

## **Створення математичних моделей та методів ієрархічного планування та прийняття рішень в виробничих системах з обмеженими ресурсами**

### **Создание математических моделей и методов иерархического планирования и принятия решений в производственных системах с ограниченными ресурсами**

### **Mathematical models and methods creation for hierarchical planning and decision making in production systems with limited resources**

- 1. Номер державної реєстрації теми – 0108U001346.**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Павлов О.А., Павлов А.А., Pavlov Alexander A.**
- 3. Суть розробки, основні результати.**  
(укр.)

Загальна фундаментальна проблема, на вирішення якої спрямовано проект – розробка математичних моделей та методів ієрархічного планування та прийняття рішень в складних організаційно-виробничих системах з мережним представленням технологічних процесів та обмеженими ресурсами.

Створена методологія побудови ієрархічних моделей планування та прийняття рішень в складних організаційно-виробничих системах. На її основі розроблена ієрархічна модель планування, якій відповідає принципово новий рівень математичного забезпечення та в якій загальна математична модель задачі календарного планування замінена послідовністю дискретних математичних моделей, сумісних з ієрархією рішень, що повинні бути прийняті на кожному рівні управління. Розроблена система взаємозв'язаних моделей та методів їх розв'язання дозволяє враховувати велику кількість різноманітних виробничих зв'язків, наявних ресурсів, складність продукції, велику кількість стадій виробництва, неодноразовість надходження завдань на виконання. На відміну від існуючих методів планування, кращі з яких містять лінійну чи випадкову комбінацію різних правил переваги, що не гарантує якості отриманих розв'язків, в процесі розв'язання задачі планування визначається стратегія пошуку глобального оптимуму, що дозволяє отримати розв'язки, близькі до оптимальних.

На основі розробленої авторами конструктивної теорії розв'язання важкорозв'язуваних задач комбінаторної оптимізації, що не має аналогів у світі, створено систему нових вискоєфективних взаємозв'язаних алгоритмів розв'язання задач планування за різними критеріями оптимальності, ефективні точні методи та нові модифіковані ПДС-алгоритми (алгоритми з поліноміальною та декомпозиційною складовими) розв'язання відомих NP-складних задач теорії розкладів, що лежать в основі розроблених моделей, за критеріями мінімізації сумарного запізнення виконання завдань одним приладом (МСЗ) та мінімізації сумарного штрафу за запізнення виконання завдань одним приладом (МСШ). Для задачі МСЗ верхня оцінка обчислювальної складності поліноміальної складової алгоритму визначена як поліном третього ступеня від числа завдань, для експоненційної складової алгоритму визначені умови, виконання яких у процесі реалізації алгоритму приводить до істотного збільшення обсягу обчислень. Статистичні дослідження показали, що поза цими умовами для довільної індивідуальної задачі реалізована кількість спрямованих перестановок і відсікань експоненційної складової алгоритму дозволяє одержувати точний розв'язок для задач розмірності до 1000 завдань, що неможливо зробити існуючими методами. Для задачі МСШ отримані розв'язки для задач, що не розв'язані відомими методами, доведена їхня оптимальність. Отримані умови виконання поліноміальної складової та відсікання експоненційної складової алгоритму. Алгоритм також дозволяє в результаті введення правил декомпозиції та додаткових умов відсікання безперспективних варіантів будувати швидкодіючі ефективні евристичні алгоритми зі значенням показника якості, що незначно відрізняється від оптимального, з оцінкою цього відхилення для кожної індивідуальної задачі.

На основі нового авторського підходу до розв'язання задачі багатокритеріального вибору створено конструктивні математичні моделі оптимізації лінійного та випуклого квадратичного програмування в методі аналізу ієрархії Саати для знаходження ваг за добре чи погано погодженими неоднорідними матрицями парних порівнянь, за матрицями парних

порівнянь, що не містять цифрової інформації та за матрицями парних порівнянь з однобічними обмеженнями. Нові моделі оптимізації вирішують проблему знаходження ваг за погано погодженою неоднорідною матрицею та обґрунтування ефективності отриманого розв'язку, що суттєво розширює можливості їх практичного використання.

Створено інформаційну технологію та інтегрований пакет програм, що реалізує розв'язання задач планування в складних організаційно-виробничих системах за різними критеріями оптимальності та задачі багатокритеріального вибору на основі нових моделей оптимізації за неоднорідними матрицями парних порівнянь для знаходження ваг в методі аналізу ієрархії Сааті. Таким чином, вперше в комплексі розв'язано проблему як побудови календарних планів за різними критеріями оптимальності, так і вибору найкращого з них.

**(рос.)**

Общая фундаментальная проблема, на решение которой направлен проект – разработка математических моделей и методов иерархического планирования и принятия решений в сложных организационно-производственных системах с сетевым представлением технологических процессов и ограниченными ресурсами.

Создана методология построения иерархических моделей планирования и принятия решений в сложных организационно-производственных системах. На ее основе разработана иерархическая модель планирования, которой отвечает принципиально новый уровень математического обеспечения и в которой общая математическая модель задачи календарного планирования заменена последовательностью дискретных математических моделей, совместимых с иерархией решений, которые должны быть приняты на каждом уровне управления. Разработанная система взаимосвязанных моделей и методов их решения позволяет учитывать большое количество разнообразных производственных связей, имеющихся ресурсов, сложность продукции, большое количество стадий производства, неодновременность поступления заданий на выполнение. В отличие от существующих методов планирования, лучшие из которых содержат линейную или случайную комбинацию разных правил предпочтения, что не гарантирует качества полученных решений, в процессе решения задачи планирования определяется стратегия поиска глобального оптимума, что позволяет получить решения, близкие к оптимальным.

На основе разработанной авторами конструктивной теории решения труднорешаемых задач комбинаторной оптимизации, не имеющей аналогов в мире, создана система новых высокоэффективных взаимосвязанных алгоритмов решения задач планирования по разным критериям оптимальности, эффективные точные методы и новые модифицированные ПДС-алгоритмы (алгоритмы с полиномиальной и декомпозиционной составляющими) решения известных NP-трудных задач теории расписаний, лежащих в основе разработанных моделей, по критериям минимизации суммарного запаздывания выполнения заданий одним прибором (МСЗ) и минимизации суммарного штрафа за запаздывание выполнения заданий одним прибором (МСШ). Для задачи МСЗ верхняя оценка вычислительной сложности полиномиальной составляющей алгоритма определена как полином третьей степени от числа заданий, для экспоненциальной составляющей алгоритма определены условия, выполнение которых в процессе реализации алгоритма приводит к существенному увеличению объема вычислений. Статистические исследования показали, что вне этих условий для произвольной индивидуальной задачи реализованное количество направленных перестановок и отсечений экспоненциальной составляющей алгоритма позволяет получать точное решение для задач размерности до 1000 заданий, что невозможно сделать существующими методами. Для задачи МСШ получены решения для задач, не разрешимых известными методами, доказана их оптимальность. Получены условия выполнения полиномиальной составляющей и отсеечения экспоненциальной составляющей алгоритма. Алгоритм также позволяет в результате введения правил декомпозиции и дополнительных условий отсеечения бесперспективных вариантов строить быстродействующие эффективные эвристические алгоритмы со значением показателя качества, которое незначительно отличается от оптимального, с оценкой этого отклонения для каждой индивидуальной задачи.

На основе нового авторского подхода к решению задачи многокритеріального вибору созданы конструктивные математические модели оптимизации линейного и выпуклого

квадратичного программирования в методе анализа иерархии Саати для нахождения весов по хорошо или плохо согласованным неоднородным матрицам парных сравнений, по матрицам парных сравнений, не содержащим цифровой информации и по матрицам парных сравнений с односторонними ограничениями. Новые модели оптимизации решают проблему нахождения весов по плохо согласованной неоднородной матрице и обоснование эффективности полученного решения, что существенно расширяет возможности их практического использования.

Создана информационная технология и интегрированный пакет программ, реализующий решение задач планирования в сложных организационно-производственных системах по различным критериям оптимальности и задачи многокритериального выбора на основе новых моделей оптимизации по неоднородным матрицам парных сравнений для нахождения весов в методе анализа иерархии Саати. Таким образом, впервые в комплексе решена проблема как построения календарных планов по разным критериям оптимальности, так и выбора наилучшего из них.

**(англ.)**

The overall fundamental problem to be solved by the project is the development of mathematical models and methods of hierarchical planning and decision making in a complex organizational and production systems with network representation of technological processes and limited resources.

The methodology for hierarchical models of planning and decision-making constructing in the complex organizational and production systems was created. On its basis the hierarchical planning model corresponding to a new level of mathematical software was developed, in which a general mathematical model of the scheduling problem is replaced by a sequence of discrete mathematical models which are compatible with the hierarchy of decisions that must be taken at each level of management. The system of interrelated models and methods created for solving them takes into account a wide variety of industrial ties, available resources, the production complexity, a large number of production stages, nonsimultaneous inflow of tasks. In contrast to existing methods of planning, the best of which contain a linear or a random combination of different preference rules that does not guarantee the quality of obtained solutions, the strategy for finding a global optimum is defined in the process of solving the planning problem, which allows to obtain solutions close to optimal.

On the basis of the constructive theory for the intractable combinatorial optimization problems solution, which was developed by the authors and has no analogues in the world, a system of new highly interrelated algorithms was created for solving planning problems for different optimization criteria, effective accurate methods and the new modified PDC-algorithms (algorithms with polynomial and decompositional components) for solution of well-known NP-hard scheduling problems underlying the developed models, according to the criteria of total tardiness minimization on single machine (TT) and minimizing the total penalty for tardiness on single machine (TPT). For the TT problem the upper bound of computational complexity of the polynomial component of the algorithm was defined as a third-degree polynomial on the number of jobs; for the exponential component of the algorithm the conditions were defined that in the process of implementation of the algorithm lead to a significant increase of calculations. Statistical investigations have shown that outside these conditions for any individual problem the realized number of directed permutations and pruning for exponential component of the algorithm allows to obtain an exact solution for problems of dimension up to 1000 jobs that can not be done by existing methods. For the TPT problem were obtained solutions for problems not solvable by known techniques, their optimality was proven. The conditions obtained for the polynomial component execution and pruning for the exponential component of the algorithm. The algorithm also allows by implementation of decomposition rules and additional pruning conditions for unpromising options to build fast effective heuristic algorithms with the value of the quality index, which differs slightly from the optimum, with an estimation of this difference for each individual problem.

Based on the new author's approach of solving the multi-criteria choice problem the mathematical model of optimization were created for linear and convex quadratic programming in Saaty Analytic Hierarchy Process for finding the weights on well or poorly consistent heterogeneous matrices of paired comparisons, the matrices of paired comparisons that do not contain digital

information and the matrices of paired comparisons with one-sided constraints. New optimization models solve the problem of finding the weights on poorly consistent heterogeneous matrix and of the solution effectiveness justification, which significantly expands the possibilities of their practical use.

The information technology and integrated software suite were created that implement the planning problems solution in complex organizational and production systems for various optimization criteria and the problem of multi-criteria choice on the basis of new optimization models on heterogeneous matrices of paired comparisons for finding the weights in Saaty Analytic Hierarchy Process. Thus, for the first time the problem of constructing schedules on different optimization criteria and selecting the best of them was solved as the complex.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

Немає

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Результати відповідають світовому рівню. В рамках проекту на основі конструктивної, що не має аналогів у світі, теорії розв'язання важкорозв'язуваних задач комбінаторної оптимізації створено нові ефективні методи розв'язання NP-складних задач теорії розкладів МСЗ та МСШ, що дозволяють розв'язувати задачі суттєво більшої розмірності, ніж можливо існуючими методами.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок.**

Розроблене математичне забезпечення дозволить в умовах жорсткої ринкової конкуренції максимізувати прибуток підприємств, забезпечуючи найбільш повне завантаження обладнання, економію енергоресурсів за рахунок: ефективного використання обладнання, максимального скорочення виробничого циклу виготовлення виробів, виконання замовлень точно в строк, зниження витрат на проектування та виробництво та більш повного і своєчасного забезпечення потреб ринку у продукції. Економічний ефект для виробничих систем та систем управління проектами становить не менш 15% від вартості розробки нових виробів та технологій. На відміну від існуючих систем планування, в розробці враховано обмеженість потужностей та фактичне навантаження при виконанні робіт.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Запропоновані моделі та методи носять універсальний характер та знайдуть впровадження при розробці організаційно-виробничих систем у різних галузях народного господарства України, зокрема, для планування та управління робочим цехом, планування виробництв «на замовлення», планування виробництв дрібносерійного типу; ієрархічного планування виробництв по виготовленню партій; ієрархічного планування та управління проектами [1]. Можливе також застосування розробленого комплексу моделей та методів ієрархічного планування в складних організаційно-виробничих системах в інших прикладних областях, наприклад, в системах автоматизованого проектування, інформаційних управляючих системах, системах автоматизації наукових досліджень, системах штучного інтелекту. Досліджувані в роботі задачі є класичними комбінаторними задачами, які знаходять широке використання у теорії кодування, у медицині, генної інженерії, будівництві та інших галузях.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Створено інформаційну технологію, що без будь-яких суттєвих доробок може бути впроваджена у автоматизовані системи планування виробництва та системи планування проектами, що показано на прикладі автоматизованої системи планування та управління дрібносерійним виробництвом (СПУДВ).

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Результати розробки використані у 1-му «Планування та управління складними об'єктами» та 3-му «Дослідження властивостей та ПДС-алгоритми розв'язання важкорозв'язуємих комбінаторних задач» розділах навчального курсу «Ефективні точні алгоритми для важкорозв'язуємих комбінаторних задач» для магістрів за спеціальністю «Інформаційні управляючі системи та технології». Результати роботи частково використані при виконанні госп. договору №2/562-10, впроваджені в автоматизовану систему планування та управління

дрібносерійним виробництвом СПУДВ та ієрархічну автоматизовану систему планування та управління проектами (ІАСУП). За матеріалами роботи підготовлено 4 кандидатські дисертації та монографію. В рамках НДР д.т.н. проф. Павлов О.А. отримав державну премію України в галузі науки і техніки за цикл робіт «Розробка нових математичних моделей, методів та інформаційних технологій розв'язування задач оптимізації, обробки та захисту інформації».

#### **10. Назва організації, телефон, E-mail**

НТУУ «КПІ», науково-дослідний інститут Інформаційних Процесів (НДІ ІП).  
236-19-70, 454-92-87. [compscience@asu.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:compscience@asu.ntu-kpi.kiev.ua), [olegm@asu.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:olegm@asu.ntu-kpi.kiev.ua)

#### **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**

1. Згуровский М.З., Павлов А.А. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: Монография.– 573 с. «Наукова думка».
2. Павлов А.А., Чернов С.К., Кошкин К.В., Мисюра Е.Б. Математические основы управления проектами наукоемких производств: Монография.– Николаев: НУК, 2006.– 208 с.
3. Павлов А.А., Чеховский А.В. Сведение задачи построения многомерной регрессии к последовательности одномерных задач. / Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2008.– №48.– С.111-112
4. Павлов А.А., Кут В.И., Штанькевич А.С. Нахождение весов по матрице парных сравнений с односторонними ограничениями. / Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2008.– №48.– С.29-32
5. Павлов А.А., Иванова А.А. Алгоритм идентификации функции цели в методе анализа иерархий. / Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2008.– №48.– С.46-48
6. Павлов А.А., Штанькевич А.С., Иванова А.А., Логинов М.И., Кут В.И. Система моделирования оптимизационных методов нахождения весов объектов в задаче многокритериального выбора по матрицам парных сравнений. // Адаптивні системи автоматичного управління: міжвідомчий наук.-техн. зб. – 2008. – №12(32).– С.104-111
7. Павлов О.А., Иванова Г.А., Кут В.І., Штанькевич О.С., Математичні моделі оптимізації для пошуку ваг об'єктів у методах підтримки прийняття рішень // Матеріали XI Всеукраїнської (VI Міжнародної) студентської наукової конференції з прикладної математики та інформатики СНКПМІ-2008 (9-10 квітня 2008р., м.Львів) – К. 2008р.
8. Павлов О.А., Иванова Г.А., Кут В.І., Штанькевич О.С., Математичні моделі оптимізації для пошуку ваг об'єктів у методах підтримки прийняття рішень // Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2008: Материалы VIII Международной конференции (14-17 мая 2008г., г.Киев) – К.: Просвіта, 2008. – 608с.: ил. –С.361-366
9. Ліщук К.І. Математичні моделі оптимізації для обґрунтування та знаходження ваг об'єктів в методі парних порівнянь [Текст] / К.І. Ліщук, В.І. Кут // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали десятої міжнародної наук.-техн.конференції, 20–24 травня 2008 р.: тези доповіді. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – С.100.
10. Павлов А.А., Штанькевич А.С., Иванова А.А., Логинов М.И., Кут В.И. Система моделирования оптимизационных методов нахождения весов объектов в задаче многокритериального выбора по матрицам парных сравнений. // Межведомственный научно-технический сборник "Адаптивные системы автоматического управления" ("АСАУ"), 2008.– №32.– С. 104-111.
11. Pavlov O.A., Misjura O.B. Formalization of hierarchical planning and decision-making process // 21st International CODATA Conference (CODATA 21): Матеріали Міжнародної наукової конференції (5-8 October, 2008, Kyiv, Ukraine), 528 p. – P.176-181
12. Pavlov O.A., Misjura O.B., Khalus O.A., Benkovskiy S.B., Liseckiy T.M., Kostik D.Y. Research of the efficiency of accurate PDS-algorithm of the problem of minimization of

- tasks fulfilling total tardiness by one device // 21st International CODATA Conference (CODATA 21): Матеріали Міжнародної наукової конференції (5-8 October, 2008, Kyiv, Ukraine), 528 p. – P.338-342
13. Дослідження ефективності точного ПДС-алгоритму задачі мінімізації сумарного запізнення виконання завдань на одному приладі / О.А. Павлов, О.Б. Місюра, О.А. Халус, С.Б. Беньковський, Т.Н. Лисецький, Д.Ю. Костик // 21st International CODATA Conference (CODATA 21): Труды Міжнародної наукової конференції (5-8 October, 2008, Kyiv, Ukraine). – 4 p.
  14. Pavlov O.A., Ivanova G.A. The group method of data handling and analytic hierarchy process in the decision making problems. // 21st International CODATA Conference (CODATA 21): Матеріали Міжнародної наукової конференції (5-8 October, 2008, Kyiv, Ukraine), 528 p. – P.453-456
  15. Pavlov O.A., Shtankevych O.S., Loginov M.I. The Modeling of Optimization Methods of Object's Priorities Searching in The Multicriterial Decision Making Problem Using Pairwise Comparision Matrixes.// 21st International CODATA Conference (CODATA 21): Матеріали Міжнародної наукової конференції (5-8 October, 2008, Kyiv, Ukraine), 528 p. – P. 472-477
  16. Павлов О.А., Місюра О.Б., Мельников О.В. Дослідження властивостей та розв'язання задачі «Мінімізація сумарного штрафу як за випередження, так і за запізнення відносно директивних строків при виконанні незалежних завдань одним приладом» / Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «БЕК+», 2008.– №48.– С.3-6
  17. Павлов О.А., Місюра О.Б., Халус О.А., Костик Д.Ю., Лисецький Т.М. Оптимізація модифікованого ПДС-алгоритму задачі мінімізації сумарного запізнення виконання завдань. // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «БЕК+», 2008.– №48.– С.85-88
  18. Павлов О.А., Ліщук К.І. Оперативные алгоритмы принятия решений в иерархической системе Саати, основанные на замещении критериев // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «БЕК+», 2008.– №48.– С.78-81
  19. Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Кут В.И., Щербатенко О.В., Михайлов В.В. Математические модели иерархического планирования и принятия решений. // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «БЕК+», 2008.– №48.– С.63-66
  20. Загальна схема планування та управління складними об'єктами, що мають мережне представлення технологічних процесів й обмежені ресурси. / Павлов О.А., Місюра О.Б., Мельников О.В., Щербатенко О.В., Михайлов В.В. // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «БЕК+», 2009.– №49.– С.77-87
  21. Павлов А.А., Иванова А.А., Чеховский А.В. Восстановление функции принятия решения с использованием модифицированного метода анализа иерархий // Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии».– Харьков: НТУ «ХПИ».– 2009.– №4.– С.17-23
  22. Павлов А.А., Штанькевич А.С. Восстановление неизвестной закономерности по ограниченному набору экспериментальных данных с ошибкой // Вестник НТУУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. – №5. – 10с.
  23. Павлов А.А., Штанькевич А.С. Восстановление закономерности по результатам пассивного эксперимента с ограниченным набором данных // Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии».– Харьков: НТУ «ХПИ».– 2009.– №4.– С.160-169
  24. Павлов А.А., Чеховский А.В. Построение многомерной полиномиальной регрессии. Активный эксперимент. // Системні дослідження та інформаційні технології, – 2009, №1. – С.87-99
  25. Павлов А.А., Чеховский А.В. Построение многомерной полиномиальной регрессии. Активный эксперимент с ограничениями // Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии».– Харьков: НТУ «ХПИ».– 2009.– №4.– С.174-186
  26. Згуровский М.З., Павлов А.А. Иерархическое планирование в системах, имеющих сетевое представление технологических процессов и ограниченные ресурсы, как задача принятия

- решений // Системні дослідження та інформаційні технології.– 2009.– №.3. – С.70-75.
27. Гребець Л.О., Лупонос Ю.А. «Дослідження задач мінімізації сумарного зваженого запізнення за умови непорушення директивних строків» // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Системний аналіз та інформаційні технології», 26-30 травня 2009 р., Інститут прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ», Київ
  28. Шипотілов А.А. «Застосування методу імітаційного відпалу в задачі оптимізації управління проектами» // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Системний аналіз та інформаційні технології», 26-30 травня 2009 р., Інститут прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ», Київ
  29. Ліщук К.І. Оперативні алгоритми прийняття рішень в ієрархічних системах Сааті, які базуються на заміщенні критеріїв [Текст] / К.І. Ліщук, О.А. Павлов // Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2009: матеріали дев'ятої міжнародної конференції, 19–22 травня 2009 р.: збірник праць. – К.: Просвіта, 2009. – С.103–109.
  30. Павлов А.А. Принятие решений на основе метода анализа иерархий [Текст] / А.А.Павлов, Е.И. Лищук // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали одинадцятої міжнародної наук.-техн.конференції, 26-30 травня 2009 р.: тези доповіді. – К.: ННК «ПСА» НТУУ «КПІ», 2009. – С.170.
  31. Згуровский М.З., Павлов А.А., Мисюра Е.Б. ПДС-алгоритмы и труднорешаемые задачи комбинаторной оптимизации // Системні дослідження та інформаційні технології.– 2009.– №.4. – С.14-31.
  32. Згуровский М.З., Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Мельников О.В. Методология построения эффективного решения многоэтапных задач календарного планирования на основе принципа иерархии и комплекса взаимосвязанных моделей и методов // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2009.– №50.– С.8-18
  33. Згуровский М.З., Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Мельников О.В. Методы оперативного планирования и принятия решений в сложных организационно-технологических системах // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2009. – №50.– С.3-7
  34. Павлов А.А., Іванова А.А., Штанькевич А.С., Федотов А.П. Модифицированный метод анализа иерархий «версии 2, 3» // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2010.– №51.– С.3-13.
  35. Павлов О.А., Ліщук К.І., Штанькевич О.С., Іванова Г.А., Федотов О.П. Модифікований метод аналізу ієрархій (версія 1, 2) // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2010.– №51.– С.42-54.
  36. Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Мельников О.В., Ганзина Е.А. Программный продукт «Решение задачи агрегации технологического графа» // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2010. – №51.– С.54-56.
  37. Павлов О.А. Модифікація методу аналізу ієрархій для великої кількості альтернатив [Текст] / О.А.Павлов, К.І.Ліщук, А.І.Чуяшенко, О.В.Рубан // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI-2010): матеріали міжнародної наукової конференції, 17–21 травня, 2010: тези доповіді. – Євпаторія. – 2010
  38. Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Мельников О.В., Ганзина Е.А. Решение задачи агрегации в трехуровневой модели планирования мелкосерийного производства // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: «ВЕК+», 2010. – №51.– С.26-28.
  39. Згуровский М.З., Павлов А.А., Штанькевич А.С. Модифицированный метод анализа иерархий // Системні дослідження та інформаційні технології.– 2010.– №.1. – С.7-25.