

О.П. Космач, канд. техн. наук

О.Д. Товстуха, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ДЕРЕВООБРОБКИ В SOLIDWORKS

А.П. Космач, канд. техн. наук

А.Д. Товстуха, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ДЕРЕВООБРАБОТКИ В SOLIDWORKS

Oleksandr Kosmach, PhD in Technical Sciences

Oleksandr Tovstukha, student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

STUDY OF DEVICES KINEMATIC FOR MECHANICAL ENGINEERING AND WOODWORKING IN SOLIDWORKS

Розглянуто можливості кінематичного аналізу технічної системи з використанням блокових моделей у середовищі SolidWorks. Представлено алгоритм побудови блокової моделі та результати розмірного аналізу верстатного пристрою. У результаті моделювання встановлено, що модифікація конструкції механізму для зміни його вихідних показників та правильного функціонування потребує коректування розмірів окремих ланок.

Ключові слова: кінематика, механізм, блок, структура, переміщення, система, проектування.

Рассмотрены возможности кинематического анализа технической системы с использованием блочных моделей в среде SolidWorks. Представлен алгоритм построения блочной модели и результаты размерного анализа станочного приспособления. В результате моделирования установлено, что модификация конструкции механизма для изменения его исходных показателей и правильного функционирования нуждается в корректировке размеров отдельных звеньев.

Ключевые слова: кинематика, механизм, блок, структура, перемещение, система, проектирование.

The possibilities of kinematic analysis of technical systems using by block models in SolidWorks were considered. The algorithm for block model building and analysis results of unit grip simulation were shown. As result of simulation was determined that modification of mechanism design for changing its benchmarks for proper operation need to correct the size of individual elements.

Key words: kinematics, mechanism, block, structure, movement, system, design.

Постановка проблеми. З розвитком інформаційних технологій використання автоматизованих систем під час проектування та розроблення технічних систем (ТС) є одним з ключових інженерних напрямків. Спроектвані ТС усе частіше стають більш складними, точними, динамічними та керованими, що вимагає використання додаткових методів їх аналізу та випробування. Особливо це стосується етапів, що пов'язані з розробленням технічної документації та технічних вимог, які ґрунтуються на комплексі інженерних розрахунків та моделюванні складних динамічних процесів.

Уже нині більшість сучасних механізмів, наприклад, машинобудівної або деревообробної промисловості складаються зі складових ланок, які мають високу функціональну гнучкість та надійність, що дозволяє суттєво розширити можливості верстатів, пристроїв, вимірювального обладнання з метою швидкого пристосування до змін на ринку попиту продукції.

До одного з головних внутрішніх показників ТС є характер організації його елементів у статичному та динамічному стані. В умовах динамічності наявних процесів, які безпосередньо впливають на продуктивність обладнання, важливе значення має характер взаємного переміщення елементів ТС, яка впливає з її кінематики.

Для аналізу кінематики механізму можуть використовуватися загальноприйняті методи та підходи з теорії механізмів та машин. Проте для складних ТС використання таких методів потребує великих часових витрат, а в окремих випадках і специфічних знань. Для спрощення та прискорення інженерних розрахунків, які пов'язані з кінематикою ТС,

все частіше використовуються окремі модулі систем автоматизованого проектування середнього та вищого рівня. До однієї з таких систем відносять програмне середовище SolidWorks, яке має широке розповсюдження у сучасній інженерній діяльності.

З погляду гнучкого розроблення та проектування ТС, оцінювання використання та можливостей програмного забезпечення SolidWorks під час дослідження кінематики ТС є досить актуальним науковим та прикладним завданням.

В умовах сучасного проектування механізмів машин широке розповсюдження знаходять CAD/CAE системи. При цьому зміна конструктивних елементів вузлів або їх видозміна вносить додатковий комплекс робіт, які пов'язані з визначенням характеру з'єднання ланок механізму, їх обмеження тощо. Кінематичний аналіз механізмів у середовищі SolidWorks дозволяє за короткий період часу проаналізувати головні рухомі ланки та елементи механізмів. Більшість досліджень у цій галузі пов'язані з використанням модуля Cosmos SolidWorks, проте для простих, наглядних та швидких розрахунків та моделювання у цьому середовищі може використовуватися і блокові структури. Тому для кінематичного аналізу механізмів з використанням блокових структур у середовищі SolidWorks необхідно розроблення узагальненого алгоритму побудови моделі рухомих механізмів, а також їх подальшого аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програмне середовище SolidWorks – програмний комплекс системи автоматизованого проектування для автоматизації робіт промислового призначення на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Цей програмний продукт забезпечує розроблення виробів будь-якого ступеня складності та широкого призначення у галузях машинобудування, деревообробки, електроніки тощо.

Для аналізу кінематики механізмів машин програмне середовище SolidWorks має два незалежних модуля: Cosmos Motion, а також блоки (sketch block) [1; 2]. Основна відмінність цих модулів полягає у рівні складності кінематики ТС та вихідних результатах, які необхідно аналізувати. З погляду наочності, простоти та відсутності складних математичних розрахунків блокові структури мають переваги перед модулем Motion. У зв'язку з цим у цій роботі будемо проводити дослідження кінематики механізмів з використанням блокових структур.

У [3; 4] було проаналізовано ефективність сучасних CAD систем при параметричній зміні складових елементів механізмів. Встановлено, що сучасні CAD системи дозволяють швидко реагувати на ринкові зміни, що невід'ємно відображається на якості та ціні виготовленої продукції. У [5] продемонстрований аналіз траєкторії переміщення кулачкового механізму з використанням як аналітичного методу на основі мови програмування, а також у програмному середовищі SolidWorks.

У [6] програмне середовище SolidWorks використано для графічного моделювання руху робочого органу зварювального робота. При цьому отримані результати були використані для побудови керуючої програми зварювання конструкції на виробництві.

У загальному випадку блокові структури являють собою безліч груп упорядкованих елементів (ліній, точок, кривих, осей тощо), які підпорядковані спільній назві та зберігаються у файлі. Таке представлення груп елементів дозволяє проводити поділ або дроблення основних елементів системи (виділення підсистем та надсистем) з метою проведення подальших операцій, наприклад, накладання обмежувальних зв'язків або об'єднання блоків в один блок вищого рівня тощо.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Пошук наукової літератури показав, що у сучасних умовах виробництва практично не використовуються блокові моделі для аналізу кінематики механізмів. Проте під час швидкого вирішення задач, які пов'язані з наближеними розрахунками, ці моделі можуть бути ефективно

використані. У зв'язку з цим визначення можливостей блокових моделей під час дослідження кінематики складних механізмів є досить актуальним завданням.

Формулювання мети статті. У роботі проведено кінематичний аналіз механізму верстатного пристрою, здійснено моделювання кінематики механізму під час зміни розмірів ключових ланок механізму, а також проаналізовано їх вплив на вихідні показники механізму. Представлено алгоритм побудови блокових моделей механізму у середовищі SolidWorks.

Виклад основного матеріалу. Як предмет дослідження був вибраний переналагоджуваний верстатний пристрій машинобудівної або деревообробної галузі. Цей пристрій призначений для оброблення симетричних поверхонь заготовок на верстаті нормальної точності, ескіз якого представлений на рис. 1. Він складається з важільних механізмів та пневмоциліндра. Лінійне переміщення штоку циліндра приводить у дію важільні механізми, які симетрично переміщують призматичні переналагоджувані установчі елементи до поверхонь заготовки.

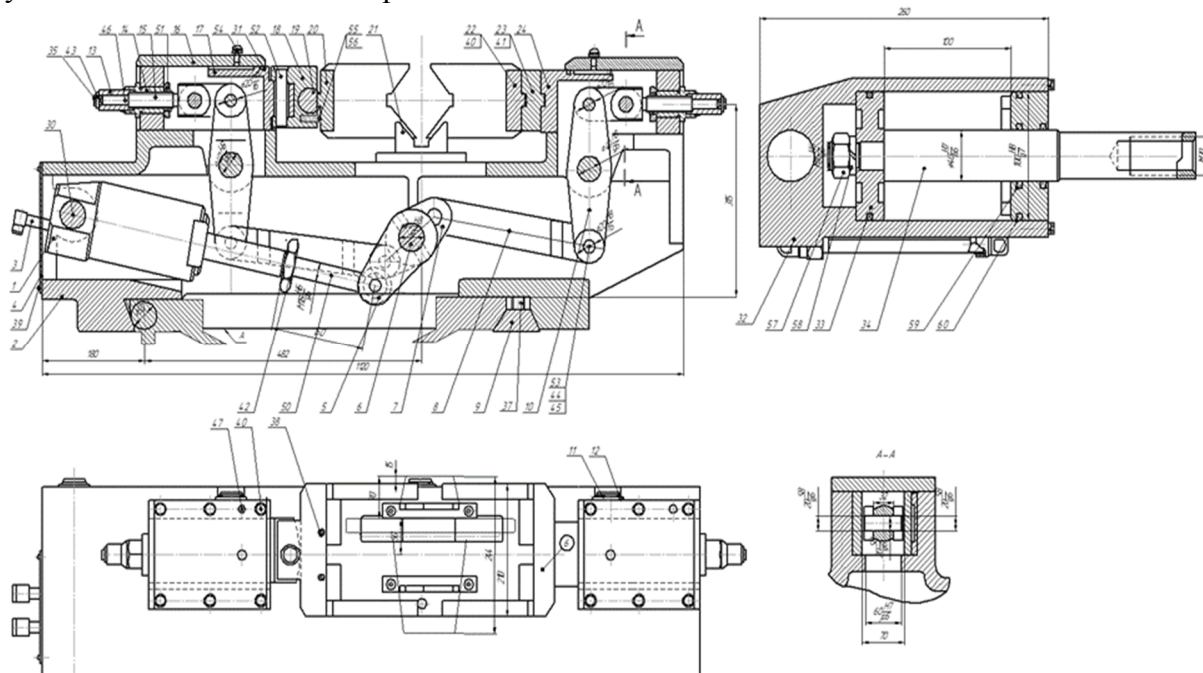


Рис. 1. Ескіз верстатного пристрою для оброблення симетричних заготовок

Для створення кінематичних зв'язків між рухомими елементами пристрою, а також їх подальшого аналізу було використано накладання обмежувальних кінематичних зв'язків між рухомими елементами досліджуваної ТС. При цьому була створена узагальнена блокова модель механізму, яка характеризує кожен окрему рухома ланка пристрою. Модель пристрою можна представити у вигляді дворівневої ієрархічної структури, яка складається з двох симетричних важільних механізмів та пневмоциліндра, до складу яких входять окремі рухомі ланки. Слід зазначити, що така блокова структура механізму повністю та однозначно визначає траєкторію руху його основних ланок.

Під час побудови кінематичної моделі механізму можна виявити такі етапи (рис. 2):

- 1) виявлення ланок механізму, які мають кінематичні зв'язки між собою;
- 2) створення плоского ескізу окремої деталі (рухомої ланки) на довільно вибраній площині;
- 3) використання команд та інструментів для побудови схематичних контурів окремої рухомої ланки механізму;

4) нанесення розмірів (інформаційні та керовані розміри) та накладання обмежень (паралельність, перпендикулярність, колінеарність, симетричність тощо), створення відлікової системи ескізу;

5) виділення створеного ескізу з елементами та перетворення його в блок (Інструменти – Блоки – Створити або за допомогою команди «вставити блок» у допоміжному меню);

6) створення аналогічних блокових структур для інших елементів механізму;

7) збереження блоків елементів у вигляді файлових структур, а також присвоєння їм імені;

8) проведення наближеного переміщення блокових структур для їх подальшого об'єднання та взаємодії;

9) виділення взаємодіючих частини блоків (за допомогою клавіші Ctrl) та визначення відповідних типів взаємодії. У процесі складання механізму використовуються такі види команд зв'язків: «Концентричність» – концентричність кіл або осесиметричних поверхонь; «Зафіксувати» – фіксує певну точку та не дає їй переміщуватися у двох взаємопротилежних напрямках; «Дотична» – створює дотик між собою поверхонь або блоків; «Рівність» – створення однакових розмірів відповідних частин блока або елементів; «Колінеарність» – створює два відрізка або промені, які паралельні один одному або лежать на одній прямій; «Паралельність» – створює паралельні відрізки або промені; «Перпендикулярність» – створює перпендикулярні відрізки; «Точка на прямій» – з'єднує між собою дві частини блока за допомогою обмеження руху точки одного блока по лінії іншого блока; «Горизонтальність» – вирівнює відрізок або промінь у горизонтальному напрямку; «Вертикальність» – вирівнює відрізок або промінь у вертикальному напрямку; «Симетричність» – створює копію виділеної частини контуру відносно вибраної точки або осі симетрії;

10) виявлення та фіксація місць нерухомих опорних частин блоків.

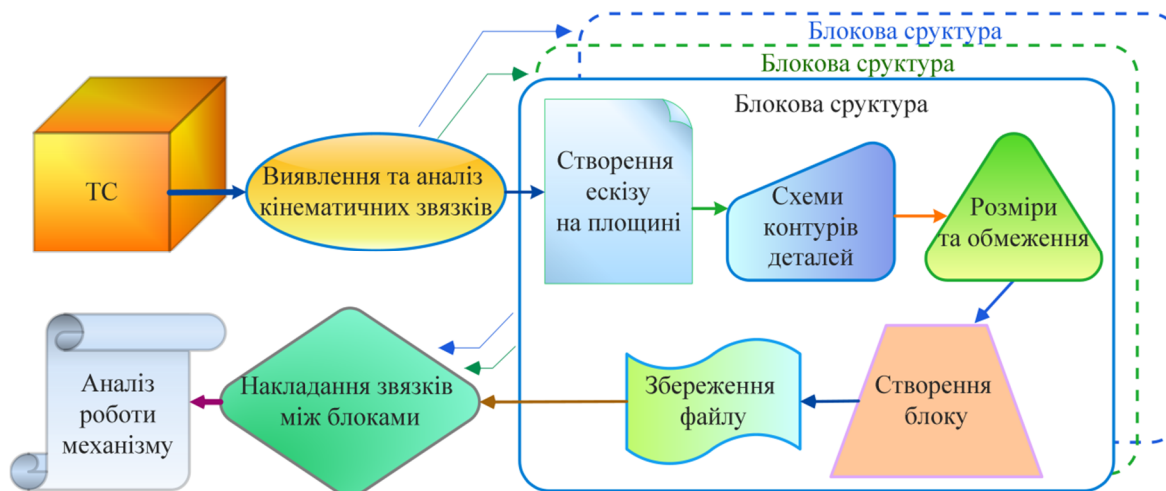


Рис. 2. Алгоритм побудови блокової моделі верстатного пристрою у середовищі SolidWorks

Після накладання всіх видів зв'язків на блоки відповідно до спрощеної схеми, отримаємо кінематичну модель механізму, елементи якого будуть переміщуватися відповідно до накладених обмежень (зв'язків) між ними (рис. 3).

Слід зазначити, що під час побудови механізму проводилися конструктивні спрощення, які не впливали на загальний принцип роботи механізму та його кінематику. Побудована блокова модель механізму дозволяє проводити аналіз зв'язків між елементами для будь-якого положення досліджуваної ланки під час його роботи.

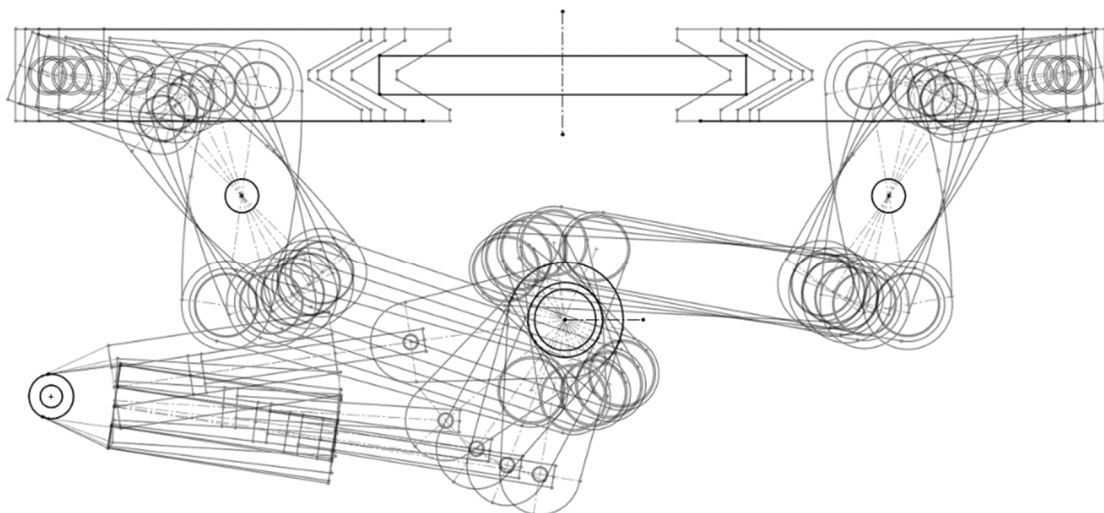


Рис. 3. Моделювання руху елементів верстатного пристрою з використанням блокової моделі у середовищі SolidWorks

З метою уточнення вимог до точності деталей механізму в умовах зміни розмірів основних ланок, які впливають на його вихідні показники, було проведено моделювання руху елементів верстатного пристрою для різних довжин ланок важільного механізму, які змінювалися в межах $R=30\dots70$ мм з приростом $\Delta R=10$ мм (рис. 4).

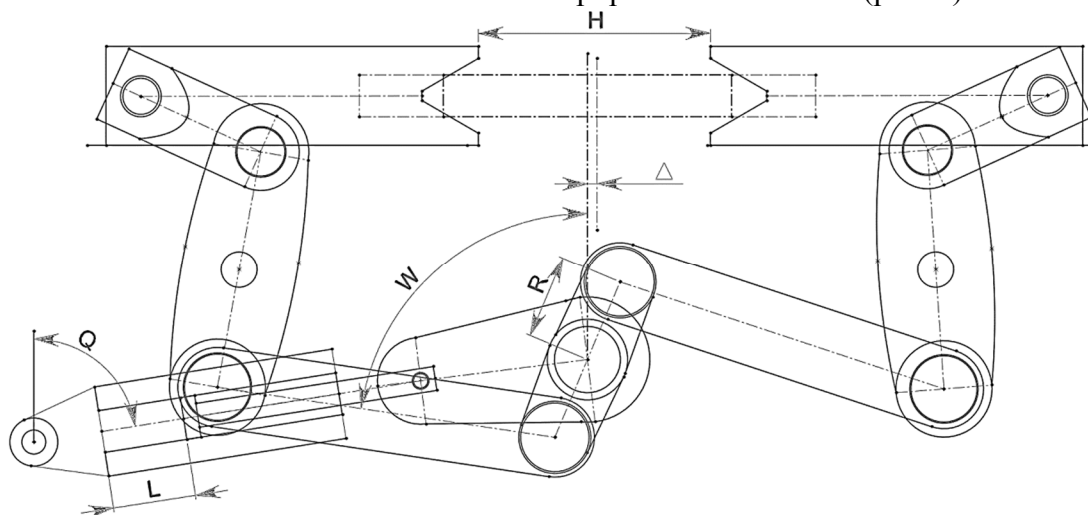


Рис. 4. Розміри ланок механізму, які визначалися під час моделювання його руху з використанням блокових структур

Збільшення значень R дозволяє отримати модифікації механізмів, які будуть мати однакову будову та принцип дії, а відрізнятимуться лише розмірами між установчими елементами, що буде відповідати максимальним габаритним розмірам заготовок. Під час моделювання руху ланок механізму визначалася залежність між величиною переміщення поршня L та відстанню між установчими елементами H , незбіг площини симетрії заготовки та осі обертання важільного механізму Δ , кути повороту між ланками механізму W та кут повороту осі пневмоциліндра Q . Для побудови залежностей розглядалося 7 положень механізму, які враховують максимальне робоче переміщення поршня. Під час моделювання робоче переміщення поршня пневмоциліндра становило 119 мм. Переміщення елементів відбувалося в інтерактивному режимі, а зміна розмірів важільної ланки відбувалося за допомогою керованого розміру.

Таким чином, процес моделювання руху механізму для кожного значення розміру R тривав до декількох десятків секунд.

Залежність між величиною переміщення поршня L та відстанню між установчими елементами H представлена на рис. 5. Встановлено, що залежність $H=f(L)$ носить нелінійний зростаючий характер для кожного значення ланки важільного механізму R . При цьому збільшення розміру ланки R приводить до збільшення величини відстані та швидкості переміщення установчих елементів пристрою H . З рис. 5 також видно, що швидкість переміщення установчих елементів збільшується для мінімальних переміщень поршня пневмоциліндра L . На етапі конструкторського проектування механізму отримані закономірності дозволяють визначати довжини ланок механізму R для встановлення необхідної ширини заготовки у верстатний пристрій.

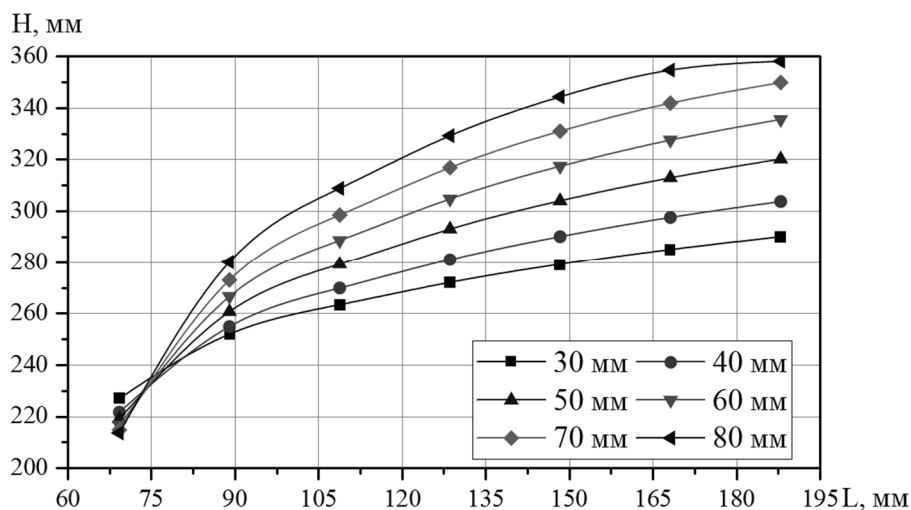


Рис. 5. Залежність відстані між установчими елементами пристрою H та переміщенням поршня L при різних довжинах ланок R : 1 – $R=30$ мм, 2 – $R=40$ мм, 3 – $R=50$ мм, 4 – $R=60$ мм, 5 – $R=70$ мм, 6 – $R=80$ мм

Залежність між величиною переміщення поршня L та кутом повороту ланок механізму W повороту осі Q для $R=30$ мм представлена на рис. 6. Встановлено, що залежності $W=f(L)$ та $Q=f(L)$ носять нелінійний характер для кожного значення ланки важільного механізму R . Причому для інших значень R загальний приріст значень W та Q зберігається, а відрізняються лише початкові значення кутів. З рис. 6 видно, що швидкість переміщення ланок механізму більша для мінімальних переміщень поршня пневмоциліндра L , що підтверджують результати, які були отримані раніше. Із залежності $Q=f(L)$ також видно, що на кінцевих ділянках переміщення штоку (165...190 мм) положення пневмоциліндра практично не змінюється.

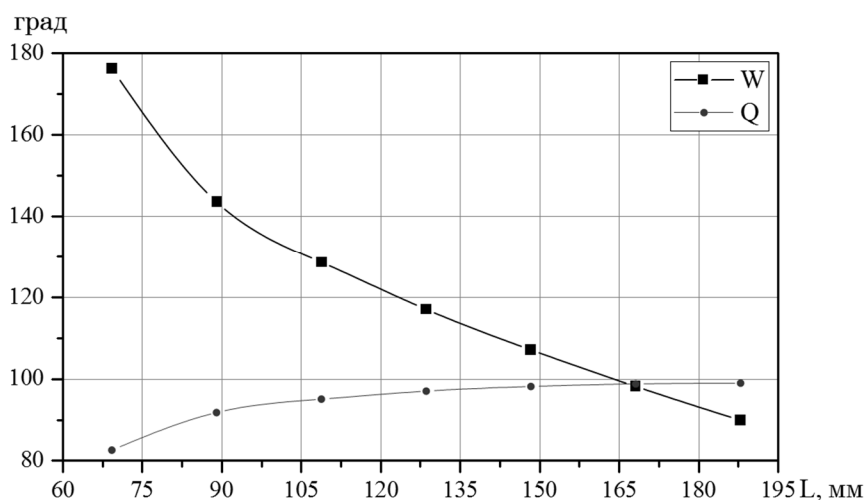


Рис. 6. Залежність зміни кутів ланок W та Q механізму та величиною переміщення поршня L

Залежність між величиною переміщення поршня L та незбігом площини симетрії заготовки й осі обертання важільного механізму Δ для досліджуваних значень R представлена на рис. 7. Встановлено, що залежності $\Delta = f(L)$ мають нелінійний характер для кожного значення ланки важільного механізму R . Під час побудови залежностей визначалися лише абсолютні значення Δ без уточнення їх напрямку.

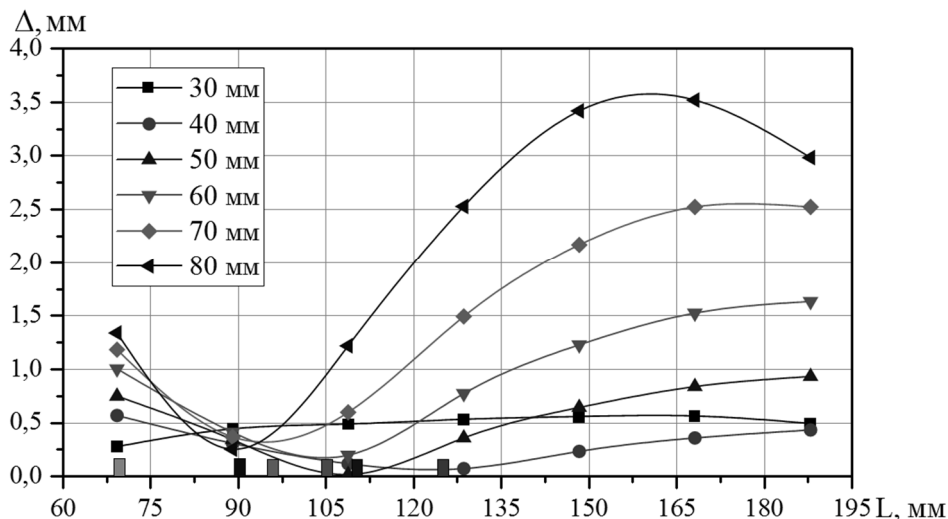


Рис. 7. Залежності зміни незбігу площини оброблюваної заготовки та осі обертання важільного механізму Δ і величини переміщення поршня L для різних розмірів ланок R

З рис. 7 видно, що під час збільшення величини ходу штоку пневмоциліндра відбувається збільшення незбігу площини симетрії заготовки та осі обертання важільного механізму. Аналіз отриманих закономірностей дозволяє виявити деякі особливості модифікацій розглянутого пристрою, а саме:

- під час розроблення модифікацій механізмів з різною довжиною ланок R необхідно враховувати зміщення площини симетрії оброблюваної заготовки, наприклад, для розміру ланки $R=80$ мм незбіг площини симетрії заготовки шириною 356 мм під час оброблення може становити до 3,5 мм;

- для мінімізації впливу незбігу площини симетрії заготовки необхідно проводити сортування заготовок за розміром для визначеного розміру R ланки механізму.

Результати досліджень показують, що кожній модифікації розглянутого механізму необхідна деяка гранична величина переміщення штоку пневмоциліндра для мінімізації відхилень від симетричності оброблюваної поверхні заготовки.

Так, наприклад, для $R=30$ мм величина ходу поршня повинна бути наближена до 69 мм, що відповідає ширині заготовки у межах 227 мм, для $R=60$ мм величина ходу поршня повинна бути наближена до 109 мм, що відповідає ширині заготовки у межах 289 мм, для $R=80$ мм величина ходу поршня повинна бути наближена до 89 мм, що відповідає ширині заготовки в межах 280 мм.

Таким чином, розглянуте моделювання роботи пристрою дозволяє в інтерактивному режимі виявляти важливі розмірні зв'язки деталей, а також проводити їх швидкий кінематичний аналіз.

Висновки і пропозиції. Блокова модель механізму дозволяє наглядно продемонструвати принцип роботи механізму, а також виявити взаємні перетинання та накладання елементів моделі, що може бути використано під час внесення конструктивних змін та доробок конструкцій виробів. Основними перевагами цього моделювання роботи механізму полягає в наочності, гнучкості та швидкодії. Створивши базу типових елементів та вузлів, виникає можливість швидкої та гнучкої перебудови й модифікації механізму, що у сучасних умовах виробництва є дуже актуальним.

Цей вид моделювання роботи механізму може бути використаний під час дослідження кінематики вузлів та механізмів із змінними розмірами ланок, а також для визначення їх впливу на вихідні показники ТС. При цьому розроблена модель може бути використана для визначення найбільш навантажених ланок механізму, а також у разі ремонту та експлуатації ТС.

Актуальними напрямками дослідження з використанням розробленої моделі є аналіз технічних показників системи під час врахування контактної взаємодії між рухомими ланками механізму, а також їх вплив на вихідні показники ТС.

Список використаних джерел

1. *Planchard C. D.* Assembly Modeling with SolidWorks / C. D. Planchard, M. P. Planchard // SDC Publications, 2012. – 528 p.
2. *Xiaobin D.* The Design on Automatic Feed Punching Mechanism on SolidWorks / D. Xiaobin, H. Wu, H. Liu // Advanced Materials Research, 2013. – Vols. 655–657. – P. 272–276.
3. *Kamil P.* Effective work in design of new product in MCAD systems / P. Kamil, A. Łukaszewicz // Machine Dynamics Research. – 2013. – Vol. 37. – No 3. – P. 45–52.
4. *Łukaszewicz A.* Modelling of solid part using multibody techniques in parametric CAD systems / A. Łukaszewicz // Solid State Phenomena. – 2009. – Vols. 147–149. – P. 924–929.
5. *Fang H.* Design and Movement Simulation to the Cam of the Testing Device for capacitor encapsulation equipment / H. Fang, G. Zhang, J. Jian // Open Journal of Modelling and Simulation. – 2014. – Vol. 2. – P. 138–143.
6. *Off-line programming of an industrial robot for manufacturing / S. Mitsi, K. D. Bouzakis, G. Mansour, D. Sagris, G. Maliaris // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2005. – Vol. 26. – P. 262–267.*

УДК 621.9.02

М.И. Михайлов, канд. техн. наук

Гомельський державний технічний університет ім. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ ЕМКОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОВ СТАНКОВ С ЧПУ ДЛЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

М.І. Міхайлав, канд. техн. наук

Гомельський державний технічний університет ім. П. О. Сухого, м. Гомель, Білорусь

ОПТИМІЗАЦІЯ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧІВ ІНСТРУМЕНТІВ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ ДЛЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Mikhail Mikhailov, PhD in Technical Sciences

Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

OPTIMIZATION OF MACHINE TOOLS WITH CNC STORAGE CAPACITY FOR FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Рассмотрена методика расчета емкости накопителей инструментов станков с ЧПУ для гибких производственных систем из условий применяемости деталей и произведена их оптимизация по критерию производительности.

Ключевые слова: станок с числовым программным управлением, гибкая производственная система, накопитель инструментов.

Розглянуто методика розрахунку ємності накопичувачів інструментів верстатів з ЧПУ для гнучких виробничих систем з умов застосовності деталей і проведено їх оптимізацію за критерієм продуктивності.

Ключові слова: верстат з числовим програмним управлінням, гнучка виробнича система, накопичувач інструментів.

The article considers an approach how to calculate the capacity of instruments store shops within tools equipped with system of numerical program control which are to be inserted to function in the environment of flexible production modules. The calculation is suggested to be done with a view of the investigating of the fields of applicability of the manufactured parts and is aimed at providing their optimum design in accordance with the productivity criterion.

Key words: a tool equipped with system of numerical program control, a flexible production module, instruments store shop.

Постановка проблемы. Переориентация промышленности на выпуск широкого ассортимента продукции малыми сериями (партиями), в совокупности с постоянным снижением трудовых ресурсов европейских государств, привела к изменению исполь-