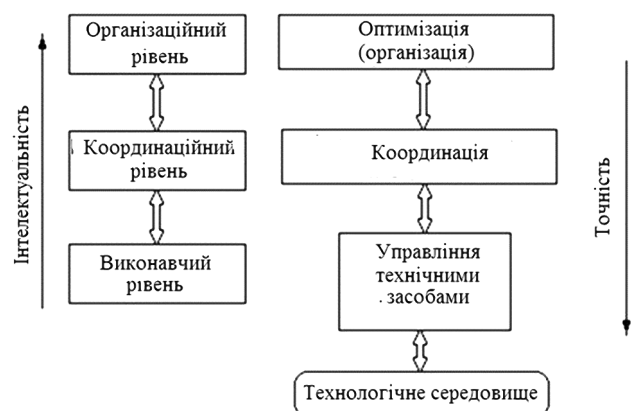


Рис. 1. Трирівнева структура інтелектуальних систем управління технологічними об'єктами

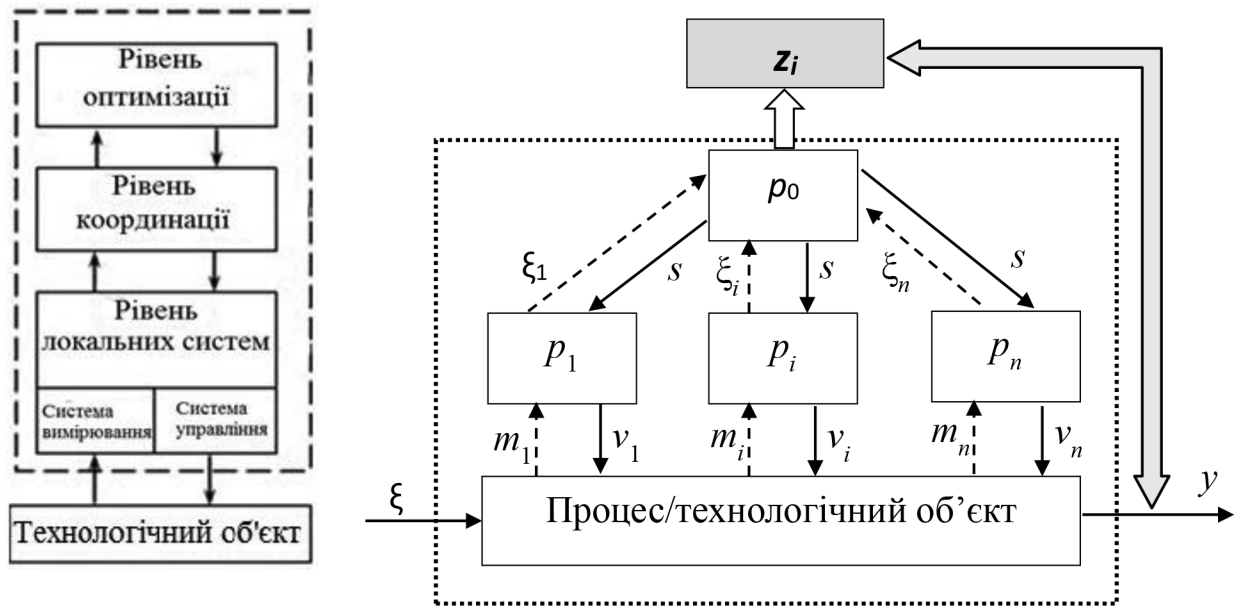


Рис. 2. Триврівнева система управління зі зв'язками між рівнями

1-й рівень — збір інформації та стабілізація технологічних параметрів;

2-й рівень — координація локальних підсистем першого рівня;

3-й рівень — оптимізація роботи системи управління. Основним завданням оптимізації є підтримка заданої мети в деякій області її допустимих змін, пов'язаних як з ітераційним методом, впливом зовнішніх умов, так і, можливо, зі змінами в технологічному обладнанні.

Переходи з рівня на рівень описуються за допомогою термінальних змінних — входів та виходів.

Розглянемо технологічний процес як деяку систему, що підлягає управлінню (рис. 2). До неї надходять керуючі впливи з рівня систем управління нижнього рівня  $p_1, \dots, p_n$ . На рівень локальних систем діють керуючі сигнали  $v_i, v_i \in V$  ( $V$  — множина керуючих впливів) та сигнали (входи)  $\xi_i, \xi_i \in \Theta$ , що є зовнішніми впливами, які надходять із зовнішнього середовища. Символом  $y_i, y_i \in Y$  позначимо виходи системи, а  $Y$  — множину виходів системи. Тоді таку систему може бути подано у вигляді відображення:

$$L: V \cdot \Theta \rightarrow Y.$$

На рівні підсистем  $p_i$  також є сигнали двох видів: координуючий  $s, s \in S$ , що надходить від підсистеми вищого рівня, та інформаційно-вимірювальний сигнал  $m_i, m_i \in M_i$  ( $M_i$  — множина інформаційно-вимірювальних сигналів), який надходить із рівня локальних систем.

Виходом  $p_i$  є керуючий вплив та можна реалізувати відображення:

$$P_i: S \cdot M_i \rightarrow V_i.$$

Рішення, що приймаються підсистемами, які знаходяться вище, є завданнями для підсистем, що

знаходяться нижче. Виконання цих завдань повинне приводити до узгодженої взаємодії підсистем, спрямованої до досягнення глобальної мети системи  $z_i, z_i \in Z_i$  в деякий момент часу  $t_i$ .

Організація узгодженої взаємодії підсистем із боку вищепоставленої підсистеми шляхом встановлення раціональних зв'язків (комунікацій) між ними є процесом координації підсистем. Характер цих зв'язків може бути різним, тому що залежить від координованих процесів. М. Месаровичем [2] сформульовано постулат сумісності взаємодії для дворівневої системи: завдання, що вирішуються на нижньому рівні, будуть скоординовані щодо глобальної мети системи щоразу, коли вони скоординовані щодо локальної мети, розв'язуваної на рівні вищої підсистеми. Враховуючи важливість розуміння зазначеної структури, розглянемо питання координації більш детально.

### Принципи координації та задачі координатора

Головна причина виникнення конфліктів у досліджуваній системі пов'язана із взаємодією її підпроцесів, а також із тим, що існує ймовірність, що на нижньому рівні одні підсистеми не мають інформації щодо вихідних рішень інших підсистем. Тому задача координатора полягає в тому, щоб так вплинути на нижні підсистеми, що приведе до прогнозованих та запланованих результуючих взаємодій.

Якщо дану систему координують за допомогою одного з принципів координації, то можна легко підібрати стратегію координації, яка за належних умов дасть оптимальний координуючий вплив. Тому можна виділити три принципи координації, які ґрунтуються на постулаті сумісності — система є координуюною при деякій обраній

задачі вищого рівня тоді, коли вирішувані задачі системи сумісні та задачі підсистем на нижньому рівні є координованими стосовно задачі вищого елемента системи.

1. Принцип прогнозування взаємодій. Координуючі сигнали можуть містити в собі прогноз сполучних сигналів (входів); у цьому випадку кожний координуючий сигнал  $\gamma$  несе в собі прогнозні значення  $\alpha^v = (\alpha^v_1, \dots, \alpha^v_n)$  сполучних входів, які будуть мати місце у зв'язку з подачею керуючого впливу. Успіх у координації нижніх елементів системи залежить від точності та впливу похибок прогнозування. Цей принцип стверджує, що глобальна задача вирішується керуючим впливом  $v = \pi_v(x)$ , коли  $x$  є вирішенням задач, що ставляться перед елементами нижніх рівнів системи, а взаємодії правильно прогнозовані, тобто  $\alpha^v$  — пов'язуючий сигнал, який буде мати місце при керуючому впливі  $v$ .

2. Принцип узгодження взаємодій. Цей принцип полягає у наступному: кожен нижній елемент системи має право при вирішенні своєї задачі розглядати пов'язуючі входи як додаткові вільні змінні, які обираються цим елементом на власний розсуд. Пов'язуючий вхід  $u$  — частина рішення  $x$  та задається відображенням  $\pi_u: X \rightarrow U$ .

Точність використання цього принципу оцінюється ступенем неузгодженості між фактичними взаємодіями та тими, які були б бажані для нижніх елементів системи.

3. Принцип оцінки взаємодій. У цьому випадку координатором задаються не точні значення пов'язуючих сигналів, а області, в межах яких вони можуть варіюватися. Точність координації в такому випадку визначається точністю цих оцінок.

Використання цих принципів координації має таку перевагу: якщо умови координованості не виконуються, тоді “похибку” може бути знайдено та використано для поліпшення координуючого сигналу [2].

### Оптимальна координація нестационарних ієрархічних систем

При розгляді багаторівневих систем часто доводиться відмовлятися від вимоги суворої оптимальності управлінських рішень, оскільки суворий оптимум виявляється нереалізованим внаслідок недостатності інформації, обмежень у часі або обмежених можливостей вирішальних елементів. Ще більш складним є випадок координації нестационарних ієрархічних систем, коли змінюються умови їх функціонування, виникає часовий дрейф тощо.

Виділимо наступні види задач координації:

1. Координація шляхом використання зворотного зв'язку. Рішення такого завдання виконується шляхом використання автоматичних регуляторів. Для соціально-економічних систем зворотний

зв'язок утворюється на базі статистичного аналізу і прийняття відповідних постанов.

2. Координація шляхом прогнозування взаємодій.

3. Координація шляхом оцінки взаємодій.

4. Координація шляхом “наділення відповідальністю”.

5. Координація шляхом “створення коаліцій”.

Подальшим розвитком задач координації є “лінійна” і координація з адаптацією, коли ставиться на меті тільки покращити якість роботи системи без обов'язкового досягнення “глобального оптимуму”.

### Концепція “лінійної” координації

Під “лінійною” мається на увазі координація, коли після кожного моменту координування локальні вирішальні елементи застосовують до процесу свої керівні дії без подальшого втручання координатора. У разі “коригування” подаються координуючі впливи в послідовні проміжки часу.

Завдання координації локальних систем першого рівня можна описати функцією імплікації (1):

$$\exists S_i \{ [p_i, \xi_i, s_i] = v_i \Rightarrow z_i \}, \quad (1)$$

тобто існують такі координуючі міри  $s_i \in S_i$ , які при значеннях параметрів об'єкта  $p_i \in P_i$  і деяких збуреннях  $\xi_i \in \Xi_i$  здатні утворювати керуючий вплив  $v_i \in V_i$ , що забезпечує виконання мети  $z_i \in Z_i$  в певний момент часу  $t_i$ . У такій формі функція імплікації описує функціональне завдання координації, але абсолютно не відображена сторона точності й достовірності цього процесу [10,11].

### Координованість при використанні еталонного керуючого впливу

Еталонний керуючий вплив може бути обраний самим координатором або ним може служити вплив, що подається на процес за відсутності координації.

Розглядаючи питання про постановку локальних задач, можна перейти до більш загального випадку, коли значення параметрів об'єкта не фіксовані, а задані деякі діапазони, в яких ці параметри будуть змінюватися. Такі діапазони і будуть характеризувати ту невизначеність, яка має місце при вирішенні локальних задач.

При застосуванні викладеної концепції координованості виникають труднощі, які полягають у тому, що після того, як до локальних вирішальних елементів надійде еталонне управління  $v_i^0$  і координуючий сигнал  $s_i$ , координатор повинен мати у своєму розпорядженні сформовані функції цілі  $z_i \in Z_i$  та  $z_i^0 \in Z_i^0$  і мати можливість порівнювати ці значення для кожного збурення (множини не-



визначеностей)  $\xi_i \in \Xi_i$  або того  $\xi_i$ , яке фактично має місце, щоб встановити, чи отримане дійсне поліпшення. Для цього бажано мати простий тест, який дозволяв би визначати, скоординована система чи ні. Тому слід розглянути принцип координації, заснований на взаємодії, що має місце між локальними елементами управління після того, як до процесу докладено обране управління.

При послідовній координації процедура управління передбачає приріст узагальнених координат у підсистемах у допустимих межах як за величиною, так і за напрямком. Оцінювання доцільних змін проводиться за наближенням реальних векторів мети підсистем до оптимальних, що дає в сумі необхідний глобальний вектор мети. Поведінка системи ускладнюється корекцією глобального вектору мети відповідно до зміни умов функціонування системи.

Процедура послідовної координації дозволяє здійснити оптимальне наближення фактичних результатів функціонування системи до заданого глобального вектору мети.

Підхід, запропонований вище, легко використувати для побудови послідовної багатоетапної процедури координації. На будь-якому етапі система координується таким чином, щоб було можливо поліпшення глобальних характеристик, а значить поліпшення "образу" якості системи. При цьому управління, що мало місце на попередньому етапі, або безпосередньо виступає за еталонне для наступного етапу, або зумовлює його. Ефективність послідовної координації буде залежати від обраного на кожному етапі локального завдання.

### Послідовна координація з адаптацією

Розглянемо застосування послідовної координації, коли моменти часу, в які координатор втручається в дії локальних вирішальних елементів, утворюють послідовність  $t_i, i=1...n$ . Через  $v_i$  позначимо керуючий вплив, що обраний локальним вирішальним елементом і застосовується ним починаючи з моменту координування  $t_i$ . В наступний момент координування  $t_{i+1}$  як еталонне управління  $v_{i+1}^o$  на останньому інтервалі часу  $[t_{i+1}, t_n]$  береться управління  $v_i$ . Якщо система координована при використанні  $v_{i+1}^o$ , існує такий  $v_{i+1}^o$  – прийнятний координуючий вплив  $s$ , що вироблене в момент координації  $t_{i+1}$  нове управління –  $v_{i+1}$  буде краще, ніж  $v_{i+1}^o$ .

Якщо така система залишається координованою на всьому часовому інтервалі, а навколишнє середовище не змінюється, то глобальні характеристики системи будуть безперервно поліпшуватися.

У інтервал часу між моментами координування  $t_i$  та  $t_{i+1}$  координатор не має можливості втручатися в управління процесом. Протягом цього часу можливо здійснити спробу зменшення невизначеності й уточнити оціночні діапазони для сполучних входів і зовнішніх збурень [12].

При координації з адаптацією здійснюється аналогічна процедура, при якій враховуються також умови роботи системи через зміни параметрів технологічного процесу або об'єкта досліджень.

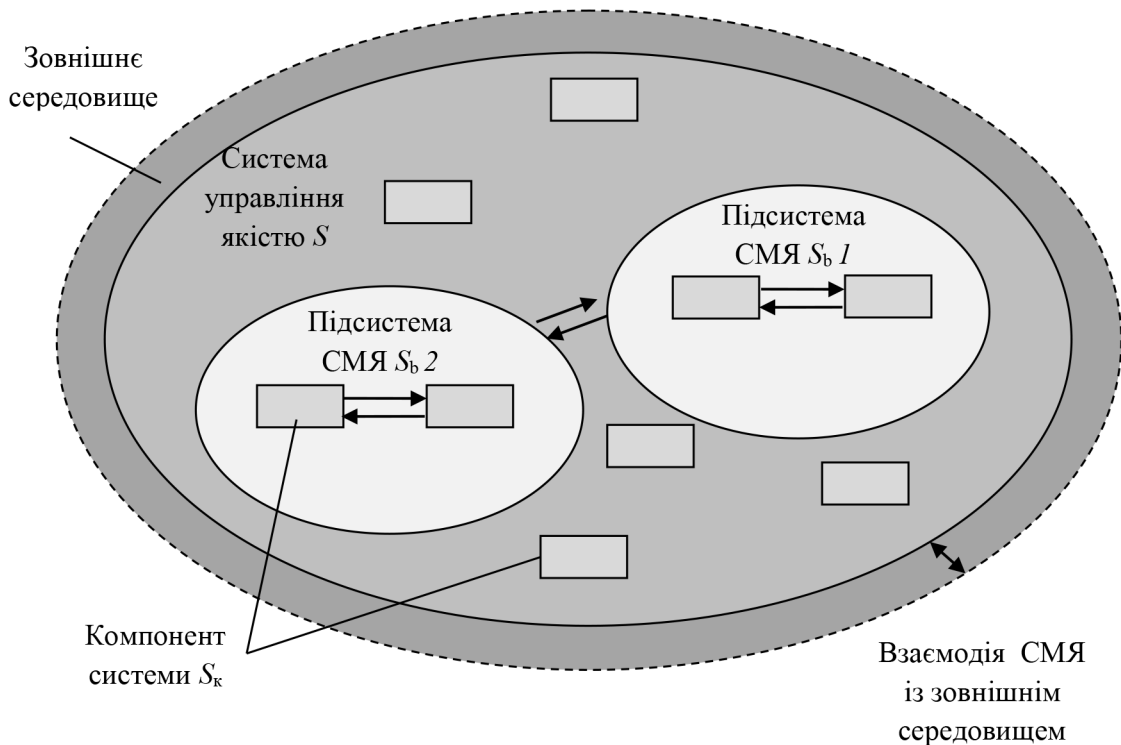


Рис. 3. Компоненти і підсистеми системи менеджменту якості у зовнішньому середовищі

**Координація кваліметричних характеристик системи менеджменту якості**

Як систему оцінювання, так і систему управління якістю (як зовнішнє середовище для першої) доцільно розглядати як складні системи  $S$ , тобто як цілісні сукупності взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів, які мають властивості, що не зводяться лише до властивостей їх компонентів  $S_k$  і прямо не виводяться з них [10]. Компоненти  $S_k$  можуть утворювати підсистеми  $S_b$ , які також є складовими загальної системи  $S$ . Зовнішнім середовищем, яке здійснює вплив на систему  $S$ , є сукупність інших систем (технічних, соціально-економічних, правових) і на які може мати вплив і система  $S$ .

Система менеджменту якості (СМЯ) є відкритою системою, оскільки має велику кількість впливів і взаємодій, і схематично може бути подана так, як на рис. 3.

Система управління якістю має ієрархічну структуру, яка утворена сукупністю послідовних

етапів членування системи  $S$  на підсистеми  $S_b$  та на компоненти  $S_k$  [10].

Для аналізу ієрархічності СМЯ розглянемо її вертикальну декомпозицію.

1-й рівень СМЯ — її функціонування регламентується національним законодавством та нормативно-технічною документацією. Це рівень підприємства в цілому. Функції цього рівня виконуються найвищим керівництвом. Якість на цьому рівні розглядається як певна глобальна мета.

2-й рівень СМЯ має розподіл на підсистеми — об'єднання підрозділів за виконанням деяких спільних процесів, наприклад, управління документацією, управління ресурсами тощо. На цьому рівні ієрархії ставляться задачі, ким, де і в якому порядку, керуючись якими документами і вимогами, взаємодіючи з якими підрозділами, організація виконує вимоги до системи якості. Функції цього рівня виконуються керівниками середньої ланки.

3-й рівень СМЯ становлять документовані методики управління окремих підрозділів та вико-

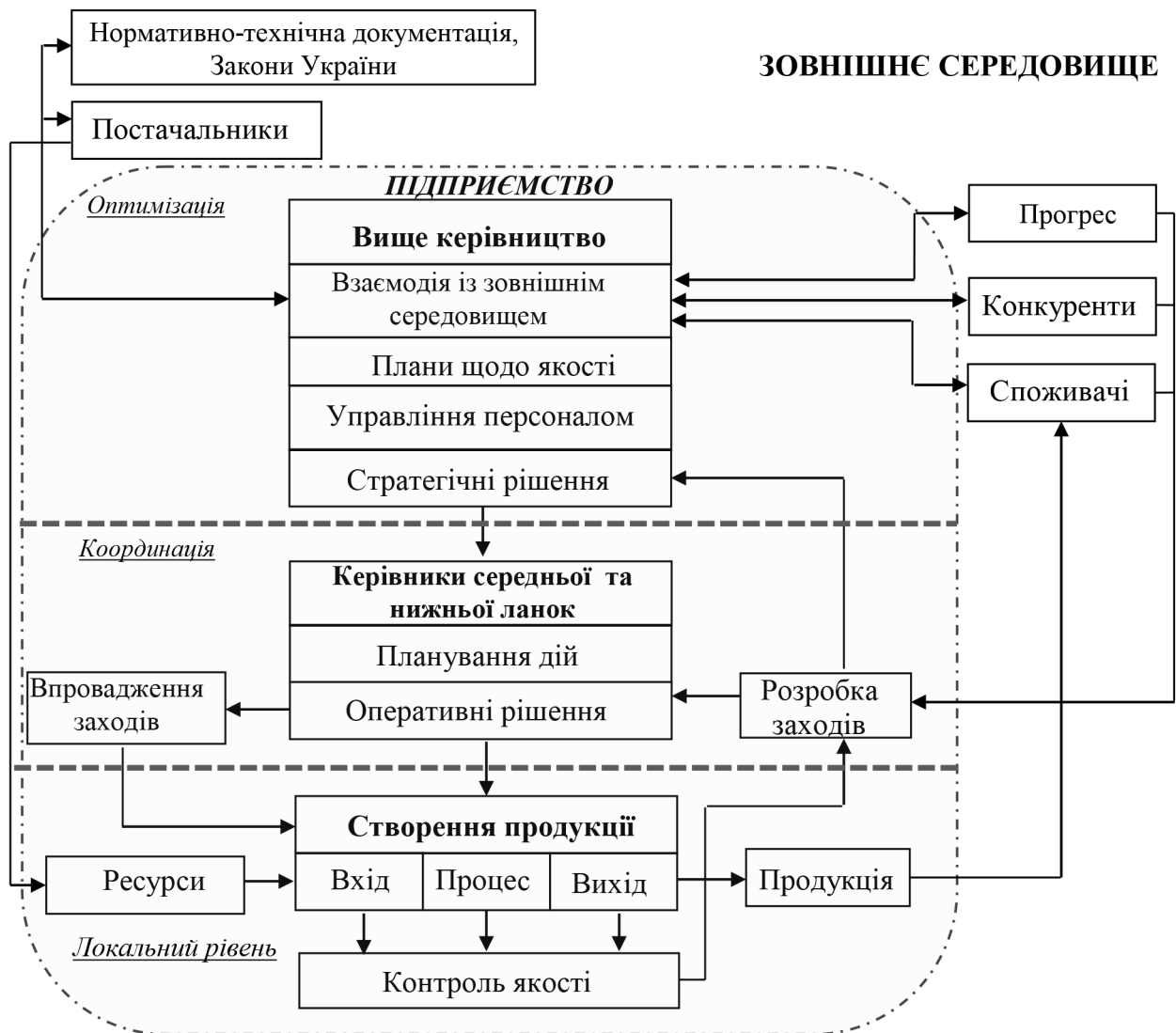


Рис. 4. Рівні ієрархії системи менеджменту якості

навців. Визначаються порядок, взаємодія, строки виконання вимог щодо якості окремих підрозділів. Функції цього рівня виконуються керівництвом нижчої ланки та окремим працівником на його робочому місці.

4-й рівень СМЯ — рівень виробництва продукції або надання послуг. Основна мета цього рівня — підтвердження факту виконання робіт відповідно до конкретних вимог системи управління якістю.

При дослідженні системи менеджменту якості доцільно детально проаналізувати всі вертикальні рівні нижче 2-го рівня і горизонтальні рівні як самостійні системи  $S_i$  з метою визначення суттєвих взаємозв'язків між ними. При дослідженні підсистеми  $k$ -го рівня всі інші підсистеми (особливо рівнів  $k-1$  та  $k+1$ ) будуть розглядатися як зовнішнє середовище цієї підсистеми. При цьому границі обраної підсистеми є умовними, рухомими і залежними задачами. Більш конкретну ієрархічну структуру наведено на рис. 4.

Якість усієї системи буде визначатися якістю всіх підсистем і ступенем їх взаємодії та взаємовпливу. Для достовірної оцінки необхідною умовою є високий рівень процедури вимірювання якості та мінімізації похибки.

#### Висновки

Таким чином, координація — це завдання підсистеми, що знаходиться вище, в ході вирішення

якого вона намагається домогтися узгодженої дії нижчепоставлених підсистем, є центральним завданням функціонування ІСУ. Процес координації необхідний для досягнення системою заданої мети найбільш ефективним чином. Зміна умов роботи підсистем приводить до зміни координуючих сигналів із боку вищепоставленої підсистеми, яка враховує ці зміни і виробляє нову стратегію координації.

Виконання процедури координації ґрунтується на декількох принципах, а саме прогнозуванні, узгодженні та оцінці взаємодій. Ці принципи є використовуваними для особливого класу ієрархічних систем — динамічних.

Процедура “лінійної” координації може бути використана як ітераційний метод, що дозволяє підвищити характеристики системи до потрібного рівня в межах її можливостей і умовах невизначеності. Перевага такої процедури полягає в монотонності поліпшення глобальних характеристик. Відзначимо, що процедура послідовної координації як окремого випадку “лінійної” координації зручна, коли присутні зовнішні обурення або деякий фактор невизначеності вихідних даних.

Головними труднощами в запропонованому методі координації є труднощі встановлення прийнятних оціночних діапазонів і вирішення локальних задач.

Класичні принципи координації є застосовними для систем менеджменту якості, що є складними, нестационарними та з ієрархічною структурою.

## Использование принципов и процедур координации для сложных динамических систем

С. И. Кондрашов, Т. В. Дроздова

Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, ул. Кирпичева, 2, 61002, Харьков, Украина  
Drozdova.tv@ukr.net

#### Аннотация

Осуществлен анализ сложной системы как системы, которая имеет несколько уровней иерархии и нестационарный характер функционирования. Простейшая форма иерархической системы является двухуровневой. Это объясняется ее простотой и способностью синтезировать из простейших систем (модулей) более сложную общую. Такая структура предполагает, что существует определенная проблема координации — согласованность функционирования модулей, которой пытается достичь система управления самого высокого уровня. В качестве основы для ее решения рассматриваются “постулат совместимости”, принципы и процедуры координации.

Анализируются три принципа, такие как прогнозирование, координация и оценка взаимодействий. Отмечено, что правильно выбранный принцип координации определяет задачу, которая должна быть решена системой высшего уровня. Использование данных принципов координации имеет такое достоинство: если условия ско-

ординированности не выполняются, тогда “погрешность” может быть найдена и использована для улучшения координирующего сигнала.

После выбора этой задачи возникает проблема поиска соответствующего решения. Существует несколько способов процедуры координации. Подробно рассмотрены последовательная (“линейная”) и координация с использованием обратной связи. Процедура последовательной координации позволяет осуществить оптимальное приближение фактических результатов функционирования системы к заданному глобальному вектору цели. Также рассмотрен тип “линейной” координации — с адаптацией. В этом случае осуществляется аналогичная процедура, при которой учитываются также условия работы системы через изменения параметров технологического процесса или объекта исследований.

Показано, что система менеджмента качества, разработанная в соответствии с требованиями международных стандартов, является нестационарной системой с иерархической структурой. Рассмотрены уровни иерархии систем менеджмента качества и определены основные задачи, решаемые на каждом из уровней. Поэтому для координации такой системы является адекватным использование классических принципов и процедур теории систем. Качество всей системы будет определяться качеством всех подсистем и степенью их взаимодействия и взаимовлияния, а следовательно, и координацией. Для достоверной оценки необходимым условием является высокий уровень процедуры измерения качества и минимизации погрешности.

**Ключевые слова:** линейная координация, адаптация, эталонное управляющее воздействие, нестационарная система, иерархическая структура.

## Use of principles and procedures of coordination for complex dynamic systems

S.I. Kondrashov, T.V. Drozdova

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kyrpychova Str., 2, 61002, Kharkiv, Ukraine  
Drozdova.tv@ukr.net

### Abstract

In the article, the analysis of a complex system as a system that has several levels of the hierarchy and the dynamic nature of the operation is carried out. The simplest form of a hierarchical system is a two-level one. This is explained by its comparative simplicity and the ability to synthesize the more complex general one from the simplest systems (modules). Such a structure suggests that there is a certain problem of coordination — the coherence of the functioning of modules, which a management system of the highest level is trying to achieve. As a basis for its solution in this paper, the “compatibility postulate”, principles and procedures of coordination are considered.

The following three principles are analyzed, such as prediction, coordination and evaluation of interactions. It is noted that the rightly chosen principle of coordination determines the problem solved by the system of higher level. The use of these principles of coordination has the following advantage: if the conditions of coordination are not met, then the “error” can be found and used to improve the coordinating signal.

After selecting this task, the problem of finding an appropriate solution arises. There are several ways to coordinate the procedure. Sequential (“linear”) coordination and coordination using feedback is considered in detail. The sequential coordination procedure allows the optimal approximation of the actual results of the system operation with a given global target vector. Also the type of “linear” coordination is considered — with adaptation. In this case, a similar procedure, which also takes into account the operating conditions of the system through changes in the parameters of the technological process or the object of research, is carried out.

It is shown that the quality management system developed in accordance with the requirements of international standards is a non-stationary system with a hierarchical structure. The levels of hierarchy of quality management systems are considered and the main tasks are solved at each level. Therefore, to coordinate such a system, it is feasible to use the classical principles and procedures of the theory of systems. The quality of the whole system will be determined by the quality of all subsystems and the degree of their interaction and mutual influence, and therefore, coordination. For the reliable assessment, the necessary condition is the high level of quality measurement procedure and minimization of error.

**Keywords:** linear coordination, adaptation, reference control influence, dynamic system, hierarchical structure.



## Список літератури

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва: Наука, 1968. 356 с.
2. Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y. Theory of Hierarchical Multilevel Systems. NY-London, Academic Press, 1970. 294 p.
3. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. Часть 1. Модели многоагентной самоорганизации. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2012. № 2. С. 92–120.
4. Запорожцев В.В., Новосельцев В.И., Струков А.Ю. Нечеткая параметрическая координация в многоуровневой иерархической системе. *Системы управления и информационные технологии*. 2012. Т. 50. № 4.1. С. 142–145.
5. Маслобоев А.В., Путилов В.А., Сютин А.В. Координация в многоуровневых сетцентрических системах управления региональной безопасностью: подход и формальная модель. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2015. Т. 15. № 1. С. 130–138.
6. Алиев Р.А., Либерзон М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. Москва: Радио и связь, 1987. 208 с.
7. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2000. 352 с.
8. Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Кирийчук Д.Л. О развитии основ теории координации сложных систем. *Проблемы информационных технологий*. 2014. № 2 (16). С. 12–21.
9. Кабальнов Ю.С., Кузнецов И.В., Смирнова Е.А. Анализ статической точности систем координированного управления. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2009. № 2 (35). С. 126–131.
10. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б. Методи оптимізації ієрархічних систем в метрології та стандартизації: теорія і практика. Одеса: ВМВ, 2010. 250 с.
11. Saridis G.N. Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines. *Automatics*, 1989, vol. 25, no. 3.
12. Кондрашов С.И., Дроздова Т.В. Концепция “линейной” координации сложной иерархической системы в условиях неопределенности. *Системы обработки информации*. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. № 2 (127). С. 143–145.

## References

1. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 356 p. (in Russian).
2. Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y. Theory of Hierarchical Multilevel Systems. NY-London, Academic Press, 1970. 294 p.
3. Gorodetskiy V.I. Samoorganizatsiya i mnogoagentnyie sistemyi. Chast 1. Modeli mnogoagentnoy samoorganizatsii. [Self-organization and Multi-agent Systems. Part 1. Models of Multi-agent Self]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemyi upravleniya*, 2012, no. 2, pp. 92–120 (in Russian).
4. Zaporozhtsev V.V., Novosel'tsev V.I., Strukov A.Iu. Nechetkaya parametricheskaya koordinatsiya v mnogourovnevoy ierarhicheskoy sisteme [Fuzzy Parametric Coordination in a Multi-level Hierarchical System]. *Automation and Remote Control*, 2012, vol. 50, no. 4.1, pp. 142–145 (in Russian).
5. Masloboev A.V., Putilov V.A., Siutin A.V. Koordinatsiia v mnogourovnevnykh setetsentricheskikh sistemakh upravleniia regional'noi bezopasnost'iu: podkhod i formal'naia model' [Coordination of Multi-level NetworkCentric Regional Safety Management Systems. An Approach and a Formal Model]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 130–138 (in Russian).
6. Aliev R.A., Liberzon M.I. *Metody i algoritmy koordinatsii v promyshlennykh sistemakh upravleniia* [Methods and Coordination Algorithms in Industrial Control Systems]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1987, 208 p. (in Russian).
7. Altunin A.E., Semukhin M.V. *Modeli i algoritmy priniatiia reshenii v nechetkikh usloviakh* [Models and Algorithms of Decision-making in Fuzzy Environment]. Tyumen, Tyumen State University Publ., 2000, 352 p. (in Russian).
8. Khodakov V.E., Sokolova N.A., Kiriichuk D.L. O razvitii osnov teorii koordinatsii slozhnykh sistem [On the Development of the Foundations of the Theory of Coordination of Complex Systems]. *Problemy informatsionnykh tekhnologii*, 2014, vol. 16, no. 2, pp. 12–21 (in Russian).
9. Kabalnov Yu.S., Kuznetsov I.V., Smirnova E.A. Analiz staticheskoy tochnosti sistem koordinirovannogo upravleniya [Static accuracy analysis of coordinated control systems]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tehnikeskogo universiteta*, 2009, no. 2 (35), pp. 126–131 (in Russian).
10. Velichko O.M., Kolomiets L.V., Gordienko T.B. *Metodi optimizatsiyi ierarhichnih sistem v metrologiyi ta standartizatsiyi: teoriya i praktika* [Methods of

- optimization of hierarchical systems in metrology and standardization: theory and practice]. Odesa, VMV Publ., 2010. 250 p. (in Ukrainian).
11. Saridis G.N. Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines. *Automatics*, 1989, vol. 25, no. 3.
12. Kondrashov S.I., Drozdova T.V. Kontsepsiya "lineynoy" koordinatsii slozhnoy ierarhicheskoy sistemy v usloviyah neopredelennosti [The concept of "linear" coordination of a complex hierarchical system in conditions of uncertainty]. *Sistemi obrobki informatsiyi*, 2015, no. 2 (127), pp. 143–145 (in Russian).