

КООРДИНАЦІЯ ЦІЛЮВИХ ФУНКЦІЙ ВУЗЛОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ КЛАСУ MANET

В статті проаналізовані методи координації в ієрархічних системах управління різної складності. Визначені їх переваги та недоліки, а також можливість та доцільність їх застосування при побудові систем управління мобільними радіомережами, що відносяться до класу MANET.

Сова О.Я., Лукіна К.В., Білан А.М. Координация целевых функций узловых систем управления в мобильных радиосетях класса MANET. В статье проанализированы методы координации в иерархических системах управления разной сложности. Определены их достоинства и недостатки, а также возможность и целесообразность их использования при построении систем управления мобильными радиосетями, относящимися к классу MANET

O. Sova, K. Lukina, A. Bilan Coordination of objective functions of nodal control systems in MANET mobile radionetworks. This article demonstrates the analysis of methods coordination used in hierarchical control systems of different complexity. Their advantages and disadvantages are determined as the possibility and expediency of their application in the construction of control systems for mobile radio networks referring to MANET class.

Ключові слова: складні ієрархічні системи управління, мобільні радіомережі, MANET, Mobile Ad-hoc Networks, координація, цільова функція

Актуальність досліджень. Сучасні тенденції розвитку суспільства, зокрема глобалізація та інформатизація, призводять до збільшення та ускладнення систем різної природи: соціально-економічних, технічних, інформаційно-комунікаційних та ін., ускладнюючи при цьому умови їх функціонування та процеси управління (контролю) ними.

З ростом кількості задач управління в складних системах значно збільшується обсяг інформації, що обробляється, та підвищується складність алгоритмів управління. В результаті здійснювати управління централізовано неможливо, тому що має місце невідповідність між складністю об'єкта, яким управляють та здатністю органу управління отримувати та переробляти інформацію. За таких умов набули поширення системи управління (СУ) з ієрархічною, або багаторівневою структурою, цінною властивістю яких є можливість розподілу функцій управління за рівнями системи, прийняття рішень стосовно різних завдань у підрозділах різного рівня. Це дає змогу зосередити розв'язання стратегічних завдань на вищих рівнях управління, де їх розв'язання найбільш ефективно, в той час як завдання, залежно від їхньої складності та необхідних ресурсів, можуть розв'язуватися на нижчих рівнях, що забезпечує оперативність прийняття рішень і, здебільшого, вищу точність. Для ієрархічної системи з розподілом функцій управління за рівнями характерна автономність окремих підсистем управління проміжних і нижчих рівнів у тому сенсі, що кожна із них самостійно, у межах своїх повноважень, визначених покладеними на неї функціями і заданими обмеженнями, управляє підлеглими їй підсистемами.

Іншою характерною особливістю ієрархічних систем є наявність спільних цілей (цільових функцій (ЦФ)) [1] для всієї системи і окремих цілей (цільових функцій) для підсистем. В залежності від умов функціонування, ці цілі не завжди збігаються, а іноді навіть суперечать одна одній або конкурують між собою. Отже, існує можливість того, що деяка підсистема, намагаючись досягти поставленої перед нею ЦФ, може діяти всупереч загальносистемній ЦФ.

Більш того, в ієрархічних СУ управління підсистемами нерідко здійснюється в умовах неповної інформації, коли підсистемі вищого рівня можуть бути не повністю відомі цілі та обмеження підсистем нижчих рівнів.

Тому з'явилася специфічна для ієрархічних систем управління задача узгодження та координації ЦФ підсистем та систем управління в цілому.

Місце і роль координації серед інших функцій управління визначають як центральне, основне, оскільки координаційна діяльність становить суть управління.

Одним з прикладів (представників) складних ієрархічних СУ є система управління мобільними радіомережами класу MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [2], застосування яких охоплює сфери як спеціального (мережі зв'язку тактичної ланки управління, безпроводові мережі пунктів управління, аварійні мережі, що розгортаються в умовах надзвичайних ситуацій та ін.) та цивільного призначення (мережі підприємств, домашні мережі) [3].

Метою даної статті є аналіз методів координацій в складних ієрархічних системах з метою визначення можливостей застосування існуючих методів координації в мобільних радіомережах класу MANET.

Об'єктом є процес координації взаємодії підсистем складних ієрархічних СУ.

Предметом є методи координації в складних ієрархічних системах.

Аналіз предметної області. Забезпечення інформаційного обміну із заданою якістю в мобільних радіомережах (MP) класу MANET (Mobile Ad-Hoc Networks), при відсутності фіксованої мережевої інфраструктури, потребує пошуку нових підходів до управління ними.

Одним з підходів є представлення системи управління (СУ) радіомережі сукупністю мобільних вузлів, що взаємодіють між собою, кожен з яких є окремою вузловою СУ.

Критерієм оптимальності управління радіомережею, що відображає ступінь досягнення поставленої мети, є цільова функція (ЦФ) управління [4]. Особливості ЦФ управління мережами радіозв'язку класу MANET та їх класифікація наведені в [4]. До особливостей зазначених ЦФ можна віднести те, що більшість з них залежать одна від одної, а також можуть заперечувати одна-одній. Наприклад, бажання мінімізувати витрати енергії батарей абонентів призведе до росту кількості ретрансляцій або довжини маршруту передачі і, відповідно, збільшення часу передачі повідомлень. Оскільки, мобільні радіомережі характеризуються частою та непередбачуваною зміною мережевої топології та постійною обмеженістю ресурсів вузлів (більшість з яких живиться від батарей), доцільним є динамічна зміна їх цільових функцій в залежності від пріоритетності поставлених завдань, типу трафіка, етапів і функцій управління тощо.

Таким чином, актуальною є задача розробки методів координації цільових функцій вузлових СУ в моменти динамічної зміни ЦФ мобільної радіомережі. При цьому вибір методу координації залежатиме від параметрів вузлів (навантаження, якості обслуговування трафіка, розміру черг, тощо) та умов функціонування MP [5], від обраної стратегії управління та структури системи управління MP.

Виходячи з цього можна визначити основні вимоги до методів координації:

- здатність приймати рішення з координації за умов децентралізованого управління;
- мінімальна завантаженість мережі службовою інформацією;
- мінімальне використання енергоресурсів вузлів, які живляться від батарей;
- здійснення координації ЦФ як між вузловими СУ, так і між підсистемами окремо

взятої вузлової СУ.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Питанням координації в науковій літературі приділяється недостатня увага. Зокрема, координація зазвичай трактується (в порядку від загального визначення до конкретного) як:

- подолання надлишкових ступенів свободи рухомого органу керування, тобто перетворення його в систему, якою можна керувати (Н.А. Бернштейн) [6];
- процес досягнення єдності зусиль всіх підсистем (підрозділів) організації для реалізації її задач та цілей [7];
- керівна діяльність, що полягає в забезпеченні взаємозв'язку та узгодженості суб'єктів, об'єктів і процесів праці в часі та просторі [8];
- функція менеджменту у встановленні зв'язків, організації взаємодії і узгодженості роботи компонентів системи, оперативної диспетчеризації виконання планів і задач [9];

– вид діяльності по узгодженню та впорядкуванню зусиль, що об'єднані спільною метою та сумісною діяльністю елементів в виробничо-господарських системах учасників того чи іншого завдання [8];

– попереднє узгодження дій при підготовці планів, та узгоджена реакція системи на завади та проблеми при виконанні цих планів [10].

Крім того, у роботі [11] визначено наступне поняття координації для СУ мобільних радіомереж: це процес узгодження користувальницьких та мережевих цілей усіх підсистем СУ під час розподілу вузлових та мережевих ресурсів для забезпечення інформаційного обміну із заданою якістю в радіомережі або її зоні.

Класичною роботою з питань координації вважається робота М. Месаровича, Д. Мако, І. Такахаха [12], де центральне місце займає дослідження проблеми координації в дворівневих системах і можливість поширення цих результатів на багаторівневі ієрархічні системи. У даній роботі також сформульовані принципи координації, які визначають різні стратегії для координатора, тобто визначають структуру процесу координації: принцип прогнозування взаємодій, принцип узгодження взаємодій і принцип оцінки взаємодій.

Інші роботи продовжують та розвивають підходи М. Месаровича до вирішення задач координації. При цьому на сьогодні можна виділити два види методів координації: ітеративні та безітеративні [13, 14].

У наявних ітеративних процедурах (алгоритм Данцига–Вульфа, алгоритм Корнаї – Ліптака, методи, що ґрунтуються на введенні функції Лагранжа або її різних модифікацій, алгоритми оптимізації, узагальнена схема ітеративних алгоритмів Алієва та Ліберсона) оптимальне рішення визначається в процесі ітеративного обміну інформацією між центром і елементами. На кожному кроці ітеративного процесу розв'язуються локально оптимальні задачі елементів і координуюча задача центру.

Недоліком ітеративних методів координації, при застосуванні в MANET, є значні затрати мережевих та вузлових ресурсів для збору інформації про стан підсистем СУ та узгодження управляючих рішень, які приймаються ними. У безітеративних алгоритмах прийняття рішення здійснюється в результаті однократного обміну інформацією між підсистемами. У цьому випадку координуюча підсистема повинна мати для детермінованого варіанта детальні моделі підсистем і точно знати їх цільові функції, однак такий підхід приводить до втрати переваг децентралізованого способу управління і значного ускладнення задач для підсистем вищестоящого рівня. В основному безітеративні методи координації зводяться до побудови множини ефективних рішень. Для організаційних ієрархічних систем існують методи координації, які ґрунтуються на нечіткій логіці і композиційному правилі Заде [14, 15], а також процедура прийняття рішень у багаторівневій ієрархічній системі на основі теорії нечітких множин і нечіткого динамічного програмування Белмана-Заде [16,18]. У роботі [17] була запропонована безітеративна процедура прийняття рішень у багаторівневій ієрархічній системі на основі теорії нечітких множин і нечіткого динамічного програмування Беллмана – Заде, а також числовий матричний метод для випадку опуклих функцій належності для підсистем. У [19] пропонується метод, що ґрунтується на декомпозиції загальної задачі управління на підзадачі. Цей метод дає змогу явно сформулювати всі припущення, що приймаються при заміні загальної задачі на підзадачі. Проте під час використання цього методу можуть виникати труднощі отримання структури підзадач і принципів координації, сумісних з реальними методами управління технологічними процесами.

Недоліком усіх безітеративних методів є необхідність визначення і передачі на вищестоящий рівень керування всієї ефективної множини параметрів підсистем (або досить точної апроксимації цієї множини).

Перевагами безітеративних методів у разі застосування в СУ вузлами радіомереж MANET є мінімальні затрати мережевих і вузлових ресурсів та можливість прийняття рішень в умовах невизначеності [11].

У свою чергу і ітеративні, і безітеративні методи (алгоритми) координації класифікуються за наступними ознаками: за видом координаційних дій, за етапом функціонування системи управління, за рівнем організації взаємодії, за показником організації взаємодії [11] (рис. 1). Розглянемо кожну з них.

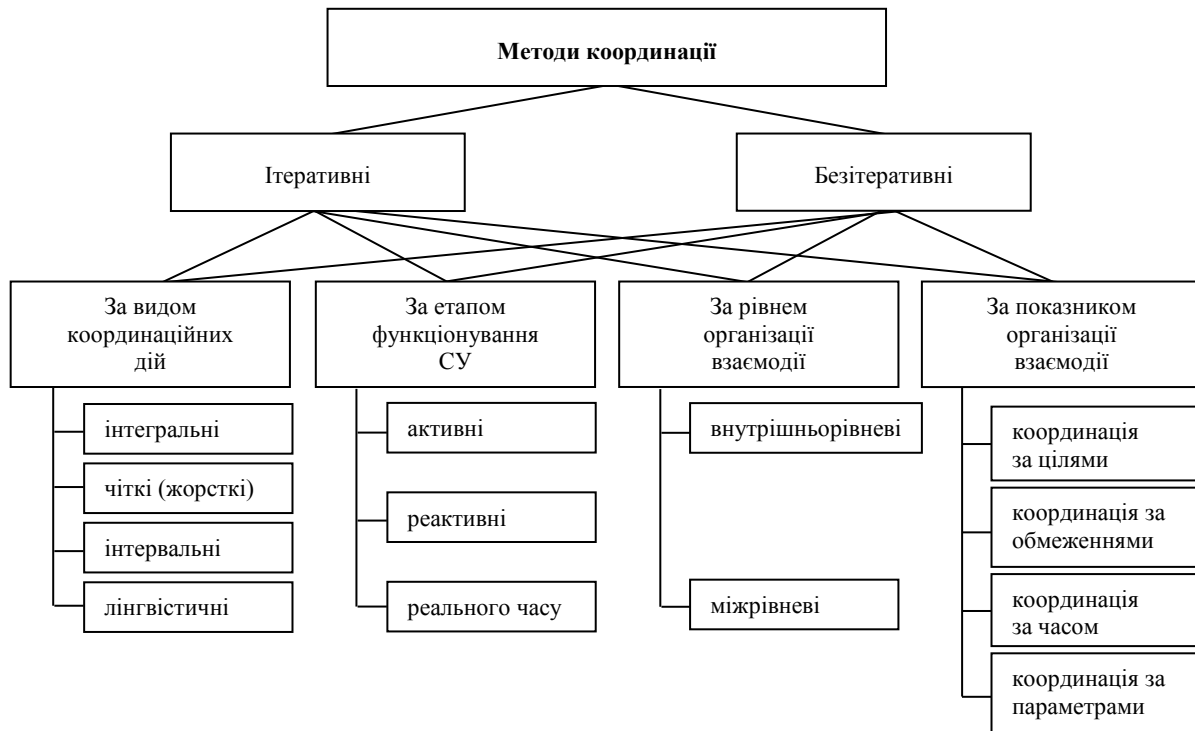


Рис.1 Класифікація методів координації

1. За видом координаційних дій координація може бути:

1) інтегральна (слабка), коли для кожної підсистеми задається плановий показник K на визначений період часу T та різноманітні обмеження (нормативи):

$$\int_0^T [z(t) - z^*] dt \leq K(t)$$

2) чітка (жорстка), коли для параметра K , який координується, в кожний момент часу ставиться вимога дотримання рівності

$$K(t) = K$$

3) інтервальна, яка вимагає лише належності координуючого параметра K заданому інтервалу:

$$K(t) \in [K_{\min}, K_{\max}]$$

4) лінгвістична, під час якої генеруються нечіткі координуючі вказівки природною мовою. У такому випадку координуюча величина K є нечіткою і задається функцією належності $\mu(K)$.

2. За етапом функціонування СУ:

1) Активні (попереджувальні) методи координації – використовуються для формування обмежень, у межах яких повинна відбуватися робота елементів системи управління МР, ще до прийняття рішення нижчестоящими елементами.

2) Реактивні методи координації – передбачають корегування параметрів та цільових функцій елементів ієрархічної системи управління МР після прийняття рішення ними.

3) Методи координації реального часу – передбачають узгодження рішень, що приймаються СУ, в процесі оперативного управління МР.

3. За рівнем організації взаємодії:

1) Внутрішньорівневі методи координації – передбачають узгодження роботи підсистем вузлової СУ в межах одного рівня (вузлового чи мережевого).

2) Міжрівневі – передбачають координацію розподілу вузлових та мережевих ресурсів, узгодження користувальницьких та мережевих цілей.

4. За показником організації взаємодії:

1) Координація за цілями. Система управління вищого рівня (або координатор у межах одного рівня) може встановлювати для підсистеми нижчого рівня цілі функціонування і показники, що їх характеризують із зазначенням їх кількісних значень у період розгортання МР. Тобто цільова функція підсистеми формується вищим рівнем.

2) Координація за обмеженнями. У цьому випадку на ряд параметрів у точках дотику підсистем встановлюються обмеження вищою системою керування. Ці обмеження задаються з системних позицій і враховують цілі та обмеження підсистем.

3) Координація за часом. Цей тип координації полягає в синхронізації роботи підсистем.

4) Координація за параметрами (вхідними або вихідними) – координуючі дії узгоджуються за вхідними або вихідними параметрами відповідних підсистем. [20]

На сьогоднішній день розроблені різні модифікації методів координації управляючих впливів та узгодження локальних рішень, що приймаються на різних рівнях управління. Розглянемо деякі з них:

1. **Ляшенко Е.Н., Кирийчук Д.Л.** В роботі [21] розглянута система цивільного захисту населення як клас ієрархічних багаторівневих систем. Запропонована її структура, виділені три рівня управління (керування) системи. Кожен рівень, в свою чергу, має: координуючий орган управління, постійно діючі органи управління та органи повсякденного управління. Задачі координації зведені до вирішення задачі векторної оптимізації за Парето з врахуванням вектора критеріїв та вектора обмежень. Зроблено висновок, що координація дій динамічних об'єктів в ієрархічних системах може бути зведена до координації *за часом*, що передбачає узгодження) за часом моментів виконання об'єктами операцій, що дозволяє вирішувати задачу координації методами синхронізації за часом. Формальна постановка задачі координації дій, що представлена, адекватна умовам невизначеності вихідної інформації та дефіциту часу. Рішення задачі координації дій за допомогою методів задовільнення спільних обмежень може бути використано в слабкоструктурованих ієрархічних складних динамічних системах.

2. **Кондрашов С.И., Дроздова Т.В.** В роботі [22] розглядається проблема координування складної дворівневої системи у випадку, коли ставиться ЦФ є поліпшення якості роботи, не маючи на меті досягнути „глобального оптимуму”. Проводиться аналіз „лінійної” координації та розглядається загальний підхід до послідовної координації з адаптацією. Перевага заключається в монотонності поліпшення глобальних характеристик, а недоліком є труднощі при встановленні допустимих оціночних діапазонів та вирішення локальних задач. Процедура послідовної координації може бути застосована як ітераційний метод, який дозволяє підвищити характеристики системи до потрібного рівня в межах її можливостей та умовах невизначеності.

3. **Фридман О.В. Фридман А.Я.** В роботах [23, 24, 25] розглядається градієнтний метод координації децентралізованого управління ієрархічними та мережевими структурами. кожна підсистема має критерії якості роботи (параметри настройки) та допустиме відхилення від цього критерію. Реалізований спосіб прогнозування взаємодії без необхідності передачі координатору детальної інформації о характеристиках, а лише за значеннями градієнтів локальних критеріїв якості підсистем.

Застосування цього методу розширює діапазон стійкості мережі, підвищує стійкість системи до зовнішніх збурень, зводить до мінімуму взаємний вплив вузлів мережі, збільшує швидкодію системи.

4. **Сова О. Я., Романюк В. А., Жук П. В., Ошурко В. М.** В [26] запропонований метод координації цільових функцій вузлів МР з використанням нечіткої логіки. Мобільна

радіомережа представляється дворівневою системою управління. Суть методу полягає в тому, що у якості характеристики прийнятих рішень з координації ЦФ вузлів МР пропонується використовувати функції їх належності до підмножини ефективних, допустимих і скоординованих рішень. Це дозволить не тільки встановлювати наявність або відсутність внутрішньосистемних конфліктів і їх природу, але й корегувати параметри вузлів та призначати режими їх роботи відповідно до ситуації, яка склалася в МР.

Застосування методу дозволить відобразити основні властивості системи управління МР і спростити процес її аналізу, провести багатоцільову оцінку кожного управляючого впливу, більш просто і з меншими затратами отримати оптимальне рішення з використанням інтерактивного режиму, скоротити обмін службовою інформацією між рівнями СУ та забезпечити локальну обробку інформації у вузлах.

5. Бойченко О.В. В роботі [27] проаналізовано методологічні засади керування складними багаторівневими інформаційними системами в умовах швидкої зміни порядку їх застосування. Запропоновано застосування комплексного системного підходу щодо координації прикладного (сеансового) та базового рівнів складних розгалужених інформаційних систем для оптимізації їхнього функціонування в умовах можливості виникнення нечітких рішень.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз модифікованих методів координації

Характеристика Методи	Вид координації	Переваги	Метод оптимізації	Застосування
Ляшенко Е.Н., Кириичук Д.Л	безітеративний метод координації	Координація зведена до координації за часом	Векторна оптимізація за Парето	Складні динамічні системи слабо структуровані складні динамічні системи
Кондрашов С.И. Дроздова Т.В.	ітеративний метод координації	Монотонність поліпшення глобальних характеристик, ця особливість є бажаною при використанні «лінійної» координації	Процедура послідовної координації	При лінійній координації
Сова О. Я. Романюк, В. А. Жук П. В. Ошурко В. М.	безітеративний метод координації	Узгодження рішень, що приймаються вузловими ІСУ в дворівневій СУ МР у процесі оперативного управління.	Використання теорії нечітких множин спільно з теорією ієрархічних багаторівневих систем	При координації ЦФ вузлів, що приймають участь у передачі інформації в МР
Фридман О.В. Фридман А.Я.	ітеративний метод координації	Розширює діапазон стійкості мережі підвищує стійкість системи до зовнішніх збурень мінімізує взаємний вплив вузлів мережі	Гradientна оптимізація	Системи з децентралізованим управлінням
Бойченко О.В.	безітеративний метод координації	Дозволяють встановлювати наявність або відсутність конфліктів	Рекурентна процедура	Для вирішення внутрішніх системних конфліктів
Бойченко О.В.	безітеративний метод координації	Дозволяють встановлювати наявність або відсутність конфліктів	Двоетапна рекурентна процедура	Для вирішення внутрішніх системних конфліктів

Аналіз показав, що використання методів оптимізації для децентралізованих систем управління дозволяє ефективно поліпшувати певні необхідні параметри ЦФ. Для мобільних радіомереж з великою кількістю нечітких параметрів та постійною зміною стану доцільно використовувати методи багатокритеріальної оптимізації та теорії нечітких множин.

Висновок

Таким чином, координація займає центральне місце серед функцій управління МР. У статті дано визначення процесу координації в СУ МР, визначено два основних класи методів координації (ітеративні та безітеративні) проведено класифікацію методів координації, які можуть бути використані при побудові СУ МР, розглянуті деякі їх модифікації.

Сформульовані вимоги до методів координації ЦФ в МР. Особливості функціонування МР дозволили зробити висновок про доцільність використання ітеративних методів координації на вузловому рівні СУ мобільною радіомережею, а безітеративних – на мережевому. Разом з тим, результати аналізу існуючих методів координації та їх модифікацій в складних ієрархічних системах не показали однозначної переваги окремих методів одного класу (виду) для застосування при побудові СУ мобільними радіомережами.

Показано, що застосування класичних методів координації не забезпечує виконання вимог, що висуваються до методів координації мобільними радіомережами, у зв'язку з невизначеністю (нечіткістю) вихідних параметрів вузлів МР та динамічною природою функціонування радіомереж.

Крім того, функціонування мобільних вузлів, в залежності від умов, що склалися може описуватися багатьма критеріями різної фізичної природи. Враховуючи зазначене, можливим напрямом удосконалення існуючих та розробка нових методів координації є використання методів як багатокритеріальної оптимізації так і методів теорії нечітких множин. В ході подальших досліджень буде розроблення алгоритмів та методів координації цільових функцій як підсистем вузлової СУ так і систем управління різних вузлів, що приймають участь у передачі інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ходаков В.Е. О развитии основ координации сложных систем [Текст]/ В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова, Д.Л. Кирийчук // Проблемы информационных технологий. – 2014. – № 2 (016). – С. 25 – 30.
2. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / В.А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63 – 65.
3. Романюк В.А. Еволюція тактичних радіомереж: Тези доповідей та виступів учасників VI науково-практичного семінару [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”] / В.А. Романюк // – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2011. – С. 45 – 52.
4. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – К., 2012. – № 1. – С. 109 – 117.
5. Миночкин А.И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
6. Краткий психологический словарь-хрестоматия/ Под ред. К.К.Платонова. – М.: Высшая школа, 1974. –134 с.
7. Парахина В.Н. Основы теории управления / В.Н. Парахина, Л.И. Ушвицкий – М.: Финансы и статистика, 2003. –560 с.
8. Гапоненко А.Л. Теория управления / А.Л. Гапоненко, А.П. Панкрухина М.: РАГС, 2003. – 558 с.
9. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент. – М.: ЗАО „Бизнес-школа” „Интел-Синтез”, 1998. – 416 с.
10. Казанцева А.К. Общий менеджмент. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 252 с.
11. Романюк В.А. Координація цільових функцій інтелектуальних систем управління тактичними радіомережами класу MANET / В.А. Романюк, Я.А. Стемковська, О.А. Симоненко, О.Я. Сова // Збірник наукових праць ХУПС. – 2014. – № 3 (40). – С. 85 – 92.
12. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / Месарович М., Мако Д., Такахага И.; пер. с англ. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1973. – 344 с: ил.

13. Клебанова Т.С. Модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах / Т.С. Клебанова, Е.В. Молдавская, Чанг Хонгвен. – Харьков: Бизнес Информ, 2002. – 148 с.
14. Алиев Р.А. М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Алиев Р.А., Либерзон М.И. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.
15. Алиев Р.А. Безытеративные алгоритмы координации в двухуровневых системах / Р.А. Алиев, М.И. Либерзон // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1986. – № 3. – С.163 – 166.
16. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях [Текст] А.Е. Алтунин. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
17. Алтунин А.Е. Исследование и разработка методов принятия решений в многоуровневых иерархических системах газовой промышленности: автореф. ... канд. техн. наук. / А.Е. Алтунин; МИНХ и ГП им. И.М. Губкин. – М., 1979. – 24 с.
18. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
19. Погостинский Ю.А. Координационный механизм стратегического управления. – СПб., 2006. – 248 с.
20. Катренко А.В. Механізми координації у складних ієрархічних системах / А.В. Катренко, І.В. Савка // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Серія: Інформаційні системи та мережі. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”. – 2008. – С. 156 – 166.
21. Ляшенко Е.Н. Постановка задачи координации в системе гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций регионального уровня управления / Ляшенко Е.Н., Кирийчук Д.Л. // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2015. – № 1 (12). – С. 263 – 269.
22. Кондрашов С.И. Концепция „линейной” координации сложной иерархической системы в условиях неопределенности / С.И. Кондрашов, Т.В. Дроздова // Системи обробки інформації. – 2015. – № 2 (127). – С. 143 – 145.
23. Фридман А. Я. Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // Информационно-управляющие системы. № 6. 2010. С. 13 – 20.
24. Фридман А.Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем// Материалы 11 национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ – 2008. – М.:ЛЕНАНД, 2008. – С. 25 – 31.
25. Фридман О.В. Координация управлений в сложных системах с помощью нейронных сетей/ О.В. Фридман, А.Я. Фридман // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013. № 1 (12). С.73 – 79.
26. Сова О.Я. Метод координації цільових функцій інтелектуальних систем управління вузлами тактичних мобільних радіомереж / О.Я. Сова, В.А. Романюк, П.В. Жук, В.М. Ошурко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2014. – № 3. – С. 50 – 58.
27. Бойченко О.В. Координація нечітких рішень в багаторівневій системі/ О.В. Бойченко // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2016. – № 2 (37) С. 57 – 61.