

## Аналіз основних похибок та оцінка точності функціонування промислових роботів

(Представлено: д.т.н., доц. Кирилович В.А.)

*Розглянуто основні технічні характеристики промислових роботів: номінальну вантажопідйомність, число ступенів рухливості, величину і швидкість переміщення за ступенями рухливості, робочу зону, робочий простір і зону обслуговування промислових роботів, похибку позиціонування або обробки траєкторії. Проаналізовано класифікаційний розподіл промислових роботів на групи за їх швидкодією та точністю. Встановлено, що у результаті руху будь-якої механічної системи, у тому числі й маніпуляційної системи промислового робота, завжди виникає відхилення реального вектора стану системи від запланованого. Внаслідок цього центр схвату промислового робота під час виконання будь-якої технологічної операції у кожен момент часу займає деяке положення в околі відповідної програмно визначеної координати. Розглядаючи питання визначення точності функціонування робота, необхідним є аналіз саме конструктивних особливостей та характеристик маніпуляційної системи, характеру навантаження і режиму роботи. При цьому доцільно розглядати окремі складові точності функціонування робота залежно від факторів, що зумовлюють різні похибки. Встановлено, що похибка позиціонування, або відпрацювання траєкторії може розглядатися як в цілому для робочого органу (сумарна), так і для окремих виконавчих механізмів промислового робота. Описано основні типи похибок маніпуляційних систем промислових роботів та наведено метод визначення їх оцінки.*

**Ключові слова:** промисловий робот; маніпуляційна система; точність; похибка; РТК.

**Актуальність теми.** Сучасний розвиток автоматизованого виробництва характеризується високою гнучкістю, зумовленою необхідністю забезпечувати випуск широкої номенклатури продуктів виробництва та швидке переналагодження основного й допоміжного технологічного обладнання під конкретні технічні умови замовника. Особлива увага під час планування виробничих потужностей надається створенню гнучких виробничих систем із використанням промислових роботів (ПР).

Протягом останнього десятиріччя попит на використання як окремих ПР, так і роботизованих технологічних комплексів (РТК) на світовому ринку характеризується високою стабільністю з поступовим зростанням, що засвідчується даними міжнародної федерації з робототехніки (IFR).

Інженерні та технологічні розробки засобів робототехніки переважно концентруються на промислових роботах, що мають найбільший попит і широко розвинені області їх ефективного використання у виробництві.

Структурне дослідження РТК є одним із важливих методів пошуку їх раціональних виконань. Для створення ефективних РТК необхідно здійснити ґрунтовний аналіз за такими ознаками:

- склад елементної бази (обладнання) РТК;
- особливості будови та функціонування елементів РТК;
- компоновальне розміщення обладнання;
- конструктивні та функціональні зв'язки елементів між собою та виробничим оточенням.

До основних технічних характеристик ПР варто зарахувати номінальну вантажопідйомність, число ступенів рухливості, величину і швидкість переміщення за ступенями рухливості, робочу зону, робочий простір і зону обслуговування ПР, похибку позиціонування, або обробки траєкторії.

Управління рухом ПР по окремих ступенях рухливості може бути безперервним (контурним) і дискретним (позиційним). Дискретне управління рухом здійснюють, задаючи кінцеву послідовність точок і подальше переміщення по них кроками від точки до точки. Найпростішим варіантом дискретного управління є циклове, за якого кількість точок позиціонування по кожному ступені рухливості мінімальна і найчастіше обмежена двома – початковою і кінцевою – координатами.

Параметри швидкості і точності рухів ПР взаємопов'язані і характеризують динамічні властивості роботів. Швидкодія маніпулятора визначається швидкістю його переміщення по окремих ступенях рухливості. Швидкодію роботів загального застосування можна розділити на такі три групи:

- мала – при лінійних швидкостях по окремих ступенях рухливості до 0,5 м/с;
- середня – при лінійних швидкостях понад 0,5 до 1 м/с;
- висока – при лінійних швидкостях понад 1 м/с.

Більшість сучасних роботів має середню швидкодію і лише 20 % їх загального парку – високу. Швидкодія сучасних роботів є поки недостатньою і потрібно збільшити її принаймні вдвічі. Основні труднощі тут пов'язані з відомою суперечністю між швидкістю і точністю. Точність маніпулятора характеризується результируючою похибкою позиціонування (під час дискретного руху) або відпрацюванням заданої траєкторії (за умови безперервного руху).

Точність ПР загального застосування розділяють на три групи:

- мала (лінійна похибка від 1 мм і вище);
- середня (лінійна похибка від 0,1 до 1 мм);
- висока (лінійна похибка менше за 0,1 мм).

Скорочення часу тривалості технологічних переходів, що виконують ПР, являє собою сьогодні резерв для збільшення продуктивності виробництва. Особливо це стосується допоміжних завантажувально-розвантажувальних та транспортно-складських, де підвищення швидкості фактично не лімітується вимогами з боку технологічного процесу. Одночасно із підвищенням швидкості операцій, що виконуються, необхідне також збереження або підвищення точності виконання ПР цих технологічних операцій. Тому проблема визначення складових та побудова оцінки точності функціонування ПР є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спирається автор.** Вирішення завдань, пов'язаних з управлінням переміщенням ПР під час виконання як основних, так і допоміжних операцій різного характеру, займалися вчені, серед яких: О.І. Бохонський, А.Ф. Верещагін, А.В. Войцев, М.Вукобратович, А.П. Гавриш, Д.А. Дубина, А.А. Кобринський, П.Д. Крутько, В.Я. Копп, В.А. Романов, А.Н. Тимофеев, Л.С. Ямпольский, В.А. Кирилович та багато інших науковців. Питання метрології, корисні за умови досліджень похибок переміщень об'єктів, широко висвітлені у роботах В.П. Кваснікова, Л.В. Коломійця, В.П. Короткова, П.В. Новицького, О.М. Безвесільної та інших.

**Метою статті** є дослідження похибок маніпуляційної системи ПР та побудова оцінки їх точності.

**Викладення основного матеріалу.** Проектування маніпуляційних ПР як класу технічних систем, що заміщують моторні функції людини, здебільше орієнтоване на створення універсальних конструкцій маніпуляційних систем для можливості виконання основних та допоміжних технологічних операцій у різний спосіб, зумовлений низкою вимог та обмежень з боку виробничого процесу. Як наслідок, виникає проблема керування ПР, вирішення якої залежно від складності задачі керування та адаптивних властивостей ПР може бути отримано на різних ієрархічних рівнях керування: інтелектуальному, стратегічному, тактичному і виконавчому.

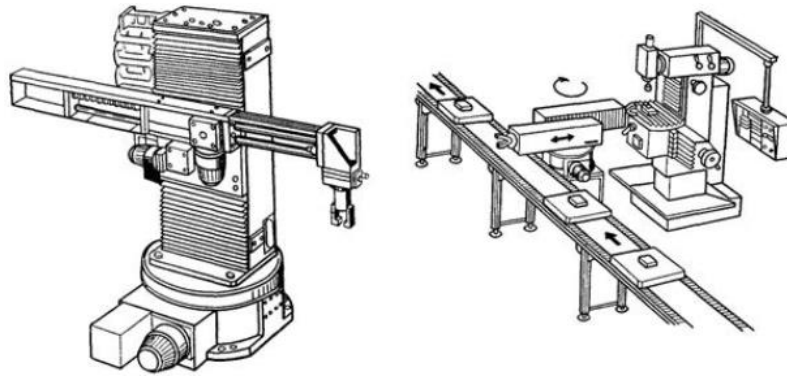
У результаті руху будь-якої механічної системи, у тому числі й маніпуляційної системи, завжди виникає відхилення реального вектора стану системи від запланованого. Внаслідок цього центр схвату ПР під час виконання будь-якої технологічної операції у кожен момент часу займає деяке положення в околі відповідної програмно визначеної координати. Розглядаючи питання визначення точності функціонування ПР, необхідним є аналіз конструктивних особливостей та характеристик МС, характеру навантаження та режиму роботи. При цьому доцільно розглядати окремі складові точності функціонування ПР залежно від факторів, що зумовлюють похибки.

Похибка позиціонування, або відпрацювання траєкторії може розглядатися як в цілому для робочого органу (сумарна), так і для окремих виконавчих механізмів ПР. У характеристиках ПР точність позиціонування вказується в абсолютних одиницях, однак для порівняльної оцінки різних роботів та визначення їх типів з точки зору ступеня їх точності такий показник неприйнятний, оскільки непов'язаний з геометричними параметрами робочої зони. Тому в основу визначення типу ПР за показником точності покладено відносну похибку позиціонування, або відпрацювання траєкторії.

Відносна похибка відпрацювання траєкторії – величина, що характеризує точність роботів з контурним управлінням і дорівнює відношенню абсолютної похибки переміщення виконавчого механізму по траєкторії в межах робочої зони до максимальної відстані від осі найближчої до основи робота кінематичної пари до межі робочої зони, вираженої у відсотках. За відносної точності позиціонування, або відпрацювання траєкторії розрізняють чотири класи точності ПР. Абсолютна похибка позиціонування (відпрацювання траєкторії) сучасних промислових роботів становить від  $\pm 4$  до  $\pm 0,02$  мм, при цьому для 70 % роботів вона знаходиться у межах  $\pm 1$  мм.

Однією з груп похибок у ПР є технологічні похибки виготовлення ланок маніпуляційної системи ПР [1, 14]. Ця група похибок є особливо суттєвою для роботів агрегатно-модульної (АМ) конструкції (рис. 1).

Внаслідок значної кількості варіантів компонувань виключення технологічних похибок через врахування реальних розмірів кінематичних пар та ланок прямими їх замірами в кінцевому компонуванні є недоцільним. Розглядаючи кожен модуль як конструктивно та функціонально закінчений елемент кінематичного ланцюга ПР, що має визначену технологічну точність, основним джерелом технологічних похибок конструкції є спосіб та характер з'єднання кожної пари модулів.



*Рис. 1. Модифікації агрегатно-модульного промислового робота, побудовані з уніфікованого набору*

Технологічні похибки, що зумовлені неточністю виготовлення та стикування окремих пар модулів, визначаються відповідними допусками на відхилення від форми та розташування, шорсткістю і хвилястістю стикувальних поверхонь і контактуючих частин елементів закріплення. Зазори в елементах стикування та закріплення формують помилку складання конструкції ПР. Через те що дія чинників технологічної групи похибок у межах кожного зчленування взаємопов'язана, доцільним є незалежний їх розгляд із подальшим визначенням найменшого впливу кожного з чинників за напрямками вектора технологічної похибки.

Визначення похибки положення за умови наявності зазору в кінематичній парі визначається через відхилення центру втулки від осі шарніра та кут перекошу вісей шарніра і втулки внаслідок дії сил закріплення й моменту, що перекошує [7]. Очевидно, що цей підхід можливо розповсюдити на стикувальні поверхні та їх елементи, що мають подібну форму. Результат дії цього джерела похибки можливо уявити у матричному вигляді та із застосуванням відомого апарату аналізу кінематики ПР (пряма задача) [5, 7], визначити геометричну похибку положення схвату маніпуляційної системи.

Врахування шорсткості та хвилястості поверхонь стикування пар модулів можливо шляхом додавання допуску до відповідної складової точності у напрямку по нормалі до площини стикування. На практиці величина кінцевого відхилення пари модулів є досить малою величиною, якою, як правило, нехтують.

Ця група похибок має випадковий характер та не залежить від конфігурації маніпуляційної системи ПР. Це дає можливість попередньо розрахувати значення відповідних похибок для кожного модуля ПР окремо. За умови малої кількості первинних похибок, що визначають відхилення, результат дії кожної із них можливо розглядати окремо, а сумарний ефект визначати за принципом суперпозиції. Сумарна дія технологічних похибок на вихідну точність маніпуляційної системи визначається відповідно до лінійної теорії [9, 10].

Іншою групою похибок є похибки управління, що зумовлені неточністю відпрацювання привідної системи ПР та похибками системи управління. Похибки відслідковування положення кінцевого елемента ПР визначаються інерційними властивостями приводної системи, впливом зовнішнього навантаження і сил тертя та ступенем охоплення зворотними зв'язками по положенню та переміщенню маніпуляційної системи. В результаті виникають похибки узагальнених координат КС, швидкостей та прискорень, що визначають кінематичну точність маніпуляційної системи. Контроль точності відслідковування можливо проводити відносно параметрів переміщення кінцевого елемента ПР або для кожної ланки маніпуляційної системи. Перший підхід більш прийнятний відносно побудови оцінки точності, оскільки в кінцевому випадку цікавить саме точність положення кінцевого елемента. Але при цьому необхідно визначити модель зв'язку вихідних параметрів приводної системи кожного модуля із параметрами кінцевого елемента, частку кожного приводу в процесі відтворення траєкторії переміщення чи кінцевого позиціонування. Побудова останньої є досить складним завданням, під час розгляду якого необхідно враховувати особливості інформаційної системи ПР та множину факторів, обумовлених реалізацією приводної системи.

Вагомим джерелом виникнення відхилень руху схвату ПР від програмно заданого є пружні властивості маніпуляційної системи. Вивчаючи вплив цього фактора, необхідно розглядати окремо задачі статичної та динамічної точності [2, 5, 7, 14, 15]. На відміну від технологічних похибок, ця група похибок має детермінований характер, що залежить від конфігурації маніпуляційної системи, характеру навантаження, прикладених сил та моментів. При цьому варто розглядати власну піддатливість кожної ланки та піддатливість у вузлах з'єднань і передатних механізмах [6, 15].

Наявність люфтів та зазорів у механічній системі також утворюють суттєве джерело похибок. Цій вид похибок залежить від статичного навантаження та динамічного режиму роботи ПР [11–13]. Положення однієї ланки відносно іншої в загальному випадку в межах зазору має імовірнісний характер з рівномірним законом розподілу. Одним із можливих наближених підходів є представлення невідомих функцій часу, що описують малі переміщення в зазорах вузлів кінематичних пар деякими випадковими величинами [1]. Люфти та зазори в передатних механізмах, що є функціонально необхідними, призводять також до кінематичних та динамічних помилок маніпуляційної системи. Враховуючи розривний характер передачі руху, під час визначення кінематичної точності передатних механізмів вдаються до мінімаксної оцінки.

Наведені групи похибок вагомо впливають на точність функціонування ПР і потребують врахування при її оцінці.

Питання побудови оцінки точності маніпуляційної системи пов'язано також із визначенням механічних властивостей останньої та властивостей системи управління. При цьому бажано, щоб вона мала комплексний характер. Оцінка точності позиціонування та орієнтації робочого органу має місце під час виконання як основних, так і допоміжних технологічних операцій і являє собою один із основних показників якості виконання ПР технологічних операцій.

Первинні похибки передбачаються незалежними одна від одної випадковими величинами, результатом дії яких є похибки узагальнених координат із відомими дисперсіями  $\sigma_{qj}^2 = M(\Delta q_j)^2$ .

За умови малої кількості похибок узагальнених координат оцінка точності може бути представлена векторами малого лінійного зміщення  $\bar{\xi}_s$  та повороту  $\bar{\theta}_s$  кожної кінематичної ланки відносно попередньої. Таким чином похибка положення та орієнтації кінцевого елемента може бути визначена, як:

$$\Delta r_M^0 = \sum_{s=1}^n A_{0,s} (\bar{\xi}_s^s + \mathcal{G}_s^s r_{Ms}^s);$$

$$\bar{\theta}^n = \sum_{s=1}^n A_{s,n}^T \bar{\theta}_s^s,$$
(1)

де  $\mathcal{G}_s^s$  – кососиметрична матриця повороту;

$r_{Ms}^s$  – вектор положення полюса кінцевого елемента відносно  $s$ -ї системи координат.

Враховуючи випадковий характер векторів, модуль похибок положення та орієнтації кінцевого елемента:

$$\overline{|\Delta r_M|^2} = \sum_{s=1}^n D\{\xi_{sx}^s\} + D\{\xi_{sy}^s\} + D\{\xi_{sz}^s\} +$$

$$+ [(y_{Ms}^s)^2 + (z_{Ms}^s)^2] \cdot D\{\theta_{sx}^s\} + [(x_{Ms}^s)^2 + (z_{Ms}^s)^2] \cdot D\{\theta_{sy}^s\} + ;$$

$$+ [(x_{Ms}^s)^2 + (y_{Ms}^s)^2] \cdot D\{\theta_{sz}^s\}$$
(2)

$$\overline{|\theta|^2} = \sum_{s=1}^n D\{\theta_{sx}^s\} + D\{\theta_{sy}^s\} + D\{\theta_{sz}^s\},$$
(3)

де  $D\{\cdot\}$  – позначення дисперсії відповідної випадкової величини.

Визначення глобальної оцінки точності виконується шляхом інтегрування за конфігураційним простором ПР середньоквадратичної похибки позиціонування у визначеній конфігурації. Побудова такої оцінки дозволяє формувати задачу визначення оптимальної конфігурації ПР у точці робочого простору, але вона є недостатньою через те, що враховує лише дві групи похибок у кінцевому відхиленні узагальнених координат кінематичного ланцюга ПР.

Сформована оцінка кінематичної та геометричної точності має бути доповнена врахуванням зазорів у кінематичних парах. У випадку круглого його перерізу, який можна розповсюдити на інші форми зазорів для обертових та поступальних пар, очікувана похибка  $j$ -го зчленування лежить у межах:

$$0,5\delta_j^2 \leq M|\Delta w_j| \leq \delta_j^2,$$
(4)

де  $\Delta w_j$  – вектор похибки в зазорі;

$\delta_j$  – максимальне переміщення в зазорі.

Аналіз та оцінка динамічної точності ПР дає можливість найбільш повно характеризувати якість виконання ним технологічних операцій. Сьогодні існує багато класичних методів та ефективних у виконавчому відношенні алгоритмів аналізу динаміки [2, 8, 14, 15, 17, 18].

Через складність врахування усіх первинних факторів впливу часто формування рівнянь динаміки системи супроводжується низкою припущень, умов та наближень, що також утворюють похибки методологічного плану. За таких умов отриманий результат аналізу динамічної похибки ПР, навіть якщо він максимально наближено відповідає динамічним процесам реальної системи, не дає можливості визначення ефективного шляху підвищення якості функціонування ПР. З іншого боку технологічні вимоги утворюють низку обмежень на окремі технічні та технологічні параметри функціонування ПР. При цьому виникає задача параметричної оптимізації.

При виконанні ПР допоміжних технологічних операцій задача оптимізації у класичній постановці формується як пошук необхідного керування для переміщення робочого органу з початкової позиції у кінцеву за мінімум часу. Функція мети має виражати порогові значення точності, що задані технологічними вимогами. Під час розв'язання цієї задачі необхідно враховувати конструктивні особливості ПР, що виражаються у побудові різних кінематичних структур на базі кожного його комплекту.

**Висновки.** Розглянуто та проаналізовано перспективи використання ПР як одних із основних елементів виробничих процесів різних галузей промисловості. Проаналізовано основні технічні характеристики ПР та РТК. Розглянуто основні похибки ПР, що впливають на точність його позиціонування.

#### Список використаної літератури:

1. Кобринский А.А. Манипуляционные системы роботов: основные устройства, элементы теории / А.А. Кобринский, А.Е. Кобринский. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 344 с.
2. Бербюк В.Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем / В.Е. Бербюк ; отв. ред. В.В. Белецкий // АН УССР. Ин-т прикладных проблем механики и математики. – Киев : Наук. думка, 1989. – 192 с.
3. Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение / Г.А. Спыну ; под ред. В.И. Костюка. – К. : Вища Школа, 1985. – 176 с.
4. Промышленные роботы: Конструирование, управление, эксплуатация / В.И. Костюк, А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский, А.Г. Карлов. – К. : Вища школа, 1985. – 359 с.
5. Механика промышленных роботов : учеб. пособие для вузов в 3 т. / под ред. К.И. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2: Расчет и проектирование механизмов / Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов. – М. : Высш. шк., 1988. – 367 с.
6. Механика промышленных роботов : учеб. пособие для вузов в 3 т. / под ред. К.И. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 3: Основы конструирования / Е.И. Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков. – М. : Высш. шк., 1989. – 383 с.
7. Шисман В.Е. Точность роботов и робототехнических систем / В.Е. Шисман. – Харьков : Вища школа, 1988. – 154 с.
8. Ащепкова Н.С. Метод кинематического и динамического анализа манипулятора с использованием Mathcad / Н.С. Ащепкова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 5, № 7 (77). – С. 54–63. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51105.
9. Бруевич Н.Г. Точность механизмов / Н.Г. Бруевич. – М. ; Л. : ГИТТЛ, 1946.
10. Сергеев В.И. Инструментальная точность кинематических и динамических систем / В.И. Сергеев. – М. : Наука, 1971.
11. Кобринский А.Е. Механизмы с упругими связями. Динамика и устойчивость / А.Е. Кобринский. – М. : Наука, 1964.
12. Кобринский Н.Е. Кинематические ошибки плоских механизмов, вызываемых зазорами в кинематических парах / Н.Е. Кобринский // Известия АН СССР, ОТН. – 1946.
13. Сергеев В.И. Исследование динамики плоских механизмов с зазорами / В.И. Сергеев, К.Н. Юдин. – М. : Наука, 1974.
14. Коловский М.З. Основы динамики промышленных роботов / М.З. Коловский, А.В. Слоущ. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 240 с.
15. Воробьев Е.И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е.И. Воробьев, Ю.Г. Козырев, В.И. Царенко ; под общ. ред. Е.П. Попова. – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
16. Сачук И.В. Алгоритмічне забезпечення автоматизованого вибору АМ ПР : магістерська атестаційна робота / И.В. Сачук. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 208 с.
17. Белоусов И.Р. Формирование уравнений динамики роботов-манипуляторов / И.Р. Белоусов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.keldysh.ru/papers/2002/prep45/prep2002\\_45.html](http://www.keldysh.ru/papers/2002/prep45/prep2002_45.html).
18. Фу К. Робототехника / К.Фу, Р.Гонсалес, К.Ли ; пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 624 с.

#### References:

1. Kobrinskii, A.A. and Kobrinskii, A.E. (1985), *Manipulyatsionnye sistemy robotov: osnovnye ustroystva, elementy teorii*, Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoi literatury, M., 344 p.
2. Berbyuk, V.E. (1989), *Dinamika i optimizatsiya robototekhnicheskikh system*, in Beletskii, V.V. (ed.), AN USSR. In-t prikladnykh problem mekhaniki i matematiki, Nauk. dumka, Kiev, 192 p.

3. Spynu, G.A. (1985), *Promyshlennyye roboty. Konstruirovaniye i primeneniye*, in Kostyuk, V.I. (ed.), Vyshha shkola, K., 176 p.
4. Kostyuk, V.I., Gavrish, A.P., Yampol'skii, L.S. and Karlov, A.G. (1985), *Promyshlennyye roboty: Konstruirovaniye, upravleniye, ekspluatatsiya*, Vyshha shkola, K., 359 p.
5. Vorob'ev, E.I., Egorov, O.D. and Popov, S.A. (1988), *Kn. 2: Raschet i proektirovaniye mekhanizmov, Mekhanika promyshlennykh robotov*, ucheb. posobie dlya vuzov v 3 t., in Frolov, K.I. and Vorob'ev, E.I. (ed.), Vyssh. shk., M., 367 p.
6. Vorob'ev, E.I., Babich, A.V. and Zhukov, K.P. (1989), *Kn. 3: Osnovy konstruirovaniya, Mekhanika promyshlennykh robotov*, ucheb. posobie dlya vuzov v 3 t., in Frolov, K.I. and Vorob'ev E.I. (ed.), Vyssh. shk., M., 383 p.
7. Shisman, V.E. (1988), *Tochnost' robotov i robototekhnicheskikh system*, Vyshha shkola, Khar'kov, 154 p.
8. Ashchepkova, N.S. (2015), «Metod kinematicheskogo i dinamicheskogo analiza manipulyatora s ispol'zovaniem Mathcad», *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*, Vol. 5, No. 7 (77), pp. 54–63, doi: 10.15587/1729-4061.2015.51105.
9. Bruevich, N.G. (1946), *Tochnost' mekhanizmov*, GITTL, M., L.
10. Sergeev, V.I. (1971), *Instrumental'naya tochnost' kinematicheskikh i dinamicheskikh system*, Nauka, M.
11. Kobrinskii, A.E. (1964), *Mekhanizmy s uprugimi svyazyami. Dinamika i ustoychivost'*, Nauka, M.
12. Kobrinskii, N.E. (1946), «Kinematicheskie oshibki ploskikh mekhanizmov, vyzvaemykh zazorami v kinematicheskikh parakh», *Izvestiya AN SSSR, OTN*.
13. Sergeev, V.I. and Yudin, K.N. (1974), *Issledovaniye dinamiki ploskikh mekhanizmov s zazorami*, Nauka, M.
14. Kolovskii, M.Z. and Sloushch, A.V. (1988), *Osnovy dinamiki promyshlennykh robotov*, Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., M., 240 p.
15. Vorob'ev, E.I., Kozyrev, Yu.G. and Tsarenko, V.I. (1988), *Promyshlennyye roboty agregatno-modul'nogo tipa*, in Popov, E.P. (ed.), Mashinostroeniye, M., 240 p.
16. Sachuk, Y.V. (2000), «Algorytmichne zabezpechennya avtomatyzovanogo vyboru AM PR», *magisters'ka atestacijna robota, ZhITI, Zhytomyr*, 208 p.
17. Belousov, I.R. «Formirovaniye uravneniiy dinamiki robotov-manipulyatorov», [Online], available at: [www.keldysh.ru/papers/2002/prep45/prep2002\\_45.html](http://www.keldysh.ru/papers/2002/prep45/prep2002_45.html)
18. Fu, K., Gonsales, R. and Li, K. (1989), *Robototekhnika*, translated from English, Mir, M., 624 p.

**Богдановський** Мартін Віталійович – старший викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- автоматизація технологічної підготовки механоскладального машино- та приладобудівного автоматизованого виробництва;
  - сучасні інформаційно-вимірювальні системи;
  - мобільна робототехніка.
- <https://orcid.org/0000-0003-2870-4248>.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2020.