

---

“АСАУ” – 7(27) 2004

---

УДК 658.52.011.56

О.І. Лісовиченко, Б.М. Данішевський, Є.С. Пуховський, Ю.М. Ланкін,  
Л.С. Ямпольський

## ВІЗУАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГІПЕРСТОРОВО-РОЗПОДІЛЕНИХ ГНУЧКИХ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

### Вступ

Інтеграція матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків, якими супроводжується функціонування сучасних виробничих систем (ВС) з багато-номенклатурністю оброблювальних виробів, дозволяє розглядати такі системи як *складні, ієрархічні, динамічні, паралельні, конвеєрні та циклічні* [11]. Іншою характерною ознакою ВС є *інтеграція та узгодження різноманітних її складових*: необхідного і достатнього за своїм технологічним призначенням для визначеної номенклатури виробів основного устаткування; засобів сервісного обслуговування промислових робіт і упорядкування середовища під групу технологію; матеріальних та інформаційних потоків і засобів їх накопичення, перевантаження, розподілення по обробляючих ресурсах; підсистем автоматизованого проектування керуючих програм, технологічного оснащення і типових технологічних процесів виготовлення виробів певної номенклатури [3, 23, 28]. В такому випадку можна говорити про ВС як про гнучкі комп'ютерно-інтегровані (ГКІВС), оскільки різноманітні матеріальні/енергетичні/інформаційні потоки, відмінне за класом та призначенням устаткування, а також основні складові підсистеми підготовки, проектування, управління і технологічна функціонують, а диспетчеризація потоків реалізується за допомогою засобів комп'ютерної підтримки і забезпечення організаційної, структурної, технологічної та за потужністю гнучкості [31], яка у цілому проявляється у спроможності шляхом параметричних і структурних змін, що не виходять за межі вихідного означення даної системи, реагувати на ініційовані зовні зміни поточного завдання або умов (середовища) його виконання при додержанні прийнятих обмежень на часові та інші параметри [6].

Нарешті, ГКІВС може розглядатися як *логістична система* (ЛС). Типова логістична система складається з потоків товарів (вантажів) та послуг, спостереження (вивчення) і керування (регулювання) цілими потоками [22, 34,]. Адаже серед складових процесів ГКІВС найбільш поширеними є транспортування, розподілення і власне виготовлення виробів. Конфігурація цих процесів і складових і є головним об'єктом керування ЛС. Іншими словами, мета полягає в досягненні добре синхронізованого режиму динамічної взаємодії компонент системи. Серед багатьох якісних

© О.І. Лісовиченко, Б.М. Данішевський, Є.С. Пуховський, Ю.М. Ланкін, Л.С. Ямпольський, 2004

показників (таких, як „вузькі місця” та простоювання), які визначають режим функціонування ГКІВС, блокування (тупикові ситуації) процесу з причин наявності „критичного циклу” в послідовності дії [32], а також ймовірності виникнення нештатних режимів роботи через вплив на систему надзвичайних факторів [18, 27] відіграють чи не найсуттєвішу роль [16].

У будь-якому випадку ГКІВС взагалі, а складальні системи, зокрема, в розв’язанні задач синтезу/аналізу розглядається, як правило, як віртуально створені *дискретно-подійні системи* (ДПС), зміна станів яких здійснюється в дискретні, непередбачені моменти часу при здійсненні подій [20].

Отже реалізація та дослідження ГКІВС ускладнюється гетерогенною їх природою (інтегруванням різних за фізичною природою і виконуючих функцій складових компонент) і впливаючими з притаманних для таких систем з вищезначеними властивостями (динамічність, конвергентність, циклічність, тощо) особливостями синхронізації та координації [33]. Звичайно уживані при цьому методи розв’язання синтезу/аналізу (верифікації, ідентифікації, моделювання та проектування) процесів в таких системах спеціалізовані і, **по-перше**, не підтримують автоматизації послідовності “синтез – імітація – верифікація” в межах однорідного семантичного середовища (засоби теорії масового обслуговування, імітаційного моделювання, теорій графів і сіток, в тому числі апарата сіток Петрі та його поширень) [21], а **по-друге**, не передбачають, як правило, паралельної візуалізації проходження подій в системі, і цей аспект надзвичайно впливає на можливість адекватного реагування користувача-дослідника в разі створення в системі непередбачених ситуацій [7].

### **Концептуальний підхід до розв’язання обмежень дослідження ГКІВС**

Шлях до розв’язання *першого* обмеження методів дослідження ГКІВС запропонований в роботах [6, 7, 20, 21], де впроваджується новий концептуальний підхід, який полягає у створенні інтегрованого *гіперпросторового семантично-узгодженого середовища моделювання* (ГПСУСМ) систем подібного класу із залученням до середовища ефективних взаємоузгоджених семантичних засобів [11, 21] для відбиття логіки (а) диспетчерування і динаміки ситуаційного моделювання транспортних та інформаційних потоків в оброблювальних ресурсах ГКІВС (ця *планарна композиційність процесів* обумовлює розподіленість у просторово-подійному моделюванні [20, 29]) на різних рівнях абстрагування (б) з метою уточнення динамічних властивостей та показників ефективності в заданих обмеженнях умовах (ця міжрівнева трансформація *ієрархічної композиційності процесів* обумовлює просторово-ієрархічну розподіленість в моделюванні [20, 30]) при одночасному урахуванні (в) впливу зовнішніх збурень і внутрішньо-системних критичних факторів, які носять імовірнісний характер і відбивають можливість утворення нових агрегатних (в тому числі, нештатних, тобто непередбачених задале-

гідь) станів системи (ця агрегатована композиційність станів обумовлює просторово-агрегатну розподіленість в моделюванні [4, 6, 16]). З метою практичного наповнення загальних принципів побудови ГПСУСМ запропоновані численні інструментальні семантичні засоби, які в значній мірі сприяли впровадженню ідеї використання ГПСУСМ для розв'язання прикладних задач моделювання процесів в ГСІВС, а саме: модифікації апарату сіток Петрі [15] (в тому числі, нечіткі [29] та часові [5] СП), механізм нечіткого мета-управління в складних системах [6, 21], методи „віртуальних асинхронних світлофорів” [19] та специфікацій і призначень [6, 14, 16] для часо-самосинхронізуючого впливу на матеріальні потоки при їх диспетчеруванні з усталеними циклічними станами, правила пріоритетного розподілення з вихідним призначенням при логістичному моделюванні в умовах обмеженої перепускної спроможності обробляючих ресурсів [22], поширення апарату процесних діод- та макс - алгебр [13, 19, 24] для дослідження динамічної поведінки ГКІВС з часовим навантаженням (формальний апарат для опису властивостей ГКІВС має забезпечувати розвинені набори операцій композиції, компактне синтаксичне подання розрізнених та поєднаних системою компонентів [8], механізми формалізованого подання процесів обробки надзвичайних ситуацій з використанням нейро-фаззи технологій при управлінні процесами в ГКІВС з агрегатними станами [9, 10, 11, 18].

Що стосується *другого* обмеження існуючих підходів до розв'язання задач аналізу/синтезу складних систем, то воно, скоріше, пов'язане з бажаністю оснащення дослідника/проектувальника (надалі - користувача) засобами анімаційного відтворення в режимі on-line перехідних процесів, якими супроводжуються події в ГКІВС. Перш за все, це стосується проблеми, яка виникає на етапах проектування та переналаджування ГКІВС, коли йдеться про вимогу максимального використання ресурсів системи, бо недовикористання виробничих потужностей може призводити до зростання виробничого циклу, більш високих витрат на устаткування при проектуванні системи і, як наслідок, до зниження економічних показників виробництва. В свою чергу, ефективність використання устаткування визначається, головним чином, кількістю часу, необхідного для виконання тієї чи іншої операції, при обмеженнях на енерговитрати, рівень надійності, термін працездатності, тощо. Інакше кажучи, ця проблема значною мірою пов'язана з ієрархічною композиційністю в просторово-ієрархічній розподіленості в моделюванні.

Найчастіше проблема деформується в задачу часового перевантаження модельних компонент ГКІВС верхнього рівня подання за рахунок уточнення їх часів спрацювання на нижчих рівнях подання. Методологічно задача зводиться до впровадження механізмів пошуку найменшого часу виконання визначеного руху (і далі – сукупності рухів) окремого устаткування (і далі – сукупності устаткувань) у складі ГКІВС, при моделюванні якої використовується спеціально запропонований апарат ієрархічних самонавантажуючих сіток Петрі (ІСНСП) [11, 23, 35]. Верхній рівень ієрархії ІСНСП - моделі як дискретно-подійного відображення процесів в

ГКІВС уявляє собою часову сітку Петрі (ЧСП) [5] таку, де кожному переходові  $j$  ставиться у відповідність визначений інтервал часу  $\tau_j$ , який дорівнює тривалості його реалізації, тобто тривалості співставленої з ним операції. Нижні рівні моделі призначені для визначення часів спрацювання переходів  $\tau_j$ , чим забезпечують так зване „навантаження” моделі часовими параметрами. Слід зазначити, що нижні рівні ієрархії ГКІВС можуть мати іншу семантику, використовувати інші формальні підходи для подання динамічних процесів, відповідних до переходів вищереївеної моделі на сітках Петрі. Для забезпечення автоматизації процесу навантаження переходів ЧСП використовуються певні інтелектуалізовані структури, спроможні аналізувати об'єкт моделювання, використовуючи відповідну семантику на необхідному рівні абстрагування моделі. Алгоритмічно такі структури можна реалізувати за допомогою застосування пошукових модулів [29].

Недоліком всіх розглянутих підходів щодо моделювання процесів ГКІВС є відсутність для користувача синхронізованої візуалізації спостережень за подіями в системі через анімаційне подання аспектів функціонування об'єкта досліджень і графічне відображення кількісно-якісних характеристик процесу при цьому.

### **Обґрунтування вибору об'єкта досліджень**

З усього спектра устаткування, яке входить до складу ГКІВС, одними з найбільш кінематично-розподіленими у просторі і динамічно-складними через інерційні фактори і обмеження щодо жорсткісно-пружних властивостей є промислові роботи (ПР), які можуть виконувати на виробництві основні (безпосередньо реалізовувати складні технологічні операції, а саме: складання методами зварювання, згинчування, точного з'єднання тощо, фрезерування, фарбування і т.д.) та допоміжні (пересування, транспортування, орієнтування, завантаження/розвантаження тощо) операції. Отже, запропоновані інструментальні засоби і підходи щодо до досліджень подібного роду об'єктів в разі отримання достовірних і надійних результатів легко можуть бути адаптовані до будь-якого іншого компоненту ГКІВС. Крім того, є ще один аспект, який надає пріоритетність вибору ПР як об'єкта досліджень, який полягає в наступному: оптимізація технологічних процесів обробки/складання, визначених технологічними вимогами їх режимів, практично не залишає резерву для інтенсифікації останніх, тоді як допоміжні операції, що виконуються ПР і займають суттєву долю технологічного циклу, можуть значно прискорюватись за результатами дослідження динаміки їх реалізації.

### **Аналіз проблеми планування та візуалізації рухів маніпуляційної системи ПР**

Планування рухів (прийняття рішень про хід дії перед її виконанням) для вирішення обумовленої технологічним процесом задачі з наступним відпрацюванням виконавчими механізмами і контролем виконання ке-

руючих команд, які необхідні для реалізації цих дій, є однією з головних проблем робототехніки. Система планування дій повинна мати опис підлягаючих маніпулюванню об'єктів, робочого простору і схеми послідовності виконання роботою задачі, початкового і бажаного кінцевого (цільового) стану і виконується, як правило, в три етапи: деталізації задачі, моделювання і синтезу робочих програм рухів ПР. При цьому останні два етапи складаються з розв'язання задач кінематики (прямої – управління, або аналізу; оберненої – про положення маніпулятора, або синтезу) і динаміки (відповідно, прямої задачі динамічного аналізу маніпуляційної системи (МС) ПР з плануванням оптимальної траєкторії руху за векторами швидкості або сили, а також оберненої задачі динамічного синтезу з перевіркою можливостей використання даної МС ПР в умовах забезпечення необхідних прискорень і узагальнених сил моментів). Як математичні при реалізації цих етапів найчастіше використовуються аналітичні та Т-матричні ( $4 \times 4$ ) моделі [1, 2, 17].

*Метою даної роботи* було створення автоматизованого робочого місця користувача (АРМ) для розв'язання задач синтезу/аналізу МС ПР з плануванням дій останньої при динамічному обслуговуванні технологічних процесів ГКІВС з визначенням та візуалізацією змінних просторових положень ланок МС ПР, підготовки вихідних даних для обладнання дистанційного керування з використанням різноманітних технологічних операцій в довільному робочому просторі.

Прийнятним шляхом для розв'язання означеної задачі могло б стати використання вже розроблених спеціалізованих симуляторів (зокрема, Sim Station, Robot Simulation, RobCad тощо), які значною мірою відрізняються від традиційних систем автоматизованого проектування (CAD-систем) засобів тим, що вони дозволяють досліджувати геометрію, кінематику, динаміку рухів. Проте, складнощі системного характеру (високі вимоги до програмно-дискретної платформи), сумісності (пов'язані із проблемами обміну результатами роботи з іншими системами), фінансові (вартість повнофункціональних комерційних версій подібних пакетів) обмежують виправдане застосування таких систем у складі АРМ користувача. З іншого боку, виконання нової розробки необхідного програмного забезпечення (наприклад, на базі інтегрування CAD-систем і мов високого рівня (C++, Pascal)) потребує значних часових і матеріальних витрат. Один з таких підходів розв'язання проблеми запропонований в роботах [25, 26].

### **Засоби реалізації АРМ користувача**

Розроблена система визначення/проектування стану та візуалізації як кінцевого, так і проміжних станів МС ПР, описує його положення по відношенню до заданої абсолютної системи координат, не розглядаючи сили та моменти, що породжують цей рух. Просторове положення захватного пристрою маніпулятора визначається кутами та поступальним рухом ланок маніпулятора. Опис розташування цих ланок в абсолютній системі відліку може бути виконаний на базі, як зазначалось вище, аналіти-

чних та Т-матричних моделей. Для визначення взаємного просторового положення двох суміжних ланок використовується однорідна матриця перетворення  $4 \times 4$ , яка складається з чотирьох підматриць (рис. 1).

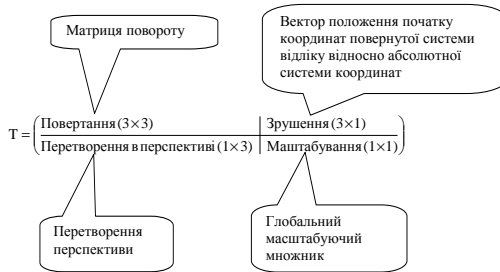


Рис. 1 – Т-матрична модель опису розташування ланок МС ПР.

Процес візуалізації (на основі проведених розрахунків) виконуються ресурсами відеоадаптера, використовуючи графічні бібліотеки DirectX та OpenGL [12]. Цим самим забезпечується паралельність виконання задачі візуалізації: розрахунки (однорідні матриці елементарних поворотів, елементарного зрушення та повороту навколо довільної осі, функції від часу динамічного навантаження МС) – через процесор, а візуалізація (створення зображення МС ПР, перехід до дротово-каркасної (рис. 2, б), фотореалістичної моделі (рис. 2, а), вибір точки спостереження, визначення робочої зони (рис. 2, в), відтворення перехідного процесу МС (рис.3, а), його графічного зображення (рис.3, б) – через відеоадаптер.

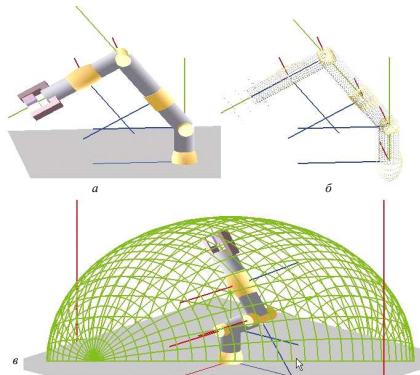


Рис. 2 – Візуалізація МС у вигляді фотореалістичної моделі (а), дротово-каркасної моделі (б), визначення робочої зони МС (в)

Всі розрахунки проводяться на підставі повної інформації (сукупна інформація всіх ланок) про МС, що формується. Для візуалізації прямої/оберненої задачі кінематики – це координати, max/min значення пере-

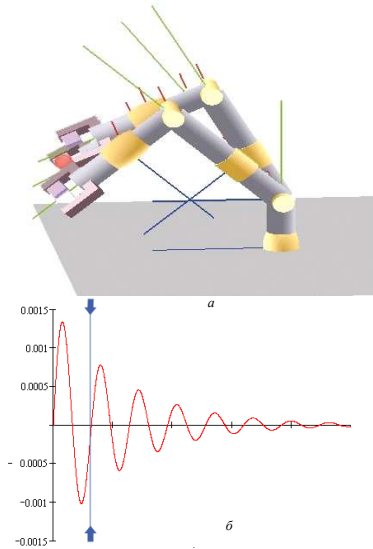


Рис. 3 – Відтворення перехідного процесу при динамічному навантаженні МС (а), графік перехідного процесу (б).

міщень, діаметр ланки (функції бібліотеки GLU та DGLUT). Для візуалізації динамічних навантажень ще додається інформація про швидкість позиціювання, необхідна точність позиціювання, коефіцієнт демпфування кінематичної схеми МС, жорсткість кінематичної схеми МС та маса рухомих ланок.

Алгоритм побудови окремих вузлів і ланок можна окреслити наступними ітераціями:

1. При побудові чергової ланки, її параметри зберігаються в масиві;
2. Перераховується матриця положення - координати ланки;
3. Для відображення ланки викликається функція Renderer (яка, в свою чергу, використовує функції gluCylinder – малювання циліндра, gluSphere – малювання сфери з бібліотек GLU та OpenGL);

4. Для обертання на необхідний кут як окремої ланки, так і МС в цілому використовується функція glRotatef та glTranslatef для переносу на необхідну відстань центра системи координат та інші.

Створене таким чином програмне забезпечення може бути використано для:

- візуалізації МС ПР і окремих його ланок;
- вирішення як прямої так і оберненої задач кінематики;
- візуалізації динамічних навантажень МС ПР і характеристик окремих ланок (у вигляді анімації та графіку перехідних процесів);
- динамічного (в процесі виконання сценарію) редагування параметрів як самої МС, так параметрів усіх його ланок і вузлів (колір, максималь-

на/мінімальна довжина, тип вузла, ширина/висота/довжина і т.д.).

виконання послідовності команд (створення, переміщення, вибір точки спостереження) заздалегідь сформованого користувачем спеціального сценарію.

### Література

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк.- 1986. - 264 с.
2. Вукобратович М., Стокич Д., Кирчански Н. Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами: Пер. с англ. - М.: Мир.- 1989. - 376 с.
3. Гибкие автоматизированные производственные системы / Л.С. Ямпольский, О.М. Калинин, М.М. Ткач и др.; Под ред. Л. С. Ямпольского.— К. : Техника.- 1985.— 280 с.
4. Гиперпространственная семантика процессов в сложных агрегированных системах / о.и. Лисовиченко, л.с. Ямпольский, д.и. Герги, к.б. Остапченко, м.м. Ткач //труды филиала мгу им. Н.э. Баумана в г. Калуге. Специальный выпуск: материалы международн. Науч.-техн. Конф. “приборостроение-2000”, п. Симеиз, 18-23 сентября 2000 г.- с. 411-416.
5. Дубина Д.А., Ямпольский Л.С., Пуховский Е.С. Использование модифицированных сетей петри при моделировании гибких производственных систем //Автоматизация виробничих процесів.-2001р.- 2(13).- С.60-67.
6. Интегрированная семантически согласованная среда гиперпространственного моделирования гибких компьютеризированных производственных систем / О.И. Лисовиченко, В.И. Костюк, А.А. Лавров, Л.С. Ямпольский //Автоматизация виробничих процесів.- 2001р.- 2(13).- С.86-100.
7. Концептуальный підхід до розробки тнтегрованого об’єктно-орієнтованого середовища для моделювання ГВС / О.В. Блажко, В.В. Борисюк, А.А. Гілязов, А.С. Птічнікова, О.І. Лісовиченко // Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка “Нові технології”.-Кременчук.- 2003.- Вип.1(2).- С.81-85.
8. Лавров О.А. Моделирование гнучких дискретно-подійних систем на основі методів з комбінованою симантикою/ Дис. на здоб. наук. ступ. докт. техн. наук, Київ. – 2000.- 400 с.
9. Лавров А.А., Лисовиченко О. И., Ямпольский Л. С. Обучение и двухуровневая нечеткая оптимизация в разработке компьютерно-интегрированных систем //Радіоелектроніка, інформатика, управління.- 1999.- 2.- 1999.-С. 114-120.



10. Лавров О.А., Сігал О.Л., Лісовиченко О.І. Узагальнена композиція сіткових моделей ГВС// Новые решения в современных технологиях. Вестник харьковского государственного политехнического университета.- 1999.- Вып. 58.- с. 32-34.
11. Лісовиченко О.І., Ямпольський Л.С. Семантично-узгоджене середовище гіперпросторових моделей складальних комп'ютерно-інтегрованих систем// Адаптивні системи автоматичного управління.- 2000.-Вип. 3'(23).- С.137-147.
12. Мейсон Ву, Том Девис, Джеки Нейдер, Дейв Шрайнер OpenGL. Официальное руководство программиста / OpenGL. Programming Guide.- Изд-во: ДиаСофт. ISBN 5-93772-041-5.- 2002. - 592 с.
13. Моделювання процесів взаємодії компонентів комп'ютерно-інтегрованих систем із застосуванням апарату процесних алгебр / О.В. Блажко, О.І. Лісовиченко, Є.С. Пуховський, Л.С. Ямпольський // Адаптивні системи автоматичного управління.- 2003.- Вип. 5'(25).- С. 9-28.
14. Моделювання розподіленого управління перепускними спроможностями циклічних виробничих систем / З.А. Банашак, О.І. Лісовиченко, Д.І. Гергі, Л.С. Ямпольський // труды филиала мгу им. Н.Э. Баумана в г. Калуге. Специальный выпуск: Материалы междунаrodn. науч.-техн. конф. “Приборостроение-2001”.- С. 158-163.
15. Модифікація апарату сіток петрі і моделювання складних комп'ютерно-інтегрованих систем з ієрархічною семантикою подання процесів / П.В. Кузьмін, О.А. Лавров, О.І. Лісовиченко, К.Б. Остапченко, Л.С. Ямпольський // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту/, Житомир:ЖІТІ.- 1998. 8.-С. 80-92.
16. Нові підходи до моделювання і управління в гнучких комп'ютеризованих системах / П.В. Кузьмін, О.А. Лавров, К.Б. Остапченко, З.А. Банашак, Л.С.Ямпольський // Адаптивні системи автоматичного управління.- 1998.-Вип. 1 (21).- С. 47-63.
17. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы., - М.: Наука.- 1978. - 400 с.
18. Птічнікова А.С., Лісовиченко О.І., Ямпольський Л. С. Дослідження нештатних ситуацій у гнучких комп'ютеризованих виробничих системах з агрегатними станами // Житомир: ЖІТУ.- 2003.- 3(27).- С.173-183.
19. Реалізація концепції розподіленого керування з самосинхронізацією потоків транспортних засобів ГВС / З.А. Банашак, О.І. Лісовиченко, Г.М. Ткач, Л.С. Ямпольський // Адаптивні системи автоматичного управління.- 2001.- Вип. 4'(24).- С.88-108.
20. Семантическое согласование описания процессов гибких производственных систем при композиционном моделировании / Леонид Ямпольский, Александр Лавров, Денис Дубина, Олег Лисовиченко, Вадим Швачко // ТЕХНИКА І TECHNOLOGIA MONTAŹU MASZYN

- IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna 22-25.05.2001 r. Pieszów – Bystre Specjalny Dodatek do Kwartalnika Naukowo-Technicznego TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAŻU.- 2(32).- 2001.- pp. 61-65.
21. Создание комплексно-интегрированных сред для идентификации и верификации гибких компьютеризованных сборочных систем / Б.Б. Самотокин, Д.И. Герги, А.А. Лавров, К.Б. Остапченко, М.М. Ткач, Л.С. Ямпольский // TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAŻU Ogólnopolski Kwartalnik Naukowo – Techniczny.- 3(33).- lipiec-wrzesiec.- 2001.- pp. 8-11 (ISSN 1230-7661)
  22. Ткач Г.М., Лисовиченко О.И. К логистическому моделированию конфигураций материальных потоков в автоматизированных распределенных транспортных сетях//автоматизация: проблемы, идеи, решения: Материалы междунар. науч.-техн. конф., г. Севастополь.- 20-24 мая 2002г.- Севастополь: Изд-во СевГТУ.- 2002.- С. 110-112.
  23. Управление дискретными процессами в ГПС / Л.С. Ямпольский, З. Банашак, К. Хасегава, Б. Круг, К. Такахашаи, А.В. Борусан. – К.: Техника; Вроцлав: Изд-во Вроцлав. политехн. ин-та; Токио: Токосё.- 1992. – 251 с.
  24. Функціонально-еквівалентні перетворення структурних моделей гнучких виробничих систем // Системні технології. Системне моделювання технологічних процесів.- 1999.- Вип. 6.- С. 84-90.
  25. Швачко В.В., Поліщук М.М., Ямпольський Л.С. Програмні засоби подання та візуалізації зображень для технічних установок обробки матеріалів // Вісник ЖІТІ.- 1999.-Вип. 9.- С. 47-51.
  26. Швачко В.В., Поліщук М.М., Ямпольський Л.С. Розробка програмного забезпечення для визначення та візуалізації положень ланок маніпулятора // Адаптивні системи автоматичного управління.- 1999.- Вип. 2 (22).- С. 74-81.
  27. Шостак В.Ф. Модели и методы управления сложными технологическими комплексами в нештатных (экстремальных) режимах работы в АСУТП // Автоматика и телемеханика.- 1994.- 10.- С.158-164.
  28. Ямпольский Л. С., Калин О. М., Ткач М. М. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства.— К. : Вища шк.- 1987.—270 с.
  29. Ямпольский Л. С., Лавров О.А. Штучний інтелект в плануванні та управлінні виробництвом.-К.:Вища школа.- 1995.-255с.
  30. Ямпольский Л.С., Полищук М.Н. Концептуальная иерархическая модель гибкой сборочной системы с агрегатными состояниями //TECHNIKA I TECHNOLOGIA MONTAŻU MASZYN IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna 22-25.05.2001 r. Pieszów – Bystre Specjalny Dodatek do Kwartalnika Naukowo-Technicznego TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAŻU.- 2(32).- 2001.- pp. 39-44.

31. Ямпольський Л.С., Поліщук М.М., Ткач М.М. Елементи робототехнічних пристроїв і модулі ГВС. - К.: Вища шк.- 1992. - 431 с.
32. Krogh B.H., Screenivas R.S. Essentially Decission Free Petri Nets for Reak-Time Resource Allocation // The Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEE Computer Society Press.- Washington: DC.- 1987.- pp.1005-1010.
33. Lavrov A., jampolskiy L. Configuration Synthesis and Refinement: an approach to Simulation of Heterogeneous distributed Systems // УСИМ.- 2000.- 3.- pp. 11-17.
34. Lemmer K., Schnieder E. Modeling and Control of Complex Logistic Systems for Manufacturing // Application and Theory of Petri Nets. K.Jensen (ED).- Berlin: Springer-Verlag.- 1992.- pp.373-378.
35. Yampolsky L.S., Lavrov A.A., Semenchenko VL. and Kusmin P.V. Intelligent Dynamic Models of Computer-Integrated Manufacturing Systems // The Proceedings of the 1993 European Simulation Sumposium / Delft.- 1993.- pp.161-163.