

Б. Г. Мещеряков, В. П. Зинченко. – СПб.: прайм – Еврознак, 2005. – 672 с. 3. Полунін О. В. Переживання часу: психологічне дослідження на прикладі хвилинного інтервалу: автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. психол. наук: спец. 19.00.01 “Загальна психологія, історія психології” / О. В. Полунін – Київ, 1996. – 22 с. 4. Автоматизовані людино-машинні системи управління інтегрованими ієрархічними організаційними та виробничими структурами в умовах ризику і конфліктів: Монографія / Б. В. Дурняк, Л. С. Сікора, М. С. Антоник, Р. Л. Ткачук. – Львів: Українська академія друкарства, 2013. – 514 с. 5. Когнітивні моделі формування стратегій оперативного управління інтегрованими ієрархічними структурами в умовах ризиків і конфліктів: Монографія / Б. В. Дурняк, Л. С. Сікора, М. С. Антоник, Р. Л. Ткачук. – Львів: Українська академія друкарства, 2013. – 449 с. 6. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии / С. Л. Рубинштейн – СПб.: Питер, 2005. – 713 с. 7. Фресс Поль, Пиаже Жан. Экспериментальная психология: Выпуск IV. – М.: Прогресс, 1978. – 301 с. 8. Цуканов Б. И. Время в психике человека: Монография / Б. И. Цуканов. – Одесса: Астро Принт, 2000. – 219 с.

УДК 004.896

І.Г. Цмоць<sup>1</sup>, В.М. Теслиук<sup>2</sup>, І.Є.Ваврук<sup>2</sup>  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
<sup>1</sup>кафедра автоматизованих систем управління,  
<sup>2</sup>кафедра систем автоматизованого проектування

## АРХІТЕКТУРА ТА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ МОБІЛЬНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

© Цмоць І.Г., Теслиук В.М., Ваврук І.Є., 2014

**Сформульовано вимоги, вибрано принципи реалізації та розроблено архітектуру мобільної робототехнічної системи. Розроблено спрощену модель управління рухом робототехнічної системи, яка забезпечує врахування параметрів зовнішнього середовища та мобільної робототехнічної системи при здійсненні управління.**

**Ключові слова:** мобільна робототехнічна система, модель управління рухом, система технічного зору, ультразвукові давачі віддалі.

**Requirements of mobile robotic system are formulated. Principles for mobile robotic system implementation are selected. The architecture of the mobile robotic system is developed. A simplified model of robotic motion control system based on taking into account the parameters of the environment and parameters of mobile robotic systems is designed.**

**Key words:** mobile robotic system, model of motion control system, vision systems, ultrasonic distance sensors.

### Вступ. Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку мобільних робототехнічних систем (МРС) характеризується розв'язанням широкого кола задач: дистанційного дослідження небезпечних об'єктів, важкодоступних територій, ліквідації аварій, охорони територій, проведення розмінування, пошуку, розпізнавання та транспортування предметів тощо[1].

У випадку наявності повної інформації щодо зовнішнього середовища МРС може функціонувати за жорстко заданим алгоритмом. Недоліком такого підходу є неможливість адаптації МРС до зміни зовнішнього середовища. Часто виникає необхідність забезпечити пересування МРС при частковій або повній відсутності інформації про зовнішнє середовище. В такому випадку забезпечується прийняття рішень МРС самостійно на основі даних від давачів та системи технічного зору або на основі команд оператора.

Тому актуальною проблемою є розроблення архітектури МРС, яка орієнтована на автономне управління рухом з використанням давачів та систем технічного зору.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що існуючі архітектури МРС можна поділити на два типи: ієрархічну дворівневу та однорівневу автономну [2–7]. Дворівнева архітектура оснований на використанні управляючого комп'ютера для опрацювання даних від давачів, систем технічного зору та на основі їх опрацювання забезпечується генерування команд управління. Однорівнева автономна архітектура МРС функціонує без використання управляючого комп'ютера на основі лише даних з давачів та системи технічного зору. Ієрархічна дворівнева МРС має такі основні недоліки:

- необхідність підтримання постійного каналу зв'язку;
- обмеження радіуса управління рухом МРС (лише в радіусі дії каналу зв'язку);
- неможливість самостійного прийняття рішень МРС;
- затримки передавання інформації та необхідність збільшення продуктивності обчислювальних засобів для забезпечення роботи в реальному часі;

• помилкові дії при втомленості оператора.

Однорівнева МРС з автономним управлінням має такі основні недоліки:

- складність позиціонування при використанні одометричних систем, які характеризуються накопиченням похибок під час руху МРС і при прокручуванні або проковзуванні коліс;
- складність позиціонування при використанні супутникової радіонавігаційної системи GPS, що характеризується змінюваною точністю визначення місцезнаходження МРС, а також складністю визначення місцезнаходження МРС не на відкритій місцевості (наприклад, у приміщенні);
- використання великої кількості давачів як ближньої, так і дальньої дії;
- складність алгоритмів прийняття рішень в умовах суперечності вхідних даних.

Тому для ефективного управління рухом МРС актуальною задачею є органічне об'єднання двох типів МРС з використанням переваг кожного.

### **Формулювання цілі статті**

Завданням дослідження є розроблення архітектури МРС, яка ґрунтується на об'єднанні двох типів архітектур, а також моделі управління рухом такої МРС.

*Мета дослідження* полягає в формулюванні вимог, виборі підходів і принципів побудови, розробленні архітектури та моделі управління рухом МРС, яка враховує основні кінематичні і динамічні характеристики системи.

### **Виклад основного матеріалу**

**Формулювання вимог та вибір принципів реалізації МРС.** Залежно від галузі застосування МРС до них висувуються різні вимоги. Наприклад, для військових застосувань основними вимогами є надійність та простота управління, а також наявність засобів для виконання специфічних операцій; для застосувань в екстремальних ситуаціях основною є стійкість до несприятливих зовнішніх впливів; для промислових і побутових застосувань базовими вимогами є простота в управлінні та невисока вартість тощо [8–10]. Для МРС, що орієнтовані на дистанційне дослідження об'єктів, основними вимогами є:

- мінімізація габаритів та маси;
- забезпечення високої мобільності;
- зменшення енергоспоживання та збільшення часу автономного пересування МРС;
- забезпечення високої надійності;
- забезпечення управління рухом у реальному часі.

Основними компонентами МРС для дистанційного дослідження об'єктів є: система технічного зору, давачі, платформа з виконавчими механізмами, модуль управління, модуль опрацювання даних та управляючий комп'ютер. Для реалізації систем управління та опрацювання

даних доцільно використовувати сучасну елементну базу: мікроконтролери, мікропроцесори, процесори цифрової обробки сигналів, ПЛІС тощо.

Основними вимогами до системи технічного зору є забезпечення високої працездатності при погіршенні або зміні зовнішніх умов і кругового обзору для одержання повнішої інформації про об'єкти зовнішнього середовища за допомогою поворотного механізму. До давачів МРС висуваються такі вимоги: невелика вага та габарити, простота встановлення і обслуговування, підвищена надійність і завадостійкість, невисока вартість та забезпечення повної інформації про зовнішнє середовище. До платформи та виконавчих механізмів висуваються такі вимоги: оптимальне розміщення всіх необхідних апаратних компонентів МРС; висока швидкодія та маневреність МРС на відкритій місцевості, а також у закритих обмежених приміщеннях; пересування МРС як на гладких, так і на ґрунтових поверхнях. Основними вимогами, які висуваються до елементної бази обчислювальних засобів, є: невисоке енергоспоживання та тепловиділення, висока швидкодія, використання сучасних інтерфейсів передавання даних та можливість під'єднання різноманітних пристроїв. У системі опрацювання даних особливо важливим, крім вищезазначених вимог, є забезпечення високої продуктивності та наявність великого обсягу пам'яті для зберігання проміжних результатів при опрацюванні даних. Управляючий комп'ютер повинен опрацьовувати інтенсивні потоки даних за складними алгоритмами в реальному часі.

Загалом МРС для дистанційного дослідження об'єктів повинна забезпечувати [11-13]: автономне функціонування в детермінованих та недетермінованих, статичних або динамічно змінних умовах; досягнення поставлених цілей шляхом прийняття рішень на основі неповних або зашумлених даних; адаптацію до змін зовнішнього середовища; паралельне виконання декількох задач; високу точність переміщення; можливість під'єднання нових компонентів тощо. Для управління рухом та прийняття ефективних рішень у МРС доцільно використовувати інтелектуальні методи та технології штучного інтелекту.

Для забезпечення вищезазначених вимог реалізовувати МРС доцільно и на основі таких принципів [10,14]:

- модульності, що передбачає реалізацію компонентів МРС у вигляді функціонально завершених блоків;
- ієрархічності, що передбачає побудову системи управління МРС шляхом її розбиття на певні рівні;
- відкритості, який враховує можливість поповнення і оновлення апаратних або програмних засобів чи функцій без порушення її функціонування;
- системності, що передбачає утворення зв'язків між компонентами МРС для забезпечення цілісності і взаємодії з іншими системами;
- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра МРС та змінних програмно-апаратних модулів, за допомогою яких здійснюється адаптація до вимог конкретного застосування;
- сумісності, що передбачає взаємодію з іншими системами шляхом використання стандартизованих інформаційно-технологічних інтерфейсів;
- абстрагування, що передбачає можливість використання розробленого методу управління для різних апаратних платформ;
- узгодженості інтенсивності надходження даних від давачів та системи технічного зору з обчислювальною здатністю систем опрацювання даних та управління рухом;
- використання при розробці МРС комплексу базових проектних рішень.

**Розроблення архітектури мобільної робототехнічної системи.** Розробляти та оптимізувати архітектуру МРС пропонується на основі інтегрованого підходу, який охоплює:

- сучасні компоненти МРС, елементну базу для побудови апаратних комп'ютерних засобів;
- технології штучного інтелекту, сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, методи та алгоритми оцінювання даних із давачів в умовах завад і неповної інформації;

- методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРС.

Для забезпечення широкого спектра застосування архітектура МРС повинна мати змінний склад обладнання, що передбачає наявність ядра системи та змінних апаратно-програмних модулів. Ядро системи становить управляючий комп'ютер, модулі опрацювання даних та управління, систему технічного зору, давачі та виконавчі механізми. Використання змінних вбудованих і зовнішніх модулів забезпечує адаптацію МРС до виконання різноманітних задач. Базову архітектуру МРС наведено на рис.1.

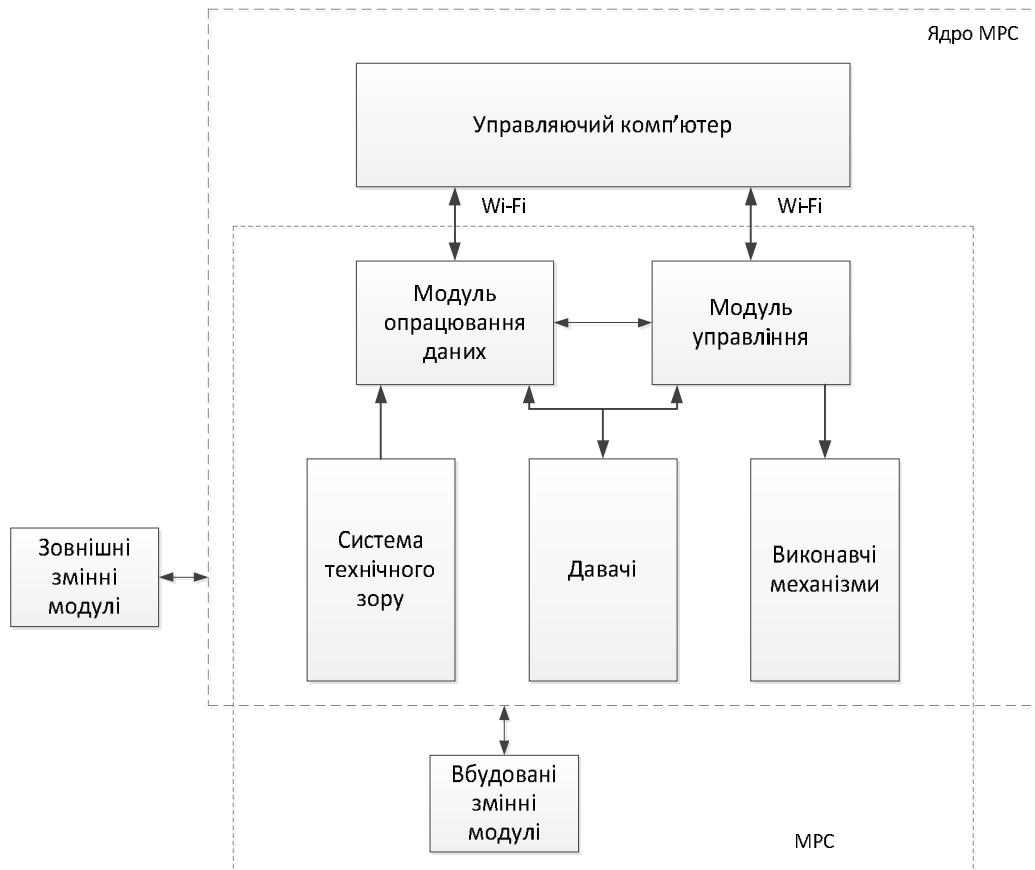


Рис. 1. Базова архітектура мобільної робототехнічної системи

Основними компонентами архітектури МРС є: управляючий комп'ютер, модулі опрацювання даних та управління, система технічного зору, давачі та виконавчі механізми.

Для взаємодії МРС з зовнішнім середовищем використовуються давачі та система технічного зору. Система технічного зору переважно забезпечує розпізнавання об'єктів, визначення перешкод, аналіз структури зовнішнього середовища (визначення можливості руху через задану ділянку шляху), визначення відстані чи кута поворота на об'єкт, побудови карти місцевості, відслідковування руху певного об'єкта тощо [15]. Існує велика різноманітність систем технічного зору, але найчастіше до таких систем входять відеокамери або стереокамери. Стереокамери забезпечують одержання більшої кількості інформації про досліджувані об'єкти, але при їх використанні виникає складність алгоритмів опрацювання даних. Тому доцільно використовувати в складі системи технічного зору відеокамеру з поворотним механізмом для одержання повної інформації про зовнішнє середовище, яка водночас забезпечує зменшення складності алгоритмів опрацювання даних порівняно з використанням стереокамер. Запропоновано використовувати відеокамеру Logitech C910 для реалізації системи технічного зору. Особливістю цієї відеокамери є наявність автофокуса, а також можливість робити фотографії з роздільною здатністю 2304x1728 пікселів та здійснювати запис відео з FullHD якістю 1920 x 1080 пікселів (1080p).

Типи та кількість датчиків переважно залежать від поставлених цілей МРС. Наявність декількох датчиків забезпечує надлишкову інформацію, що забезпечує характеристику зовнішнього середовища з різних сторін для ефективного управління. В МРС можуть використовуватись зовнішні датчики, що визначають параметри зовнішнього середовища, а також внутрішні датчики, що визначають параметри самої МРС.

До внутрішніх датчиків належать: енкодери, акселерометри, гіроскопи, магнітні компаси, GPS тощо. Такі датчики використовуються для позиціонування МРС. При управлінні рухом МРС однією з основних задач є задача визначення відстані до перешкод для їх об'їзду. Тому ефективним рішенням є використання датчиків віддалі при розробці МРС. Серед датчиків віддалі можливе використання ультразвукових, інфрачервоних та лазерних. Інфрачервоні датчики виділяють об'єкти в меншій області порівняно з ультразвуковими, але є точнішими. Недоліком лазерних датчиків є їх висока вартість. Ультразвукові датчики забезпечують вимірювання відстані в межах кількох метрів, але при цьому виникає залежність від властивостей поверхні та кута падіння на об'єкт. Використання ультразвукових датчиків HC-SR04 забезпечує виконання основних вимог, що висуваються до датчиків МРС. Їх розміщують так, щоб оцінювати віддалі до перешкод спереду, справа і зліва від МРС. Відстань до об'єктів вимірюють в діапазоні 2–400 см з ефективним кутом вимірювання 15 градусів. Принцип роботи полягає у випромінненні короткого ультразвукового імпульсу та прийманні відбитого імпульсу, що відбивається від об'єктів-перешкод. Рекомендованим періодом між посиланням імпульсів є 50 мс. Управління ультразвуковими датчиками віддалі здійснюється через виводи Echo та Trig. Робота з датчиком починається з подання на вхід Trig імпульса завдовжки 10 мкс та випроміннення ультразвукового сигналу. На виході Echo отримується відбитий від об'єкта сигнал, за яким можна обчислити відстань до об'єкта. Напруга живлення 5В. Залежно від поставленої задачі існує необхідність під'єднання додаткових датчиків, що визначають параметри зовнішнього середовища, наприклад, температури, наявності диму чи тиску.

Платформа використовується для оптимального розміщення всіх апаратних компонентів МРС, а виконавчі механізми використовуються для забезпечення руху МРС. Залежно від призначення та задач МРС вона може бути оснащена різноманітними рушіями: колісними, гусеничними, колісно-гусеничними, напівгусеничними, крокуючими, колісно-крокуючими, роторними, з гвинтовим, водометним і реактивним рушіями тощо. При цьому найчастіше використовуються колісні або гусеничні рушії. Платформи з гусеничними рушіями не повністю задовольняють поставлені вимоги, оскільки при їх використанні виникає складність руху на гладкій поверхні без руйнування її покриття. Крім того, на гладкій поверхні швидкодія платформи з колісними рушіями є значно вищою за платформу з гусеничними. Платформи з колісними рушіями з кермовим управлінням не є ефективними в обмеженому середовищі, оскільки вони не можуть здійснити поворот на місці. Тому ефективним рішенням є використання платформи МРС з колісними рушіями з танковим управлінням та приводами на всі колеса, оскільки при цьому забезпечується виконання основних вимог до платформи та виконавчих механізмів. Зокрема, можливість здійснення повороту на місці внаслідок обертання коліс з різних сторін МРС з різними швидкостями, а також рух на ґрунтових поверхнях внаслідок усунення пробуксовування.

У сучасних МРС управління рухом здійснюється з використанням мікроконтролерних систем. При розробці МРС для дистанційного дослідження об'єктів для управління рухом доцільно використовувати мікроконтролерну систему на базі мікроконтролера Arduino. До основних переваг даної мікроконтролерної системи (платформи Arduino) належать невисока вартість, крос-платформеність, наявність плат розширення, зокрема для управління різноманітними пристроями тощо. Існує декілька версій платформи Arduino. Всі вони побудовані з використанням простої друкованої плати з вбудованим мікроконтролером Atmel AVR (ATmega328, ATmega168 або ATmega8). Найпопулярнішою платформою є Arduino Uno, що містить 14 цифрових входів/виходів та 6 аналогових. Вона може функціонувати при живленні від 6 до 20 В. Для передачі даних існує велика кількість інтерфейсів: I2C, SPI або послідовний інтерфейс UART TTL, що здійснюється виводами 0 (RX) і 1 (TX). Для управління двигунами запропоновано використовувати плату розширення Arduino motor drive shield L298N. За її допомогою можна одночасно задавати різну швидкість і напрямок руху для двигунів.

У MPC для опрацювання даних від датчиків та системи технічного зору доцільно використовувати мікропроцесорну систему (плату Pandaboard). Особливістю цієї мікропроцесорної системи є: 1Гб пам'яті DDR RAM та можливість використання карт SD; наявність системи на кристалі Texas Instruments OMAP4430, що складається з двоядерного процесора ARM Cortex-A9 MPCore, графічного процесора PowerVRSGX540 та мультимедійного прискорювача IVA3 з програмованим процесором цифрової обробки сигналів та забезпечує ефективне опрацювання відеоданих.

Обмін даними між компонентами MPC (зокрема при посиланні та одержанні команд від управляючого комп'ютера) запропоновано здійснювати з використанням безпроводних технологій, зокрема Wi-Fi (IEEE 802.11) або Bluetooth. Порівняння запропонованих технологій за швидкістю передавання даних забезпечує використання технології Wi-Fi, швидкість передавання даних з використанням якої є значно вищою.

***Розроблення моделі управління рухом колісної мобільної робототехнічної системи.***

Коректно управляти MPC можна у випадку наявної інформації про параметри самої MPC та параметри зовнішнього середовища. В багатьох випадках налаштувати MPC за наявності відомих параметрів можна перед початком роботи MPC. Тим не менше, у випадку руху MPC у небезпечних або віддалених середовищах (дослідження інших планет або глибин океану) при відсутності інформації щодо параметрів зовнішнього середовища налаштувати параметри руху має під час руху сама MPC автоматично.

Основною метою моделювання руху MPC є отримання найкращого технічного рішення серед можливих альтернатив, що забезпечує високі показники ефективності та якості. Переважно під час моделювання руху MPC з використанням інтелектуальних засобів у невизначеному середовищі недостатньо враховуються кінематичні та динамічні властивості MPC та властивості зовнішнього середовища. Тому основною задачею при здійсненні моделювання управління рухом є врахування основних параметрів, що впливають на рух MPC. До таких параметрів зокрема належать параметри самої MPC та параметри дорожнього покриття (зовнішнього середовища).

Розглянемо MPC з чотирма неповоротними колесами. До осей коліс жорстко прикріплено корпус, що є абсолютно твердим тілом. Врахуємо такі основні припущення під час розроблення системи управління рухом MPC: відсутня деформація коліс при русі MPC та не враховується опір повітря під час руху MPC. Положення MPC у кожен момент часу характеризується координатами  $(x, y, q)$ , де  $x, y$  – координати положення центру MPC у системи координат;  $q$  – кут повороту MPC відносно осі OX. На рис. 2 зображено схему моделі MPC.

У загальному випадку MPC у загальній системі координат  $(x, y, q)$  характеризується власними координатами  $(X_m, Y_m, q)$ . Для перетворення з загальної системи координат до системи координат MPC використовується матриця переходу:

$$g(q) = \begin{bmatrix} \cos q & \sin q & 0 \\ -\sin q & \cos q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

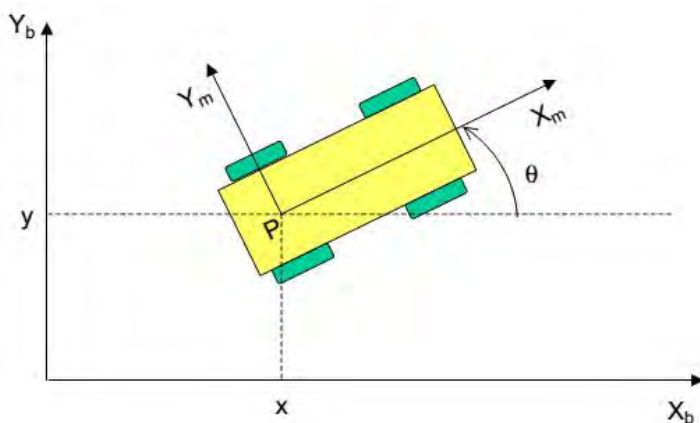


Рис.2. Схема моделі MPC з неповоротними фіксованими колесами

Нехай початковий стан MPC задано набором значень  $(x_0, y_0, q_0)$ , а кінцевий стан визначається набором значень  $(x_k, y_k, q_k)$ , де координати  $x_k, y_k$  відповідають координатам цільової точки руху MPC. Для управління виконавчими механізмами MPC можуть використовуватись різні сигнали управління. Залежно від типу виконавчих механізмів для колісної MPC такими сигналами можуть бути, наприклад, кут повороту коліс або значення швидкостей обертання коліс MPC. Для обраної платформи MPC з колісними рушіями, танковим управлінням та приводами на всі колеса такими сигналами є значення швидкостей обертання коліс MPC з лівого та правого боків  $(Vl, Vr)$ . Тому при розробці моделі управління MPC основна задача полягає у знаходженні значень швидкостей  $(Vl(t_i), Vr(t_i))$  у кожен момент часу  $t_i$  під час руху MPC з початкової точки в кінцеву.

Спрощену математичну модель руху MPC в кожен момент часу можна подати так:

$$x(t) = \int_0^t V(t) \cos(\theta(t)) dt, \quad (2)$$

$$y(t) = \int_0^t V(t) \sin(\theta(t)) dt, \quad (3)$$

$$\theta(t) = \int_0^t w(t) dt, \quad (4)$$

де  $V(t)$  – середня лінійна швидкість MPC,  $w(t)$  – середня кутова швидкість MPC. Середню лінійну та кутову швидкості MPC обчислюють за формулами:

$$V(t) = \frac{Vr(t) + Vl(t)}{2}; \quad (5)$$

$$w(t) = \frac{Vr(t) - Vl(t)}{B}, \quad (6)$$

де  $B$  – колія коліс MPC (поперечна відстань між лівим і правим колесом).

Здійснено спрощений математичний опис моделі управління рухом MPC, що полягає у визначенні необхідних значень швидкостей коліс MPC для усунення можливості заносу. Тобто під час руху MPC на поворотах необхідно врахувати обмеження швидкостей коліс для усунення можливості заносу MPC, коли її колеса одночасно з коченням вперед здійснюють ковзання вбік. Врахування цього аспекту підвищить точність руху MPC заданою траєкторією.

На рис. 3 зображено поперечний переріз двоосьової MPC з поданням сил, що діють на MPC, де 1 – праве колесо MPC; 2 – ліве колесо MPC; 3 – корпус MPC; 4 – дорожнє покриття;  $F_T$  – сила тяжіння;  $F_G$  – відцентрова сила;  $F_G$  – сила бокового опору повітря;  $N_1^f, N_2^f$  – сили реакції опори, що діють на передні колеса з правого та лівого боків;  $F_{\text{ткзовл}}^f, F_{\text{ткзовп}}^f$  – сили тертя ковзання передніх коліс з правого та лівого боків.

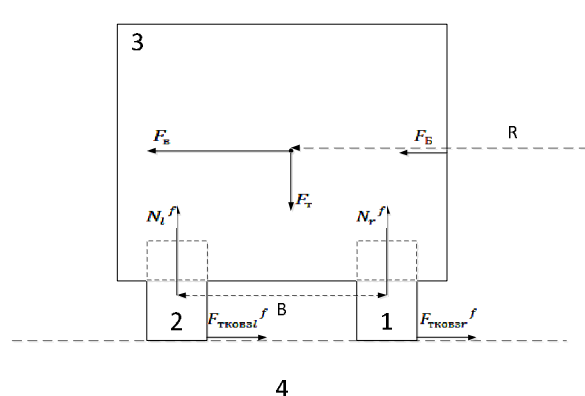


Рис. 3. Поперечний переріз двоосьової MPC

Тоді рух МРС визначається системою рівнянь [16]:

$$F_{\sigma} + F_{\bar{\sigma}} = F_{\text{ткoвзл}}^f + F_{\text{ткoвзr}}^f + F_{\text{ткoвзr}}^b + F_{\text{ткoвзл}}^b, \quad (7)$$

$$F_m = N_l^f + N_r^f + N_l^b + N_r^b, \quad (8)$$

де  $F_{\text{ткoвзr}}^b$ ,  $F_{\text{ткoвзл}}^b$  – сили тертя ковзання задніх коліс з правого та лівого боків;  $N_l^b$ ,  $N_r^b$  – сили реакції опори, що діють на задні колеса з правого та лівого боків. Сила тяжіння, відцентрова сила та сила тертя ковзання визначаються за формулами:

$$F_m = mg, \quad (9)$$

$$F_{\sigma} = m \frac{V^2}{R}, \quad (10)$$

$$F_{\text{ткoвзл}}^f = K * N_l^f, \quad (11)$$

$$F_{\text{ткoвзr}}^f = K * N_r^f, \quad (12)$$

$$F_{\text{ткoвзл}}^b = K * N_l^b, \quad (13)$$

$$F_{\text{ткoвзr}}^b = K * N_r^b, \quad (14)$$

де  $m$  – маса МРС;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $R$  – радіус повороту МРС;  $K$  – коефіцієнт тертя ковзання, який характеризує стан коліс МРС та дорожнього покриття, що дотикаються між собою.

Занос під час руху МРС виникає у випадку:

$$F_{\sigma} + F_{\bar{\sigma}} \geq F_{\text{ткoвзл}}^f + F_{\text{ткoвзr}}^f + F_{\text{ткoвзr}}^b + F_{\text{ткoвзл}}^b, \quad (15)$$

Враховуючи основні припущення, що були прийняті при розробці системи управління МРС щодо не врахування опору повітря і здійснивши відповідні спрощення отримаємо:

$$m * \frac{V^2}{R} \geq K(N_l^f + N_r^f + N_l^b + N_r^b), \quad (16)$$

$$m * g = N_l^f + N_r^f + N_l^b + N_r^b, \quad (17)$$

$$m * \frac{V^2}{R} \geq K * m * g. \quad (18)$$

Отже, критична середня швидкість заносу визначається як:

$$V_{\text{кр}} = \sqrt{K * g * R}, \quad (19)$$

оскільки радіус повороту визначається за формулою:

$$R = \frac{B}{2} * \frac{Vr + Vl}{Vr - Vl}. \quad (20)$$

Тоді отримаємо, що для запобігання заносу МРС швидкості правих та лівих коліс повинні відповідати нерівності:

$$Vr^2 - Vl^2 \leq 2 * K * g * B. \quad (21)$$

Розроблена модель управління рухом забезпечує врахування параметра зовнішнього середовища – коефіцієнта тертя ковзання, а також параметра самої МРС – колії коліс, при визначенні значень швидкостей коліс МРС для запобігання заносу. На основі запропонованої моделі управління рухом розроблено імітаційну модель, яка враховує кінематичні та динамічні характеристики системи (21) та підвищує точність руху МРС шляхом вибору оптимальних параметрів.



## Висновки

1. Сформульовано вимоги до MPC та її окремих компонентів, основними з яких є: мінімізація габаритів та маси; забезпечення високої мобільності; зменшення енергоспоживання та збільшення часу автономного пересування MPC; забезпечення високої надійності та забезпечення управління рухом в реальному часі.

2. В основу побудови MPC для дистанційного дослідження об'єктів пропонується покласти такі принципи: ієрархічності побудови системи управління, системності, змінного складу обладнання, модульності, відкритості, сумісності, узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю апаратних засобів і використання комплексу базових проектних рішень.

3. Архітектура MPC для дистанційного дослідження об'єктів має змінний склад, який складається із ядра та змінних апаратно-програмних модулів, які забезпечують адаптацію системи до вимог конкретних застосувань.

4. Розроблено модель управління рухом для запобігання заносу MPC та підвищення точності управління, яка ґрунтується на врахуванні основних параметрів MPC та параметрів зовнішнього середовища.

1. Медзатий Д.М., Іванчишин Д.О. Розробка статичної моделі системи керування мобільним роботом на базі методу *comet* // Вісник Хмельницького національного університету №1 '2013 – С.108-113. 2. S. Kahar, R. Sulaiman, A. S. Prabuwo, N. A. Ahmad, M. A. Abu Hassan A Review of Wireless Technology Usage for Mobile Robot Controller// 2012 International Conference on System Engineering and Modeling (ICSEM 2012) IPCSIT vol. 34 (2012) p.7-12. 3. Shoval S., Borenstein J., 1999, "Measurement of Angular Position of a Mobile Robot Using Ultrasonic Sensors." ANS Conference on Robotics and Remote Systems, Pittsburgh, PA, April p.1-6 4. Бабіч К.С., Бабіч Л.О. Концепція автономного інтелектуального мобільного робота // Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – Вип. 147. – С. 141–146. 5. Голембо В. А., Гребеняк А. В. Навігація в колективі автономних апаратів // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 688. – С. 77–82. 6. Корольов В.М., Лучук Е.В., Заєць Я.Г., Корольова О.В., Мірошніченко Ю.В. Аналіз світових тенденцій розвитку систем навігації для Сухопутних військ// Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – 2011. – Вип. 1(4). – С. 19–29 7. Квасніков В.П., Немченко В.В. Побудова системи керування автономним мобільним роботом на основі багаторівневої системи перетворення інформації //Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – Т. № 10. – С. 209–212. 8. Теслюк В.М., Ваврук І.С., Цмоць І.Г., Ткаченко Р.О, Структура та реалізація управління колісною мобільною робототехнічною системою // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2013. – Херсон: ХНТУ, 2013. – С. 298–300. 9. Бондаренко С.Н. Анализ требований к мобильным робототехническим комплексам, используемым в условиях чрезвычайных ситуаций // Проблемы надзвичайних ситуацій: Збірка наукових праць. – 2008. – Вип. 8. – С. 51–57. 10. Цмоць І.Г., Шулак Б.Я., Шкодин А.В., Антонів В.Я. Архітектура інтелектуальної робототехнічної системи для дистанційного дослідження об'єктів // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць.– РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.11. – С. 319–325. 11. Миронов С.В., Юдин А.В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов //Международный журнал программные продукты и системы №1 – 2011 р. 12. Dragoicea, M., Dumitrache, I., Ciculescu, D.S., 2003, Multi-behavioral model based autonomous navigation of the mobile robots, International Journal Automation Austria, Vol. 11, Nr.1, pp:1-20, ISSN 1562-2703. 13. Цмоць І.Г., Ваврук І.С., Теслюк В.М. Моделювання інтелектуального управління рухом мобільної робототехнічної системи // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.15. – С. 290–300. 14. Vavruk Iryna, Tsmots Ivan, Teslyuk Vasyl The selection of construction

*principles and intelligent technologies for mobile robotic systems implementation//Proceedings of IXth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design.(MEMSTECH'2013) – Lviv: Publisher Lviv Polytechnic, 2012. – P. 179. 15. О. В. Збруцький, Д. С. Мішкін Огляд сучасних систем та алгоритмів технічного зору, що використовуються на безпілотних літальних апаратах та наземних мобільних роботах//Науково-технічний збірник. “Механіка гіроскопічних систем. Гіроскопи та навігаційні системи”. Вип. 23. 16. Чистяков М.Г. Задача оптимізації системи автоматического управління: определение предельных режимов движения мобильного робота// Молодежный научно-технический вестник. – 2012. – № 10.*

**УДК 004.94**

**Т. Шестакевич**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних систем та мереж

## **ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ СУПРОВІД ОСВІТНІХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОСІБ З ОСОБЛИВИМИ ПОТРЕБАМИ**

© Шестакевич Т., 2014

**Розглянуто специфіку освітнього процесу для осіб з особливими потребами. Проаналізовано рівень забезпеченості інформаційно-технологічною підтримкою етапів освітнього процесу цієї категорії осіб. Запропоновано модель інформаційно-технологічного супроводу освітнього процесу для осіб з особливими потребами.**

**Ключові слова – інформаційно-технологічний супровід, освітній процес для осіб з особливими потребами, особливі освітні потреби, інклюзивна освіта, індивідуальний навчальний план.**

**The article deals with the specifics of the educational process for individuals with special needs. The IT support level of phases of the educational process for this category of persons was analyzed. The specificity of inclusive learning was considered. A model of IT support of the educational process for individuals with special needs was proposed.**

**Key words: information and technological support, educational process for individuals with disabilities, special educational needs, inclusive education, individual curriculum.**

### **Вступ**

Нинішнє розуміння освіти неприпустимим вважає освітню систему, за якої учні пасивно одержують академічні знання і не вступають в активну взаємодію із суспільством. Особливо актуальною й гострою проблема соціалізації є для осіб з особливими потребами.

Особливими потребами називають індивідуальні вимоги людини, що виникають через специфіку її психічного, емоційного або фізичного стану. Необхідність удосконалення системи навчання, виховання та соціальної адаптації осіб з особливими потребами стає підґрунтям для розвитку сучасної освіти. Дослідження освітніх процесів для такої категорії осіб дасть можливість розробити інформаційні технології, зорієнтовані на освітні потреби. Нинішнє забезпечення інформаційно-технологічними засобами та ресурсами освітнього процесу цієї категорії осіб є вибірковим та нерівномірним – як в Україні, так і в інших країнах світу.

**Аналіз стану сучасних досліджень та матеріалів наукових публікацій.**

### **Постановка проблеми**

Поняття “особа за особливими потребами” є синонімічним розумінням термінів “інвалідність”, “неповносправність”, “обмежені можливості”, “недієздатність”; віднедавна його