

УДК 621.3.01

Кузнецов Борис Иванович, д-р техн. наук, проф., завідувач відділом проблем управління магнітним полем Інститут технічних проблем магнетизму НАН України, м. Харків, Україна. вул. Індустріальна 19, м. Харків, Україна, 61106. тел. 0505766900. E-mail: bikuznetsov@mail.ru (orcid record, 0000-0002-1100-095X)

Нікітіна Тетяна Борисівна, д-р техн. наук, доц., завідувача кафедрою загально технічних дисциплін Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна. вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002. тел. 0505766900. E-mail: tatjana55555@gmail.com (orcid record, 0000-0002-0185-3078)

Коломісць Валерій Віталійович, канд. техн. наук, доц., директор навчально-наукового професійно-педагогічного інституту Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків, Україна. вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003, тел. 0990310429. E-mail: pr.etfuipa@yandex.ru (orcid record, 0000-0002-9073-5793)

Татарченко Максим Олегович, асп. кафедри системного аналізу і управління

Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків, Україна. вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002, тел. 0506680086. E-mail: maxtat@gmail.com (orcid record, 0000-0002-9826-1123)

Хоменко Віктор Віталійович, асп. кафедри електроенергетики

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003. E-mail: vitman@mail.ru (orcid record, 0000-0002-9826-1123)

СТОХАСТИЧНА МУЛЬТІАГЕНТНА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЄМ ЧАСТОК АНІЗОТРОПІЙНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДВОМАСОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Розроблено метод розв'язання задачі багатокритеріального синтезу анізотропійних регуляторів двомасових електромеханічних систем на основі стохастичної мультіагентної оптимізації роєм часток, що дозволяє істотно скоротити час вирішення задачі і задовольнити різноманітним вимогам, які пред'являються до роботи двомасових електромеханічних систем в різних режимах. Наведені результати порівнянь динамічних характеристик двомасової електромеханічної системи з синтезованими анізотропійними регуляторами та з типовими регуляторами.

Ключові слова: двомасова електромеханічна система, анізотропійний регулятор, багатокритеріальний синтез, стохастична мультіагентна оптимізація.

Кузнецов Борис Иванович, д-р техн. наук, проф., заведующий отделом проблем управления магнитным полем Институт технических проблем магнетизма НАН Украины, г. Харьков, Украина. ул. Индустриальная 19, г. Харьков, Украина, 61106. тел. 0505766900. E-mail: bikuznetsov@mail.ru (ORCID record, 0000-0002-1100-095X)

Никитина Татьяна Борисовна, д-р техн. наук, доц., заведующая кафедрой общетехнических дисциплин Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков, Украина. ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002. тел. 0505766900. E-mail: tatjana55555@gmail.com (ORCID record, 0000-0002-0185-3078)

Коломиец Валерий Витальевич, канд. техн. наук, доц. директор учебно-научного профессионально-педагогического института Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков, Украина. ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003. E-mail: pr.etfuipa@yandex.ru (ORCID record, 0000-0002-9073-5793)

Татарченко Максим Олегович, асп. кафедры системного анализа и управления. Национальный технический университет «ХПИ» г. Харьков, Украина. ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61000. E-mail: maxtat@gmail.com (ORCID record, 0000-0002-9826-1123)

Хоменко Виктор Витальевич, асп. кафедры электроэнергетики. Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003. E-mail: vitman@mail.ru (ORCID record, 0000-0002-9826-1123)

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РОЕМ ЧАСТИЦ АНИЗОТРОПИЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДВУХМАССОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Разработан метод решения задачи многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов двухмассовых электромеханических систем на основе стохастической мультіагентной оптимізації роєм частиц, что позволяет существенно сократить время решения задачи и удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе двухмассовых электромеханических систем в различных режимах. Приведены результаты сравнений динамических характеристик двухмассовой электромеханической системы с синтезированными анизотропийными регуляторами и с типовыми регуляторами.

Ключевые слова: двухмассовая электромеханическая система, анизотропийный регулятор, многокритериальный синтез, стохастическая мультіагентная оптимізація.

Kuznetsov Borys Ivanovsch, D-r Eng. Sc., Prof., head of the magnetic field control problem department State Institution «Institute of Technical Problems of Magnetism of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kharkov,

Ukraine. Str. Industrialnaya, 19, Kharkov, Ukraine, 61106. tel. 0505766900. E-mail: bikuznetsov@mail.ru (ORCID record, 0000-0002-1100-095X)

Nikitina Tatyana Borysovna, D-r Eng. Sc., Prof., , head of technical disciplines department of Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine. Str. Petrovskogo, 25, Kharkov, Ukraine, 61002. tel. 0505766900. E-mail: bikuznetsov@mail.ru (ORCID record, 0000-0002-0185-3078)

Kolomiets Valery Vitalievich, D-r Eng. Sc., Prof., , director of Training and Research Institute of Professional Education of the Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine. Str. Universitetskaya, 16, Kharkov, Ukraine, 61003. E-mail: pr.etfuipa@yandex.ru (ORCID record, 0000-0002-9073-5793)

Tatarchenko Maxim Olegovich, Ph.D. student of system analysis and control department of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkov, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002. E-mail: maxtat@gmail.com (ORCID record, 0000-0002-9826-1123)

Khomenko Viktor Vitalievich, Ph.D. student of electricity department of Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine. Str. Universitetskaya, 16, Kharkov, Ukraine, 61003. E-mail: vitman@mail.ru (ORCID record, 0000-0002-9826-1123)

STOCHASTIC PARTICLE SWARM MULTIAGENT OPTIMIZATION OF ANISOTROPIC REGULATORS BY TWO-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Developed a method for solving the problem of multi-synthesis anisotropic regulators by two-mass electromechanical systems based on multi-agent stochastic particle swarm optimization, which can significantly reduce the time for solving the problem and meet the diverse requirements that apply to the work of two-mass electromechanical systems in different modes. The results of comparisons of the dynamic characteristics of the two-mass electromechanical system synthesized anisotropic regulators and types of regulators.

Key words: two-mass electromechanical system, anisotropic regulator, multicriteria synthesis, stochastic multiagent optimization.

Введение

При создании новых поколений техники и новых технологий требуются системы автоматического управления, способные обеспечивать высокую точность при наличии интенсивных задающих и возмущающих воздействий. К таким системам управления обычно предъявляются весьма разнообразные и часто противоречивые требования при работе системы в различных режимах и при различных внешних воздействиях: ступенчатых, линейно-изменяющихся, гармонических, случайных и т. д. [1].

Постановка задачи и цель работы

Одним из интенсивно развивающихся направлений современной теории робастных систем управления являются системы стохастического робастного управления [2–4], имеющие существенно меньшую чувствительность к изменению параметров объекта управления и внешних воздействий. Синтез стохастических робастных систем затрудняется, прежде всего, формулированием такого критерия качества стохастического робастного управления, чтобы синтезированная система удовлетворяла предъявляемым техническим требованиям [5–7]. В работах [8–9] разработан метод многокритериального синтеза анизотропных регуляторов, позволяющий удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе систем в различных режимах. При этом выбор матриц, с помощью которых формируется вектор цели стохастического робастного управления осуществляется путем решения задачи нелинейного программирования. Для решения такой задачи нелинейного программирования с ограничениями использован метод последовательного квадратичного программирования (Sequential quadratic programming – SQP method). Так как целевая функция является многоэкстремальной, то используется процедура мультистарта для задания начальных точек решения задачи многокритериальной оптимизации из области рассматриваемого пространства с помощью алгоритмов поиска локальных критериев. Такой подход позволяет найти глобальный экстремум, однако требует многократного вычисления целевой функции и значительных затрат машинного времени. В последнее время для решения многоэкстремальных задач математического программирования широкое распространение получили бионические алгоритмы [10–11], позволяющих надежно находить глобальный оптимум многоэкстремальных овражных целевых функций и целевых функций с участками типа «плато» и существенно уменьшить

количество вычислений целевой функции и значительно сократить затраты машинного времени.

Целью данной работы является разработка метода решения задачи многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов двухмассовых электромеханических систем на основе стохастической мультиагентной оптимизации роем частиц, что позволяет сократить время определения параметров анизотропийных регуляторов двухмассовых электромеханических систем и удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе двухмассовых электромеханических систем в различных режимах.

Формирование исходной задачи математического программирования

Рассмотрим исходную дискретную систему. Решение задачи синтеза анизотропийных регуляторов во временной области, с помощью которых минимизируется средняя анизотропия системы, сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и уравнения специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала [2–4]. Исходная система, замкнутая синтезированным анизотропийным регулятором, обладает определенными динамическими характеристиками, которые определяются вектором цели. Введем вектор искомых параметров, компонентами которого являются элементы матриц исходной системы, с помощью которых формируется вектор цели стохастического робастного управления. Зададим начальное значение вектора, синтезируем анизотропийный регулятор и определим прямые показатели качества замкнутой системы в различных режимах. При многокритериальном синтезе обычно бывает ситуация, когда исходная точка по некоторым критериям является недопустимой. В частности, это касается заданных значений времени первого согласования, перерегулирования, точности отработки и компенсации случайных внешних воздействий и многих других показателей качества, предъявляемых к системе. Однако, ряд критериев, таких как величины управляющих воздействий и переменных состояния являются допустимыми. Поэтому, в нелинейной схеме компромиссов [1] используется комбинация метода штрафных функций с внутренней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся допустимыми, и метода с внешней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся недопустимыми.

Метод решения

При решении задач многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов двухмассовых электромеханических систем было установлено [9], что целевая функция исходной задачи нелинейного программирования, полученная в результате сворачивания локальных критериев и ограничений с помощью нелинейной схемы компромиссов [1], является многоэкстремальной и для ее вычисления требуется значительное машинное время. Кроме того, в целевой функции имеются многомерные овраги и области, в окрестности которых значение целевой функции меняется очень медленно, вследствие чего применение классических методов оптимизации является малоэффективным. В первую очередь это связано с тем, что использование градиентов целевой функции и ограничений не только требует проведения дополнительных вычислений целевой функции, увеличение количества которых нежелательно, но может также привести к явлению «блуждания» по дну оврага или медленному продвижению к глобальному оптимуму при нахождении в окрестности участка типа «плато». Кроме того, высока вероятность попадания в область притяжения одного из локальных экстремумов с невозможностью выхода из него на следующих шагах оптимизационного процесса.

При многокритериальном синтезе анизотропийных регуляторов двухмассовых электромеханических систем целевая функция исходной задачи нелинейного программирования проводится многократно, поэтому для ускорения выполнения синтеза, целесообразно использовать алгоритмы многоэкстремальной оптимизации, позволяющих находить глобальный оптимум при минимальном количестве вычислений целевой функции. Это требование, в первую очередь, связано с тем, что вычисление целевой функции носит

алгоритмический характер, включающий многократное решение алгебраических уравнений Риккати, уравнений Ляпунова и уравнений специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала, решаемых при синтезе стохастического робастного регулятора с заданным вектором цели робастного управления, что само по себе требует значительных вычислительных ресурсов. Поэтому количество вычислений целевой функции должно быть, по возможности, сведено к минимуму, что требует от оптимизационного алгоритма достаточно высокой скорости сходимости. Кроме того, аналитическое нахождение производных таких целевых функции принципиально невозможно, а их численное определение связано со значительными затратами машинного времени, поэтому предпочтительно использовать алгоритмы, не требующие вычисления производных оптимизируемой функции.

Как показала практика решения конкретных задач многокритериального синтеза анизотропных регуляторов двухмассовых электромеханических систем [1–2], целевые функции являются многоэкстремальными овражными функциями и функциями с участками типа «плато». Применение бионических алгоритмов для решения многоэкстремальных задач математического программирования показало их высокую эффективность нахождения глобального оптимума таких целевых функций. Среди большого разнообразия бионических алгоритмов наиболее перспективными являются стохастические мультиагентные методы, к которым относится оптимизация роем частиц [1–2], в котором частицы роя перемещаются в многомерном пространстве поиска. При своем движении частицы пытаются улучшить найденное ими ранее решение и обмениваются информацией со своими соседями, за счет чего находят глобальный оптимум за меньшее количество итераций. Преимуществом этих методов перед классическими градиентными методами оптимизации является также то, что в них не требуется вычисления производных целевой функции, они практически нечувствительны к близости начального приближения к искомому решению, и позволяют легче учитывать разнообразные ограничения при нахождении глобального оптимума.

Для дальнейшего повышения скорости нахождения глобального оптимума используются гибридные бионических алгоритмов, предложенные в работах [1–2], которые для рассматриваемого класса задач являются более эффективными и позволяют решать исходные многокритериальные задачи оптимизации непосредственно нахождением Парето-оптимального решения. Основой таких гибридных алгоритмов являются бионические алгоритмы оптимизации, обладающие глобальными поисковыми свойствами и позволяющие находить глобальное решение многоэкстремальной задачи нелинейного программирования при многокритериальном синтезе анизотропных регуляторов двухмассовых электромеханических систем с учетом топологии целевой функции.

Результаты моделирования на ЭВМ

В качестве примера рассмотрим реализации переменных состояния следящей электромеханической системы с синтезированными анизотропными регуляторами при случайном изменении момента внешнего сопротивления. На рис. 1 показаны реализации случайных процессов изменения переменных состояния: а) изменения угла $\varphi(t)$ и б) производной угла $\dot{\varphi}(t)$, в) изменения момента $M_{co}(t)$ и г) производной $\dot{M}_{co}(t)$ момента двигателя, д) изменения момента $M_{во}(t)$ и е) производной момента $\dot{M}_{во}(t)$ случайных внешних возмущений.

Результаты сравнений динамических характеристик следящей электромеханической системы показали, что применение синтезированных анизотропных регуляторов позволило уменьшить ошибку компенсации случайного внешнего возмущения, сократить время регулирования и снизить чувствительность системы к изменению параметров объекта управления по сравнению с существующей системой с типовыми регуляторами.

Выводы

На основе стохастической мультиагентной оптимизации роем частиц разработан метод решения многоэкстремальной задачи нелинейного программирования с ограничениями, к которой с помощью нелинейной схемы компромиссов сводится синтез

анизотропных регуляторов двухмассовых электромеханических систем, что позволяет существенно сократить время решения задачи и удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе двухмассовых электромеханических систем в различных режимах. Показано, что применение синтезированных анизотропных регуляторов позволило уменьшить ошибку компенсации случайного внешнего возмущения, сократить время регулирования и снизить чувствительность системы к изменению параметров объекта управления по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

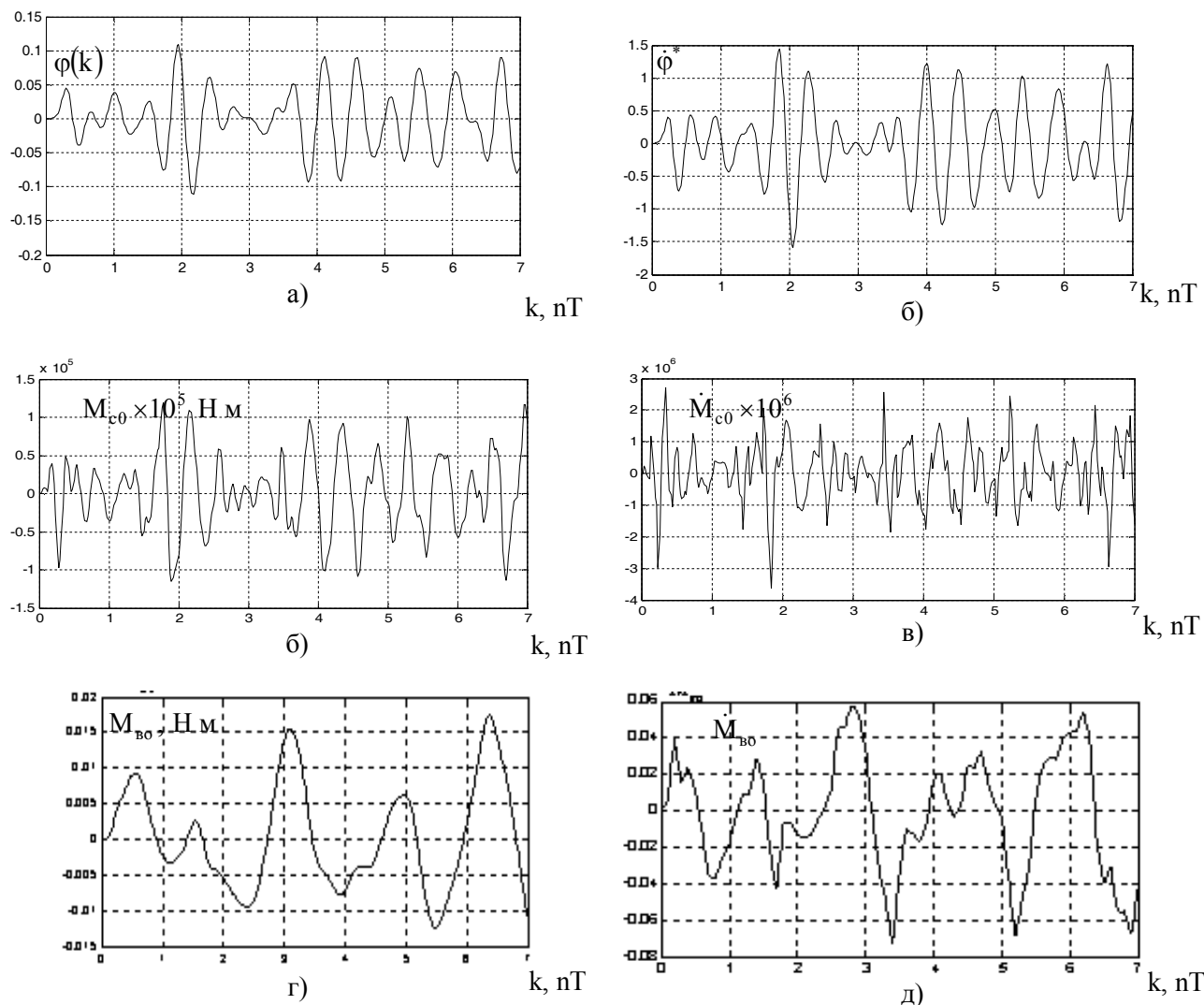


Рис. 1. Реализации случайных процессов изменения переменных состояния

Список использованной литературы

1. Воронин А. Н. Многокритериальный синтез динамических систем. – К.: Наукова думка, 1992. – 160 с.
2. Diamond P., Vladimirov I. G., Kurdjukov A. P., Semyonov A. V. Anisotropy – based performance analysis of linear discrete time invariant control systems // Int. J. Control. – 2001. – V. 74. – P. 28–42.
3. Vladimirov I. G., Kurdjukov A. R, Semyonov A. V. State-space solution to anisotropy-based stochastic H_∞ – optimization problem // Proc. 13th IFAC World Congress. – San-Francisco (USA). – 1996. – P. 427–432.
4. Semyonov A. V., Vladimirov I. G., Kurdjukov A. P. Stochastic approach to H_∞ –optimization // Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control. – Florida (USA). – 1994. – P. 2249–2250.
5. Батищев Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 1994. – 92 с.

6. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / [под ред. А. В. Лотова]. – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с.
7. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин – М.: Физматиздат, 2004. – 176 с.
8. Кузнецов Б. И., Никитина Т. Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. – Харьков: УИПА, 2005. – 512 с.
9. Никитина Т. Б. Многокритериальный синтез робастного управления многомассовыми системами. – Харьков: ХАДУ, 2013. – 432 с.
10. Clerc. M. Particle Swarm Optimization. – London: ISTE Ltd, 2006. – 244 p.
11. Gazi V., Passino K.M. Swarm Stability and Optimization. – Springer, 2011. – 318 p.

References

1. Voronin A. N. Multicriteria synthesis of dynamic systems. – Kiev: Naukova dumka, 1992. – 160 p. (Rus.)
2. Diamond P., Vladimirov I. G., Kurdjukov A. P., Semyonov A. V. Anisotropy – based performance analysis of linear discrete time invariant control systems // Int. J. Control. – 2001. – V. 74. – P. 28 – 42.
3. Vladimirov I. G., Kurdjukov A. R, Semyonov A. V. State-space solution to anisotropy-based stochastic H_{∞} – optimization problem // Proc. 13th IFAC World Congress. – San-Francisco (USA). – 1996. – Pp. 427 – 432.
4. Semyonov A. V., Vladimirov I. G., Kurdjukov A. P. Stochastic approach to H_{∞} –optimization // Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control. – Florida (USA). – 1994. – P. 2249–2250.
5. Batishchev D. I. Multicriteria selection to suit individual preferences / D.I. Batishchev, D.E. Shaposhnikov. – Nizhny Novgorod: IPF RAN, 1994. – 92 p.
6. Shtouer R. Multicriterion optimization. Theory, computation and application / – М.: Radio-i-svyaz, 1992. – 504 p.
7. Nогin V. D. Multicriteria decision making environment: a quantitative approach / V.D. Nогin – М.: Fyzmatyzdat, 2004. – 176 p.
8. Kuznetsov B. I., Nikitina T. B., Kolomiets V. V. Synthesis of electromechanical systems with complex kinematic chains. – Kharkiv: Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, 2005. – 512 p. (Rus.)
9. Nikitina T. B. Multicriterion synthesis of robust control by multimass systems. – Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Highway University, 2013. – 432 p. (Rus.)
10. Clerc. M. Particle Swarm Optimization. – London: ISTE Ltd, 2006. – 244 p.
11. Gazi V., Passino K. M. Swarm Stability and Optimization. – Springer, 2011. – 318 p.

Поступила в редакцию 20.07 2014 г.