

---

УДК 621.923.9

## ТЕОРІЯ КІНЕМАТИКИ ТА ДИНАМІЧНИХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ МОБІЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ-РОБОТІВ

**Струтинський В.Б.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м.Київ, Україна

***Анотація:** Розглянуті верстати-роботи з паралельними кінематичними структурами. Обґрунтована концепція реалізації верстатів-роботів, в яких підвищення показників жорсткості досягається використанням спеціальних пристроїв. Пристрої встановлюються на виконавчому органі верстата і фіксуються на оброблювальному об'єкті. Теорія кінематики базується на визначенні кінематичних параметрів верстатів-роботів у базовій системі координат, пов'язаній із об'єктом. При цьому визначаються змінні в часі вектори натурального триєдра (природного тригранника) траєкторій, а відповідно переміщення, швидкості та прискорення характерних точок верстата, зокрема інструменту. Кінематичні залежності розділені на дві групи: кінематику великих переміщень та кінематику мікропереміщень. На основі визначених кінематичних залежностей знайдені характеристики динамічних робочих процесів мобільних верстатів-роботів. Процеси просторового різання описані ортогональними кусково-постійними функціями Уолша з випадковими коефіцієнтами.*

***Ключові слова:** мобільні верстати-роботи, концепція реалізації, кінематика, мікропереміщення, робочі процеси, опис характеристик.*

Розроблення робототехнічних систем для виконання операцій з небезпечними об'єктами являє собою актуальну науково-технічну проблему яка має важливе значення для національної безпеки України. Тому роботи пов'язані із дослідженням мобільних верстатів-роботів є актуальними.

Проблема в загальному вигляді полягає у розробленні мобільних робототехнічних комплексів для роботи із небезпечними об'єктами.

В літературних джерелах [1, 2] наявні результати досліджень верстатів-роботів та маніпуляторів. Розроблені схемні рішення, досліджені задачі статички таких систем [3]. Окремі джерела [4, 5] присвячені дослідженню кінематичних та динамічних характеристик робототехнічних комплексів. Результатів розроблення загальної теорії кінематики та динамічних робочих процесів мобільних верстатів-роботів у інформаційних джерелах не виявлено. Тому до невіршених раніше частин загальної проблеми віднесено розроблення теорії кінематики та динамічних робочих процесів мобільних верстатів-роботів.

Метою досліджень поставлено створення основ теорії кінематики та динамічних робочих процесів мобільних верстатів-роботів. Задачами досліджень поставлено обґрунтування концепції реалізації мобільних верстатів-роботів на основі механізмів із паралельними кінематичними структурами, формулювання основ теорії кінематики з використанням опису руху за допомогою натурального трієдра траєкторії та визначення динамічних робочих процесів із врахуванням нелінійних характеристик жорсткості та змінних випадковим чином тензорів інерції основних динамічних підсистем верстатів-роботів.

Запропоновані спеціальні методи теоретичних і експериментальних досліджень які базуються на теорії тензорного поля.

Мобільні верстати-роботи побудовані на основі механізмів із паралельними кінематичними структурами. Вони мають значну кількість шарнірних з'єднань і характеризуються низькою жорсткістю стрижневої несучої системи. Відповідно силові та кінематичні характеристики таких механізмів є незадовільними. Їх використання не дає можливості розробити мобільні верстати-роботи для обробки небезпечних об'єктів у польових умовах. Тому проведені дослідження по вдосконаленню верстатів-роботів із паралельними кінематичними структурами.

В процесі досліджень обґрунтована концепція реалізації мобільних верстатів-роботів для обробки небезпечних об'єктів. Вона основана на застосуванні мобільних верстатів-роботів на основі механізмів з паралельними кінематичними структурами які мають низьку жорсткість, а підвищення показників жорсткості забезпечується використанням спеціальних пристроїв. Пристрої встановлюються на виконавчому органі верстата-робота і безпосередньо з'єднуються із оброблюваним об'єктом. Як правило, фізична прив'язка (базування) виконавчого органу верстата-робота до оброблюваного об'єкта здійснюється спеціальним маніпулятором який закріплюється на виконавчому органі і зв'язується із об'єктом. Для досягнення необхідної точності проводиться базування виконавчого органу мобільного верстата-робота безпосередньо по об'єкту обробки. Базування здійснюється по реперним точкам на оброблюваному об'єкті. Вводиться базова система координат жорстко прив'язана до об'єкта. Обробка об'єкта здійснюється програмованими траєкторіями, визначеними в базовій системі координат. При цьому задаються зміни в часі векторів натурального трієдра (природного тригранника) траєкторії, а відповідно відносного переміщення, швидкості та пришвидшення виконавчого органу верстата відносно оброблюваного об'єкта. Таким чином верстат адаптується до оброблюваного об'єкта. Компенсація впливу деформацій стрижневої несучої системи верстата здійснюється приводами введення головних векторних зв'язків. Стрижнева система верстата є змінною в часі. Для компенсації похибок, обумовлених змінами стрижневої системи застосовані різні методи контролю положення виконавчого органу верстата. Зокрема використані системи лазерного 3D сканування на основі якого проводиться корекція траєкторій руху інструменту у вигляді змін в часі векторів натурального трієдра траєкторії.

Кінематичні залежності які мають місце в рухомій системі верстата-робота розділені на дві групи: групу кінематики великих переміщень та кінематику мікропереміщень. Тому виникає необхідність реалізації механізмів просторових великих переміщень

(макропереміщень) та механізмів мікропереміщень. Запропоновані методи розрахунків пристроїв макропереміщень та мікропереміщень. Дані методи дають можливість вибрати і уточнити основні параметри мобільних верстатів – роботів. Вибираються геометричні параметри основних елементів стрижневої системи верстата, параметри механізмів мікропереміщень, а також механізми і системи вимірів кінематичних параметрів.

На основі визначених кінематичних співвідношень запропоновані методи розрахунку динамічних робочих процесів мобільних верстатів-роботів. Вони забезпечують знаходження статичних і динамічних характеристик верстатів. Особливістю розроблених методів визначення статичних характеристик є врахування нелінійних пружно-дисипативних процесів у верстатах-роботах з паралельними кінематичними структурами. Запропоновані спеціальні методики та обладнання для визначення гістерезисних характеристик пружно-дисипативної системи мобільного верстата-робота. Гістерезисні властивості верстатів описані в термінах теорії нечітких множин. Встановлені особливості динамічних режимів роботи мобільних верстатів-роботів. Вони обумовлені низькою жорсткістю стрижневої системи і проявляються поєднанням власних згинально-крутильних коливань несучої системи верстата та випадкових вібраційних переміщень інструмента спричиненими процесами просторового різання. Для визначення динамічних характеристик верстатів запропоновано враховувати зміни інерційних властивостей мобільних верстатів роботів у вигляді тензорів інерції із змінними випадковим чином в часі інваріантами тензорів інерції. Процеси просторового різання описані ортогональними кусково-постійними функціями Уолша з випадковими коефіцієнтами із відповідними законами розподілу.

Визначені характеристики динамічних робочих процесів є основою проектних розрахунків мобільних верстатів – роботів.

#### Список літератури:

1. Новіков М. Розробка верстата-гексапода з шестикоординатною системою ЧПК і результати дослідницького застосування / М. Новіков, В. Струтинський, А. Кириченко // *Машинознавство*. – Львів: ТзОВ «Кінпатрі ЛТД», 2011. – №5-6 (167-168). – с. 3-10.
2. Callegari M. Position Control of a 3-CPU Spherical Parallel Manipulator / M. Callegari, L. Carbonari, G. Palmieri, M.-C. Palpacelli, D. Tina // *Hindawi Publishing Corporation Journal of Control Science and Engineering*. -Vol. 2013, Article ID 136841. -12 pages.
3. Strutynsky V.B. Determination of development grounds and characteristics of mobile multi-coordinate robotic machines for materials machining in field conditions / V.B. Strutynsky, A.A. Hurzhi, O.V. Kolot, V.E. Polunichev // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – Дніпро, 2016. - №5 (155). - с.43-51.
4. Briot S. *Dynamics of Parallel Robots: From Rigid Bodies to Flexible Elements* / Sebastien Briot, Wisama Khalil // Springer International Publishing. - Switzerland, 2015. - 341p.
5. Zhao Y. Inverse Kinematics and rigid-body dynamics for a three rotational degrees of freedom parallel manipulator / Yongjie Zhao, Ke Qiu, Shuangxi Wang, Ziqiang Zhang // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. - 2015. - No31. -40-50 pp.