

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ВИННИЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

**Байас Сампедро Марсия Марисоль**

УДК 658.512.6

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КООРДИНАЦИИ РЕШЕНИЙ  
ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Специальность 05.13.06 – Информационные технологии

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
**ДУБОВОЙ ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ,**  
доктор технических наук, профессор

Винница – 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений и обозначений .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ .....	12
1.1 Системный анализ проблемы управления распределенными технологическими процессами .....	12
1.1.1 Особенности технологического процесса как сложной системы .....	13
1.1.2 Задачи координации технологического процесса .....	14
1.2 Постановка задачи координации локальных систем управления .	19
1.3 Анализ особенностей и неопределенностей, обусловленных нескоординированной составляющей локального управления ...	21
1.4 Анализ методов координации решений в распределенных системах .....	25
1.5 Выводы. Постановка задач исследования .....	41
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДА КООРДИНАЦИИ РЕШЕНИЙ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ .....	43
2.1 Обоснование критериев координационного управления распределенным технологическим процессом .....	44
2.2 Модель распределенного технологического процесса с координационным управлением параллельными подпроцессами	50
2.2.1 Модель взаимосвязи параллельных подпроцессов .....	50
2.2.2 Модель координации параллельных подпроцессов .....	53
2.3 Метод координации решений локальных подсистем управления параллельными подпроцессами .....	63
2.3.1 Выбор структуры системы управления .....	63
2.3.2 Координация состояния параллельных подпроцессов .....	73

2.4	Метод оценки неопределенности координации .....	78
2.5	Выводы .....	90
3	ПРОЦЕДУРЫ И АЛГОРИТМЫ КООРДИНАЦИИ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ .....	91
3.1	Исследование модели координационного управления .....	91
3.2	Разработка структуры информационной технологии .....	95
3.3	Алгоритм кластеризации по методу ближайшего соседа .....	103
3.4	Алгоритмы распределения ресурсов .....	109
3.4.1	Алгоритмы распределения ресурсов на основе генетического алгоритма .....	109
3.4.2	Координации решений о распределении ресурсов на основе алгоритма случайных блужданий .....	112
3.5	Сравнение разработанных алгоритмов .....	117
3.6	Выводы .....	120
4	ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КООРДИНАЦИИ РЕШЕНИЙ .....	121
4.1	Реализация основных программных модулей .....	121
4.1.1	Программный модуль для распределения ресурсов .....	124
4.1.2	Программный модуль для авторизации .....	125
4.1.3	Программный модуль для настройки системы .....	126
4.1.4	Программный модуль для работы с базой данных и генерирования отчетов .....	129
4.1.5	Программный модуль для мониторинга системы .....	129
4.1.6	Интерфейс конечного пользователя .....	130
4.2	Имитационная модель координационного управления .....	131
4.3	Оценка эффективности информационной технологии .....	135
4.4	Выводы .....	139
	ВЫВОДЫ .....	141
	Список использованных источников .....	143

Приложения .....	162
А Документы, подтверждающие внедрение результатов работы ...	162
Б Листинги основных программных модулей .....	165

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Современные промышленные предприятия требуют сложных систем управления (СУ), которые управляют несколькими технологическими объектами, объединенными в один технологический процесс. С развитием микропроцессорных средств такое управление обычно обеспечивают распределенные СУ. Распределенная система состоит из автономных объектов, которые принимают решения для достижения общей цели. Наиболее распространена иерархическая структура распределенной системы. Пространственное распределение технологических объектов (ТО) сложных систем вызывает трудности в управлении. ТО могут функционировать независимо друг от друга, иметь различные цели и ограничения, различные параметры производительности и эффективности, что часто приводит к многочисленным проблемам и порождает высокую степень неопределенности при принятии управленческих решений. В связи с этим проблема координации решений при управлении производственными системами, состоящими из взаимосвязанных ТО, является актуальной. Особенно актуальной в последнее время стала задача координации решений подсистем. Это обусловлено частичной неопределенностью (непредсказуемостью) решений, вырабатываемых этими подсистемами.

Постановке задач координационного управления сложными системами и методам их решения уделяется много внимания со стороны украинских и зарубежных исследователей, о чем свидетельствует большое количество публикаций, появившихся в последние десятилетия. Фундаментальная систематизация задач координации сделана в работах М. Д. Месаровича, А. П. Ладанюка. Рассматриваются преимущественно итерационные и неитерационные детерминированные алгоритмы координации. Однако разнообразие задач координации (критериев, ограничений, структур систем и т. п.), большая размерность задач (количество координируемых параметров), наличие неопределенности при оценивании состояния координируемых процессов обуславливают необходимость дальнейших исследований. В

частности, не решена задача координации, предусматривающая совместное использование одного ресурса несколькими параллельными технологическими линиями с одновременной синхронизацией работы этих линий, что и обуславливает актуальность диссертационной работы.

**Связь с научными программами, планами, темами.** Работа выполнялась в соответствии с планами научно–исследовательских работ кафедры компьютерных систем управления Винницкого национального технического университета в рамках госбюджетной научно–исследовательской работы № 46–Д–344 «Розробка методів та засобів прийняття рішень при управлінні технологічними процесами, що розгалужуються, в умовах невизначеності» (номер гос. регистрации 0112U001367).

#### **Цель и задачи исследования**

**Целью** диссертационной работы является повышение эффективности параллельных технологических процессов с общим ресурсом на основе информационной технологии координации решений локальных систем управления.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие **основные задачи:**

анализ существующих систем и технологий координации решений;  
разработка модели распределенной системы управления в параллельных технологических процессах;

усовершенствование метода координации решений локальных систем управления;

развитие метода оценки неопределенности и риска принятия решений в системе координационного управления;

разработка процедур и алгоритмов координации на основе эвристических методов;

практическая реализация и применение информационной технологии координации решений.

*Объектом исследования* являются процессы принятия решений в распределенных системах управления с локальными подсистемами.

*Предметом исследования* является информационная технология координации решений локальных систем управления.

**Методы исследований:** системный анализ и теория информации для решения задачи оптимальной кластеризации задач управления, теория координации и теория принятия решения при разработке новых методов и процедур координации, методы оптимизации при разработке алгоритмов оптимизации параметров координации.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в следующем:

– Впервые разработана модель распределенного технологического процесса с координационным управлением параллельными подпроцессами, отличающаяся учетом ресурсной и временной взаимосвязи подпроцессов с использованием экспертных оценок, статистических данных и результатов измерений, что позволяет сформулировать критерий координационного управления в условиях комбинированной неопределенности;

– Усовершенствован метод координации решений локальных систем управления в параллельных технологических процессах, отличающийся совместной координацией распределения ресурсов и синхронизацией процессов, что позволяет снизить риск решений;

– Получил последующее развитие метод оценки неопределенности и риска принятия решений в системе координационного управления, отличающийся совместным использованием экспертных оценок, статистических данных и результатов измерений со случайными погрешностями, что позволяет решать задачу координации в условиях комбинированной неопределенности.

**Практическое значение полученных результатов** заключается в том, что разработана информационная технология координации решений локальных систем управления параллельными технологическими процессами. Разработанная информационная технология будет

способствовать повышению эффективности функционирования таких систем.

На основе результатов теоретических исследований разработаны:

- алгоритм кластеризации задач управления;
- алгоритм распределения ресурсов и синхронизации параллельных технологических процессов;
- структура, основные компоненты и программное обеспечение информационной технологии координации решений.
- усовершенствованная методика случайного поиска обеспечивает сокращение времени принятия решений и, таким образом, позволяет сократить время простоя.

Результаты исследований внедрены, что подтверждено соответствующими актами.

Результаты исследования были внедрены на предприятии «Люстдорф» для усовершенствования управления процессами переработки молока на основе применения предложенной информационной технологии координации решений локальных систем управления (акт внедрения от 16.12.2014 г.):

- метод координации решений локальных систем управления;
- метод оценки риска принятия решений;
- алгоритм координационного управления распределением ресурсов и синхронизацией технологических линий.

Результаты исследования были использованы также в учебном процессе Винницкого национального технического университета (ВНТУ) в лекциях и практических занятиях по курсу «Методы управления в комплексных разветвленных системах и сетях», в разделе «Методы координационного управления» (акт внедрения от 14.04.2015 г.).

**Личный вклад соискателя.** Все результаты, составляющие основное содержание диссертации, получены соискателем самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежат такие идеи и разработки: в [39, 60, 111] – формализация задачи ресурсно–временной



координации; в [66, 25, 111, 59, 24] – информационная технология координации решений в технологических процессах; в [60] – модель распределенного технологического процесса с координационным управлением подпроцессами; в [108] – декомпозиция задач управления методом кластеризации; в [130] – усовершенствованный метод координации решений локальных систем управления в параллельных технологических процессах; в [66, 104] – метод оценки неопределенности и риска принятия решений в системе координационного управления; в [60, 130] – реализация координации решений о распределении ресурсов на основе генетического алгоритма; в [121, 123, 125] – реализация координации решений о распределении ресурсов на основе алгоритма случайных блужданий; в [128-129] – реализация координации решений о распределении ресурсов в параллельных технологических процессах.

### **Апробация результатов диссертации**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 11 научно–технических конференциях.

XI Международная конференция «Контроль и управление в сложных системах» (Винница, 2012).

XV Международная научно–техническая конференция «Системный анализ и информационные технологии» (Киев, 2013).

XX Международная научно–практическая конференция «Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье» (Харьков, 2013).

XX Международная конференция по автоматическому управлению (Автоматика, 2013).

Четвертая международная научно–практическая конференция «Интеллектуальные системы в промышленности и образовании» (Сумы, 2013).

XVI Международная научно–техническая конференция «Системный анализ и информационные технологии» (Киев, 2014).

XII Международная конференция «Контроль и управление в сложных системах» (Винница, 2014).

«Информатика, управление и искусственный интеллект», научно–технической конференция студентов, магистров и аспирантов (Харьков, 2014).

Научно–технические конференции профессорско–преподавательского состава, сотрудников и студентов Винницкого национального технического университета (Винница, 2013–2015).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 4 статьи опубликованы в специализированных изданиях, утвержденных ДАК Украины, 2 статьи опубликованы в международных журналах, индексируемых в Scopus, 8 работ опубликованы в сборниках материалов конференций, 1 глава из монографии; получено 2 свидетельства о регистрации авторского права на произведение.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня сокращений, списка литературы и приложений. Основное содержание изложено на 130 страницах печатного текста, содержит 63 рисунка, 10 таблиц. Список использованных источников содержит 157 наименований. Общий объем работы 177 страниц.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mesarovic M.D. Theory of hierarchical multilevel systems / Mesarovic M. D., Macko D., Takahara Y. — New York : Academic Press, 1970. — 294. p.
2. Goubko M. V. Optimal hierarchies of control for cost functions presentable as sum of homogenous functions. / M. V. Goubko // Automation and Remote Control. — 2010. — V. 71, № 9. — P. 1913—1926.
3. Mishin S. P. Optimal stimulation in multilevel hierarchical structures / S. P. Mishin // Automation and Remote Control 65. — 2004. — № 5. — P. 768–789.
4. Воронин А. А. Оптимальные иерархические структуры / А. А. Воронин, С. П. Мишин. — М. : ИПУ РАН, 2003. — 210 с.
5. Pataconi A. Optimal Coordination in Hierarchies. / A. Pataconi // Economics Series Working Papers. — 2005. — No. 238. — P. 39. — ISSN 1471–0498.
6. Новиков Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д. А. Новиков. — М. : Фонд «Проблемы управления», 1999. — 150 с.
7. Chacón R. E. Systems integration in production environments: state of the art and a new proposal / Edgar Chacón Ramírez, Eliezer Colina Morles / Tecnologías de avanzada. — 2005. — Vol. 1, № 5. — P. 86–96. ISSN 1692–7257.
8. Yan H. Optimal and hierarchical controls in dynamic stochastic manufacturing systems / H. Yan, S.P. Sethi, H. Yan // Manuf. Serv. Oper. Manag. — 2002. — Vol. 4, № 2. — P. 133–170.
9. Parmer G. A system for predictable hierarchical resource management / G. Parmer, R. West // Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS). — 17th Conference IEEE, 11-14 April 2011, Chicago. — P. 180–190. — ISSN 1080-1812.
10. Волкович В. Л. Системный подход к исследованию иерархических систем управления / В. Л. Волкович, Н. Ф. Радомский //

Материалы Международного симпозиума по проблемам организационного управления и иерархическим системам. — Баку, 1971. — С. 25–31.

11. Filip F.–G. Large–Scale Complex Systems / F.–G. Filip, K. Leiviskä // Handbook of Automation (S. Nof, editor), Springer, 2009. — P. 619–638.

12. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : монография / Алтунин А. Е., Семухин М. В. — Тюмень : Издательство Тюменского государственного университета, 2000. — 352 с.

13. Мусаев А. А. Интеграция автоматизированных систем управления крупных промышленных предприятий: принципы, проблемы, решения / А. А. Мусаев, Ю. М. Шерстюк // Автоматизация в промышленности. — 2003. — №. 10. — С. 40–45.

14. Sethi S. P. Optimal and hierarchical controls in dynamic stochastic manufacturing systems: A survey / S. P. Sethi, H. Yan, H. Zhang, Q. Zhang // Manufacturing & Service Operations Management.— 2002.— № 2 (4).— P. 133–170.

15. Кузьмин И.В. Элементы вероятностных моделей АСУ / И.В. Кузьмин, А.А. Явна, В.И. Ключко ; под ред. И.В. Кузьмина. М. : Советское радио, 1975. — 336 с.

16. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления / И. В. Кузьмин. — М. : Сов. радио, 1971. — 296 с.

17. Ладанюк А. П. Основи системного аналізу : навчальний посібник / А. П. Ладанюк. — Вінниця : Нова книга, 2004. — 176 с.

18. Колесников А. В. Теоретические основы решения сложной задачи оперативно-производственного планирования с учетом координации / А. В. Колесников, С. А. Солдатов // Вестник Российского государственного университета им. Иммануила Канта. — 2009. — № 10. — С. 82–98.

19. 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.

20. Malone T. W. The interdisciplinary study of coordination / T. W. Malone and K. Crowston // ACM Comput. Surv. CSUR. – 1994. — Vol. 26, № 1. — P. 87–119.

21. Плюта Н. В. Модель координационного взаимодействия в сложной иерархической системе / Н. В. Плюта, С. И. Гоменюк // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Информатика и моделирование. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. — № 17. — С. 122–127.

22. Carpentier P. P. Decomposition, coordination and aggregation in the optimal control of a large water supply network / P. P. Carpentier and G. Cohen // in Proc. 9th Proc. of the 9th Triennial IFAC World Congress, Budapest. — 1984. — P. 3207–3212.

23. Atay F. M. On the emergence of complex systems on the basis of the coordination of complex behaviors of their elements: synchronization and complexity / F. M. Atay, J. Jost // Complexity, 2004. — Vol. 10, № 1. — P. 17–22.

24. Bayas M. M. Modeling the coordination of cleaning processes in a pasteurization line based on Petri Nets / M. M. Bayas, V. M. Duvoboy // International Conference on Automatic Control. Automatics. — 2013. — P. 288.

25. Bayas M. M. Efficient Management of Distributed Technology, Distributed Objects And Technological Processes / M. M. Bayas, V. M. Dubovoy // Контроль і управління в складних системах (КУСС–2012). XI Міжнародна конференція : тези доповідей. Вінниця, 9–11 жовтня 2012 року. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 112–113.

26. Буков В. Н. Децентрализованное управление с модельной координацией составной многосвязной системой / В. Н. Буков, А. М. Бронников, Н. И. Сельвесюк // Автоматика и телемеханика. – 2009. – № 10. – С. 3–14.

27. Гермейер Ю. Б. О некоторых задачах теории иерархических систем управления / Ю. Б. Гермейер, Н. Н. Моисеев // Проблемы прикладной математики и механики. – М. : Наука, 1971. — С. 30–43.

28. Cohen G. Auxiliary problem principle and decomposition of optimization problems / G. Cohen // J. Optim. Theory Appl. — 1980. — Vol. 32. — № 3. — P. 277–305.

29. Шумигай Д.А. Алгоритми координації підсистем технологічних комплексів з використанням еталонних моделей / Д.А. Шумигай А.П. Ладанюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 6/3 (48) . — С. 24–26.

30. Bayas M. M. Информационные технологии в координации местных интеллектуальных систем в технологических процессах / М. М. Bayas Sampedro, В. М. Дубовой // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, 2013. – С. 290.

31. Ладанюк А. П. Задачи координации и управления запасами в компьютерно-интегрированных структурах технологических и производственных комплексов / А. П. Ладанюк, В. Д. Кишенько // Праці міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика – 2000) . — Львів, 2000. — Т. 4. — С. 7–10.

32. Цуканов Михаил А. Технологическая координация и управление сложноструктурированными производствами на основе мультиагентных технологий : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» / Михаил А. Цуканов ; Указать наименование учреждения, где защищался. – Указать город, где защищался, 2012. — 20 с.

33. Ладанюк А. П. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа / А. П. Ладанюк, Д. А. Шумигай, Р. О. Бойко // Проблемы управления и информатики. – 2013. – № 4. – С. 117–122.

34. Соколова Н. А. Организация координации в системах управления объектами хозяйственной деятельности / Н. А. Соколова, Д. В. Ходаков, В. Е. Ходаков // Автоматика. Автоматизация. Електротехнічні комплекси та системи. – 2005. – №. 1. – С. 163–168.

35. Xu C. Coordination of distributed production planning and scheduling systems / C. Xu, G. Sand, S. Engell // Management and Control of Production and Logistics.— 2010.— C. 126–131.

36. Christodoulou G. Coordination mechanisms / G. Christodoulou, E. Koutsoupias, A. Nanavati // Theoretical Computer Science.— 2009.— № 36. (410).— P. 3327–3336.

37. Caragiannis I. Efficient coordination mechanisms for unrelated machine scheduling / I. Caragiannis // Algorithmica.— 2013.— № 3 (66).— P. 512–540.

38. Davare A. Classification, customization, and characterization: Using milp for task allocation and scheduling / A. Davare // EECS Department, University of California, Berkeley, Technical Report No. UCB/EECS. — 2006. — 166 c.

39. Bayas M. M. Efficient Resources Allocation in Technological Processes Using Genetic Algorithm / M. M. Bayas, V. M. Dubovoy // Middle-East Journal of Scientific Research. – 2013. – Vol. 14, № 1. – P. 1–4. – ISSN 1990–9233. – DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.14.1.16313.

40. Niu D. An efficient distributed algorithm for resource allocation in large-scale coupled systems / D. Niu, B. Li // Proceedings INFOCOM IEEE–2013. — C. 1501–1509.

41. Woodside C. M. Fast allocation of processes in distributed and parallel systems / C. M. Woodside, G. G. Monforton // Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on. — 1993. — Vol. 4. — №. 2. — P. 164–174.

42. Teich J. A Flow-Based Approach to Solving Resource Constrained Scheduling Problems / J. Teich, L. Thiele // Computer Engineering and Communication Networks Lab, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland. — April.— 1996. — 69 c.

43. Niu D. An efficient distributed algorithm for resource allocation in large-scale coupled systems / D. Niu, B. Li // INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE. – IEEE, 2013. – C. 1501-1509.

44. Кучеренко Е. И. О Методах, моделях и критериях принятия решений в пространственно-распределенных объектах / Е. И. Кучеренко, И. С. Глушенкова // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический випуск : Информатика и моделирование . – Х . : НТУ «ХПИ». – 2009. – № 13. С . — 102-107.

45. Lin F. Decentralized control and coordination of discrete-event systems with partial observation / F. Lin, W.M. Wonham // Automatic Control, IEEE Transactions. — 1990. — Vol. 35. — № 12. — P. 1330–1337.

46. Голуб, С.В. Координація взаємодій локальних агрегатів в структурі систем багаторівневого перетворення моніторингової інформації / С.В. Голуб // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2009. — № 6. — P. 136.

47. Чернышов В. Н. Теория систем и системный анализ / В. Н. Чернышов, А. В. Чернышов — Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. — 96 с.

48. Butkovskiy A. G. Some problems of control of the distributed-parameter systems / A. G. Butkovskiy // Automation and Remote Control. — 2011. — Vol. 72. — № 6. — P. 1237–1241.

49. Shen W. Agent-based distributed manufacturing process planning and scheduling: a state-of-the-art survey / W. Shen, L.Wang, Q. Hao // Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on. — 2006. — Vol. 36. — № 4. — P. 563–577.

50. Geilen M. C. W. Formal techniques for verification of complex real-time systems : PhD. Thesis / Marc Constantijn Willem Geilen. — Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven, 2002. — 276 p.

51. Тренев В. Н. О формировании стратегических решений при управлении развитием (предприятий) при помощи распределенных процедур (часть I)/ В. Н. Тренев // Вестник научно-технического развития. — № 1. — 2007. — С. 1–18.



52. Анфилатов В. С. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин ; под ред. А. А. Емельянова. — М. : Финансы и статистика, 2002. — 368 с.

53. Conejo A. J. Decomposition techniques in mathematical programming / E. Castillo, R. Minguez, A. J. Conejo, and R. Garcia–Bertrand // Springer Berlin Heidelberg New York. — 2006. — 601 p.

54. Giselsson P. et al. Accelerated gradient methods and dual decomposition in distributed model predictive control / P. et al. Giselsson // Automatica. — 2013. — Vol. 49. — № 3. — P. 829–833.

55. Levis A. H. Task decomposition and allocation problems and discrete event systems / A. H. Levis, N. Moray, B. Hu // Automatica. — 1994. — Vol. 30. — № 2. — P. 203–216.

56. Бурков В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. — М. : Синтез, 1999. — 128 с.

57. Duda Z. Two-level stochastic control for a linear system with nonclassical information / Zdzisław Duda, Witold Brandys // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. — 2004. — Vol. 14. — № 2. — P. 161–166.

58. Bayas M. M. Resource allocation problem in the frame of distributed objects coordination using genetic algorithms / M. M. Bayas // System Analysis and Information Technologies (SAIT 2013) : Proceedings of the XV International Science and Technology Conference, Kyiv, 27–31 May, 2013. — 516 p.

59. Bayas M. M. Development of the structure of the multi-agent coordination in technological processes / M. M. Bayas, V. M. Dubovoy // System Analysis and Information Technologies (SAIT 2014) : Proceedings of the XVI International Science and Technology Conference, Kyiv, 26–30 May, 2014. — P. 184. ISBN 978-966-2748-50-5.

60. Байас М. М. Координация решений о распределении ресурсов на основе генетического алгоритма / М. М. Байас, В. М. Дубовой // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2014. — Том 30, № 2. — С. 4–12. —ISSN 1999–9941.

61. Маслобоев А.В. Координация в многоуровневых сетцентрических системах управления региональной безопасностью: подход и формальная модель/ А.В. Маслобоев, В.А. Путилов, А.В. Сютин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 1. – С. – 130–138.
62. Ногин В. Д. Принятие решений при многих критериях : учебно-методическое пособие. – СПб. : Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с.
63. Schneeweiss C. Hierarchies in Distributed Decision Making / C. Schneeweiss // Journal of Economics Vol. 72. – No. 2 (2000) . – P. 229-231.
64. Абрамов О. В. Методы и алгоритмы параметрического синтеза стохастических систем / О. В. Абрамов // Проблемы управления. – No. 4. – 2006. – С. 3-8.
65. Ren Z. Multi-disciplinary collaborative building design—A comparative study between multi-agent systems and multi-disciplinary optimisation approaches / Z. Ren, F. Yang, N. M. Bouchlaghem, C. J. Anumba // Automation in Construction. – 2011. – Vol. 20. – № 5. – P. 537–549.
66. Дубовой В. М. Прийняття рішень в управлінні розгалуженими технологічними процесами : монографія / В. М. Дубовой, Г. Ю. Дерман, І. В. Пилипенко, М. М. Байас. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 216 с . — ISBN 978-966-641569-4.
67. Colson B. An overview of bilevel optimization / B. Colson, P. Marcotte, G. Savard // Annals of Operations Research, September. — 2007. — Vol. 153, № 1. — P. 235–256.
68. Durfee E. H. Practically coordinating / E. H. Durfee // AI Mag. — 1999. — Vol. 20. – № 1. – P. 1–18.
69. Rubinstein A. The Electronic Mail Game: Strategic Behavior Under Almost Common Knowledge / A. Rubinstein //The American Economic Review. – 1989. – P. 385–391.
70. Стоилова К. Прогнозирующие неитеративные координации в иерархических системах / К. Стоилова // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 4. – С. 137–151.

71. Stoilov T. Noniterative coordination in multilevel systems / T. Stoilov and K. Stoilova // Springer Science & Business Media. – 1999. – 268 p. ISBN 0-7923-5879-1.

72. Boyd S. Global optimization in control system analysis and design / S. Boyd // Control and Dynamic Systems V53: High Performance Systems Techniques and Applications: Advances in Theory and Applications. – 2012. – Vol. 53. – P. 1.

73. Florez J. Z. Etudes de commande par décomposition–coordination pour l’optimisation de la conduite de vallées hydroélectriques / J. Z. Florez : дис. – Université de Grenoble, 24 october 2012. – French. – 167 p. [<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00745001>].

74. Allison J. T. Optimal partitioning and coordination decisions in decomposition-based design optimization / J. T. Allison, Ph.D. Dissertation, Univ. of Michigan, Ann Arbor, MI. – Michigan, 2008. – 212 p.

75. Jesus M. Analysis of the Performance of Benders-based Distributed Decomposition Methods for Linear Stochastic Programming / Jesus M. Latorre, Rafael Palacios, Andres Ramos // [Online] Available : <http://www.iit.upcomillas.es/aramos/papers/paper-grid.pdf>.

76. Boschetti M. Benders decomposition, Lagrangean relaxation and metaheuristic design / M. Boschetti and V. Maniezzo // J. Heuristics, 2009. – Vol. 15, № 3. – P. 283–312.

77. Tucker A. B. Computer science handbook / Allen B. Tucker. – Alberta. – 2nd edition. — Chapman & Hall/CRC, 2004. — 2624 p. — ISBN-10: 158488360X, ISBN-13: 978-1584883609.

78. Geoffrion A. M. Generalized Benders decomposition / A. M. Geoffrion // Journal of Optimization Theory and Applications. – 1972. – Vol. 10, № 4. – P. 237–260.

79. Алиев Р. А. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Р. А. Алиев, М. И. Либерзон – М. : Радиоисвязь, 1987. – 208 с.

80. Kwang Y. Lee Modern Heuristic optimization methods / Y. Lee Kwang, A. El-Sharkawi Mohamed. – March 2008 : Wiley-IEEE Press . – 616 с. – ISBN: 978-0-471-45711-4.

81. Игнатъев И. В. Методика координации настроек автоматических регуляторов возбуждения в сложных электроэнергетических системах / И. В. Игнатъев, А. Е. Ковров // Численные методы и комплексы программ. – СПбГАСУ. – 2007. – . С. 74–79.

82. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы : учебно–методическое пособие / Т. В. Панченко — Астрахань : АГУ, 2007. — 87 с.

83. Xhafa F. An experimental study on genetic algorithms for resource allocation on grid systems / F. Xhafa, L. Barolli, A. Durresi // Journal of Interconnection Networks. – 2007. – Vol. 8, № 4. – P. 427–443.

84. Shao X. Integration of process planning and scheduling—a modified genetic algorithm–based approach / X. Shao, X. Li, L. Gao, C. Zhang // Computers & Operations Research.— 2009.— № 6 (36). — P. 2082–2096.

85. Malhotra R. Genetic algorithms: Concepts, design for optimization of process controllers / R. Malhotra // Comput. Inf. Sci. — 2011. – Vol. 4, № 2. – P. 39.

86. Дебиев М. В. Алгоритм решения задачи оптимального распределения ресурсов энергоотрасли региона / М. В. Дебиев // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 26. – №. 3 (26). — С. 1–11.

87. МамоЙленко С. Н. Алгоритмы планирования решения масштабируемых задач на распределенных вычислительных системах / С. Н. МамоЙленко, А. В. Ефимов // Вестник ГОУ ВПО «СибГУТИ». – 2010. – № 2. – С. 66–78.

88. Chan F. T. A hybrid genetic algorithm for production and distribution / F. T. Chan, S. H. Chung, S. Wadhwa. // Omega. — 2005.— № 4 (33).— P. 345–355.

89. Blanco A. FANS: Una heurística basada en conjuntos difusos para problemas de optimización / A. Blanco, D. A. Pelta, J. L. Verdegay //Inteligencia

Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. – 2003. – №. 19. – С. 103-122.

90. Trebi–Ollenu Multiobjective fuzzy genetic algorithm optimisation approach to onlinear control system design / Trebi–Ollenu and B. A. White // IEE Proc.– Control Theory Appl., 1997. – Vol. 144. – № 2. – P. 137–142.

91. Wang S. Fuzzy Stochastic Optimization: Theory, Models and Applications / S. Wang and J. Watada // Springer Science & Business Media. – 2012. – P. 248.

92. Luban F. Measuring efficiency of a hierarchical organization with fuzzy DEA method / Florica Luban // Economia, Seria Management. — 2009. — Vol. 12. — №. 1. — P. 87–97.

93. Harris C. J. Intelligent control: aspects of fuzzy logic and neural nets / C. J. Harris, C. G. Moore and M. Brown // World Scientific Press (Robotics and Automated Systems). – 1993. № 6. – P. 289.

94. Bellman R. E. Decision-making in a fuzzy environment / R. E. Bellman, L. A. Zadeh // Mathematical Models of Coordination Mechanisms in Multi-Agent Systems // Management Science. – (Dec., 1970). – Vol. 17. – № 4. – Application Series – P. B141–B164.

95. Sycara K. P. Multiagent systems / K. P. Sycara // AI magazine. – 1998. – Vol. 19. – № 2. – P. 79–92.

96. Зеленцов В. А. Многоагентное моделирование при управлении эксплуатацией сложных систем / В. А. Зеленцов // Известия ЮФУ, Технические науки. – 2010. – № 11. – С. 8.

97. Зайцев Е. И. Использование интеллектуальных агентов в распределенных вычислительных системах / Е. И. Зайцев, Д. Ю. Фомин, Д. М. Марасанов // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации. Материалы Первой Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Москва, МИРЭА, 6–8 апреля 2006 г. Под ред. Д.И. Дубровского и Е.А. Никитиной — М. : ИИнтелЛЛ.— 2006.— С. 420–422.

98. Terán J. Mathematical models of coordination mechanisms in multi-agent systems / J. Terán, J. L. Aguilar, M. Cerrada // *Clei Electronic Journal*. – 2013. – Vol. 16, № 2. – С. 5.

99. Ren W. A survey of consensus problems in multi-agent coordination / W. Ren, R. W. Beard, and E. M. Atkins // *American Control Conference. Proceedings of the 2005*. – P. 1859–1864.

100. Wooldridge M. Intelligent agents: Theory and practice / M. Wooldridge and N. R. Jennings // *Knowl. Eng. Rev.* – 1995. – Vol. 10. – № 2. – P. 115–152.

101. López-Ortega O. Intelligent and collaborative multi-agent system to generate and schedule production orders / O. López-Ortega, V. López-Morales, I. Villar-Medina // *Journal of Intelligent Manufacturing*.— 2008. — № 6 (19). — P. 677–687.

102. Байас М. М. Декомпозиция задач управления методом кластеризации / М. М. Байас, В. М. Дубовой, М. Дуда // *Контроль і управління в складних системах (КУСС–2014). XII Міжнародна конференція : тези доповідей. Вінниця, 14–16 жовтня 2014 року.* — С. 39.

103. Berkhin P. Survey of Clustering Data Mining Techniques / P. A. Berkhin // *Grouping multidimensional data*. – Springer Berlin Heidelberg // *Accrue Software, 2006.*– С. 25-71.

104. Байас М. М. Оценка влияния синхронизации параллельных технологических операций на эффективность разветвляющегося процесса / М. М. Байас Сампедро, В. М. Дубовой, И. В. Пилипенко // *Automatics – 2013 : Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління, 27–31 вересня 2013 р.* — Миколаїв : НУК, 2013. – С. 311.

105. Дубовой В. М. Оцінювання ризику розгалужено-циклічних технологічних процесів / В. М. Дубовой, І. В. Пилипенко, А. В. Денисов // *Вісник ХНУ.* – 2011. — № 6. – С. 165–168.

106. Вальковский В. А. Распараллеливание алгоритмов и программ / В. А. Вальковский. — М. : Радио и связь, 1989. — 175 с.

107. Трусов А. Д. Учет затрат в комплексных производствах / А. Д. Трусов. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 238 с.
108. Байас М. М. Декомпозиція задач управління методом кластеризації / М. М. Байас, В. М. Дубовой, М. Е. Дуда / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 6. – С. 22–30. – ISSN 1997-9266.
109. Дубовой В. М. Оптимізація підсистем збору даних АСУТП в умовах комбінованої невизначеності монографія / В. М. Дубовой, О. Д. Никитенко. — Вінниця : ВНТУ, 2011 . – 176 с.
110. Reitbauer Alois. Java Enterprise performance / Alois Reitbauer, Klaus Enzenhofer, Andreas Grabner, Michael Kopp, Stephen Pierzchala and Steve Wilson // Compuware Corporation.– March 2012.– [PDF, Online] : <http://www.dynatrace.com/en/javabook.html>
111. Байас Сампедро М. М. Информационные технологии в координации местных интеллектуальных систем в технологических процессах / М. М. Байас Сампедро, В. М. Дубовой // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції, Харків. – 2013. – С. 90.
112. Sadati N. Fuzzy Goal Coordination of Large-scale Systems Using Tamura's Method / N. Sadati, A. T. Balaei // Fuzzy Systems : International Conference on. – IEEE. – 2006. – С. 1355-1361.
113. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии в идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн – Винница : Континент-ПРИМ, 1999. – 300 с.
114. Мамчур Е. А. Принцип простоты и меры сложности / Е. А. Мамчур, Н. Ф. Овчинников, А. И. Уемов. – М. : Наука, 1989. – 304 с.
115. Воронов А. А. Теория линейных систем автоматического управления / Н. А. Бабаков, А. А. Воронов, А. А. Воронова и др.; Под ред. А. А., Воронова.—2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 367 с., ил. Для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика».

116. Глонь О. В. Моделювання систем керування в умовах невизначеності / О. В. Глонь, В. М. Дубовой – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2004. – 169 с.

117. Mayer, D.G. Differential evolution an easy and efficient evolutionary algorithm for model optimization / D. G. Mayer, B.P Kinghorn , A. A. Archer . – Agricultural Systems, 2005.— Vol. 83 .— P. 315–328.

118. Иванов В. В. Методы вычислений на ЭВМ : справочное пособие / В. В. Иванов // Киев : Наукова думка, 1986. – С. 23.

119. Ucar B. Task assignment in heterogeneous computing systems / B. Ucar // J. Parallel Distrib. Comput. – 2006. – Vol. 66. – № 1. – P. 32–46.

120. Технология и техника переработки молока / Молочный портал. – Режим доступа : [хтп://molokoportal.ru/category/tehnologiya-i-texnika-pererabotki-moloka](http://molokoportal.ru/category/tehnologiya-i-texnika-pererabotki-moloka).

121. Bayas M. M. Efficient Resources Allocation in Technological Processes Using an Approximate algorithm based on Random Walk / M. M. Bayas, V. M. Dubovoy // International Journal of Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 5. – № 5. – P. 4214–4218. – ISSN 2319-8613.

122. Rimmel A. Optimization of the nested monte-carlo algorithm on the traveling salesman problem with time windows / A. Rimmel, F. Teytaud, T. Cazenave // Applications of Evolutionary Computation. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – P. 501–510.

123. Bayas M. M. Improvement of coordination of distributed industrial objects by search methods / М. М. Ваяс // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2014. – № 3. – С. 62–65. – ISSN 2219-9365.

124. Bayas M. M. A heuristic method of random search for task of coordination. / М. М. Ваяс // Інформатика, управління та штучний інтелект : тези науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків : НТУ, ХП, 2014. – С. 96.

125. Bayas M. M. Model based in random walk for coordination of a dairy plant / М. М. Ваяс, V. M. Dubovoy // Інтелектуальні системи в



промисловості і освіти : тези доповідей Четвертої міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 6–8 листопада 2013 р. / редкол. : А. С. Довбиш, С. П. Шаповалов, І. В. Шелехов. – Суми : Видавництво СумДУ, 2013. – С. 151–152.

126. Bayas M. M. Development of a coordination method for effective Decision-making in a hierarchical multilevel industrial system / M. M. Bayas // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2015. – № 1. – P. 85–91. ISSN 1607–3274.

127. АСУ молочной отрясли. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <http://elitesmontage.com.ua/amilk.php>.

128. Свідоцтво № 58854 Державної служби інтелектуальної власності України, 02.03.2015. Програма координації технологічних процесів із спільними ресурсами і операціями / Байас М. М., Дубовой В. М., Дуда М. Е. ; заявл. 05.01.2015 ; опубл. 02.03.2015.

129. Свідоцтво № 58875 Державної служби інтелектуальної власності України, 05.03.2015. Координація роботи виробничих ліній на молокозаводі / Дубовой В. М., Байас М. М., Дуда М. Е. ; заявл. 12.01.2015 ; опубл. 05.03.2015.

130. Байас М. М. Розробка програмного модуля для підвищення ефективності координації виробничих процесів молочного виробництва / М. М. Байас, В. М. Дубовой, М. Е. Дуда // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2014. – № 4. – С. 128–134. . – ISSN 2219-9365.

131. Дубовой В. М. Інформаційна технологія координації багато-лінійного технологічного процесу / В. М. Дубовой, М. Е. Дуда, М. М. Байас // Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2015) : праці 17-ої Міжнародної конференції, м. Київ, 22–25 червня, 2015. – С. 238-239.

132. Ковалюк О. О. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами : монографія / В. М. Дубовой, О. О. Ковалюк – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. – 185 с.

133. Wang W. Network Target Coordination for Design Optimization of Decomposed Systems : Ph.D. thesis / W. Wang. – Clemson, Estados Unidos. – Clemson University, 2012. – 150 p.

134. 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. – № 631. – С. 156–166.

135. Лепа Р. Н. Иерархический подход к координации управленческой деятельности на предприятии / Р. Н. Лепа, И. А. Андриенко // Перспективи розвитку економіки України: теорія, методологія, практика: XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 26–27 травня 2009 р. : тези допов. – Луцьк, 2009. – С. 278–280.

136. Tosserams S. Augmented Lagrangian coordination for distributed optimal design in MDO / S. Tosserams, L. F. P. Etman and J. E. Rooda // International journal for numerical methods in engineering . – 2008. – Vol. 73. – P. 1885–1910.

137. Karakayali M. K. et al. Network coordination for spectrally efficient communications in cellular systems / M. K. Karakayali // Wireless Communications, IEEE. – 2006. – Vol. 13. – № 4. – P. 56–61.

138. Плюта Н. В. Модель координационного взаимодействия в сложной иерархической системе / Н. В. Плюта, С. І. Гоменюк // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Информатика и моделирование. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. – № 17. – С. 122–127.

139. Ro Y. K. Modularity as a strategy for supply chain coordination: The case of U. S. Auto / Y. K. Ro, J. K. Liker and S. K. Fixson // IEEE Transactions on Engineering Management. – 2007. – Vol. 54. – № 1. – P. 172–189.

140. Tosserams S. Multi-modality in augmented Lagrangian coordination for distributed optimal design / S. Tosserams, L. F. P. Etman and J. E. Rooda // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2009. – Vol. 40. – № 1–6. – P. 329–352.

141. Scattolini R. Architectures for distributed and hierarchical model predictive control: a review / R. Scattolini // *Journal of Process Control*. – 2009. – Vol. 19. – № 5. – P. 723–731.

142. Андриенко И. А. Анализ методов и моделей координации в иерархических структурах управления / И. А. Андриенко // *Стратегія і механізми регулювання промислового розвитку* : зб. наук. праць НАН України, Ін-т економіки пром-сті ; редкол. : Булеєв І. П. (відп. ред.) та ін. – Донецьк, 2009. – С. 298–312.

143. Mery D. A fast non-iterative algorithm for the removal of blur caused by uniform linear motion in X-ray images / D. Mery, D. Filbert // *Proceedings of the 15th World Conference on Non-Destructive Testing*. – 2000. – С.15–21.

144. Соколова Н.А. Координация в управляющих системах / Н. А. Соколова, Д. В. Ходаков // *Вестник Херсонского государственного технического университета*. – №1(19). – 2004. – С. 174-181.

145. Stoilova K. Predictive Coordination in Two Level Hierarchical Systems / K. Stoilova and T. Stoilov // *First International IEEE symposium intelligent systems*. – 2002. – P. 324–329.

146. Nash J. C. Optimization algorithms—an overview, in *Nonlinear Parameter Optimization Using R Tools* / J. C. Nash // John Wiley & Sons. – 2014. – Doi: 10.1002 ISBN: 9781118569283.

147. Шашихин В. Н. Теория автоматического управления. Методы декомпозиции, агрегирования и координации / В. Н. Шашихин – СПб. : Изд-во СПб.ГПУ, 2007. – 116 с.

148. Kelley C. T. *Iterative Methods for Optimization* / C. T. Kelley // Copyright ©1999 by the Society for Industrial and Applied Mathematics. – 188 с.

149. Grigoriadis M. D. Coordination complexity of parallel price-directive decomposition / M. D. Grigoriadis, L. G. Khachiyan // *Mathematics of Operations Research*. – 1996. – Vol. 21. – № 2. – P. 321–340.

150. Kerzner H. R. *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling* / H. R. Kerzner // John Wiley & Sons. – New Jersey. – 2013. – 1122 с.

151. Van Der Merwe A. P. Project management and business development: integrating strategy, structure, processes and projects / A. P. Van Der Merwe // International Journal of Project Management. – 2002. – Vol. 20. – № 5. – P. 401–411.

152. Griffin A. The effect of project and process characteristics on product development cycle time / A. Griffin // Journal of Marketing Research. – 1997. – Vol. 34. – №. 1. – P. 24-35.

153. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория\\_расписаний](https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_расписаний)

154. Конвей Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер – Москва : Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975. – 360 с.

155. Richard W. Theory of scheduling / Richard W. Conway, William L. Maxwell, Louis W. Miller // Courier Corporation. – 2012. – 304 p.

156. Holmberg K. C. Mean value cross decomposition for nonlinear convex problems / K. C, Holmberg, K. C. Kiwiel // Optimisation Methods and Software. – 2006. – Vol. 21. – № 3. – P. 401–417.

157. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/anticris/72026>