

ПОБУДОВА ТА АНАЛІЗ РУХОМИХ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ, СПИРАЮЧИСЬ НА КІНЕМАТИЧНУ СХЕМУ, В САПР «КОМПАС-3D»

Розглянута можливість створення діючих 3D моделей затискних механізмів реальних розмірів з можливістю аналізу кінематичних характеристик затискної ланки, шляхом зміни лінійних розмірів та відносного розташування складових ланок в інтерактивному режимі відповідно до технологічного призначення.

Ключові слова: 3D моделювання механізмів, кінематичні характеристики механізмів, затискні механізми, інтерактивний режим моделювання.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Зусилля в затискних механізмах є основним технологічним параметром, який забезпечує їх працездатність і надійність. Але методика його розрахунку ускладнена тим, що відповідно до кожної окремої кінематичної схеми затискного механізму існують свої співвідношення, які не завжди є у наявності. Тому залишається актуальною проблема об'єктивного оцінювання кінематичних характеристик затискних механізмів та вдосконалення методик проектування в напрямку підвищення їх ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проектуванні та розрахунку будь-яких механізмів механічних передач завжди виникає питання визначення їх кінематичних характеристик, а саме: передаточного числа, переміщення, швидкості та прискорення вихідної ланки залежно відруху вхідної ланки. У більшості випадків вказані питання, у разі необхідності, вирішуються аналітичним шляхом, який є дуже складний і громіздкий. В загальному випадку обмежуються лише коментарем роботи.

Так, на рисунку 1 наведений фрагмент з довідника «Механізми в сучасній техніці» [1]. Його робота коментується наступним чином: «При обертанні ланки 1 навколо нерухомої осі А точка М ланки 2 описує на де який ділянці траєкторію, яка наближена до кола q-q.». Але жодних додаткових даних, які б характеризували б його кінематичні характеристики, не наведені.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Викликає зацікавлення використання САПР «КОМПАС-3D» для можливості дослідження характеристик механізму, спираючись на його кінематичну схему. Моделювання механічного руху окремих ланок, виходячи з закону руху вхідної ланки, дозволить за досить короткий час, уникаючи проміжних розрахунків, одержувати параметри руху призначеної ланки, такі як переміщення, швидкість, прискорення, та зміна миттєвого передаточного числа.

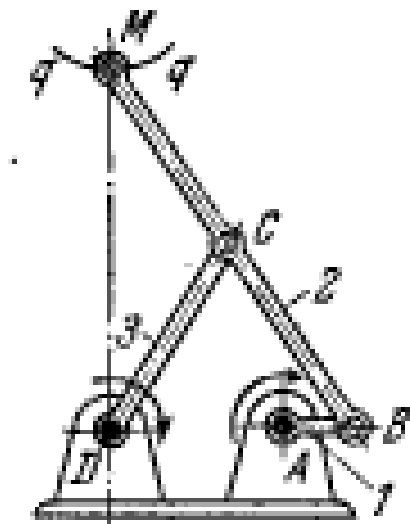


Рисунок 1 – Шарнірно-важільний механізм.

Метою роботи є створення діючих 3D моделей затискних механізмів реальних розмірів з можливістю аналізу кінематичних характеристик затискної ланки шляхом зміни лінійних розмірів та відносного розташування складових ланок в інтерактивному режимі відповідно до технологічного призначення.

Виклад основного матеріалу досліджень. Розглянемо можливість за допомогою програми САПР «КОМПАС-3D» моделювати поведінку складних затискних механізмів і досліджувати їх на взаємні переміщення ланок. Вказане моделювання дозволить в інтерактивному режимі визначати основний параметр затискного механізму – передаточне число i . Знайдене передаточне число необхідне для визначення співвідношення між силою тяги на ведучій ланці W і зусиллям затискання на веденій Q .

Традиційно, при розрахунку затискних пристосувань, співвідношення між силою тяги на ведучій ланці W та зусиллям затискання на веденій Q знаходять за допомогою рівнянь статки, визначаючи аналітичні вирази для зусиль W , Q та значення передаточного числа. Наприклад, розглянемо кінематичну схему важільного затискного механізму (рисунок 2).

Для вказаного механізму аналітичні вирази [2, с.123] сили тяги W та зусилля затискання Q виражені через значення передаточного числа i мають наступний вигляд:

$$W=Q/i, \quad (1)$$

де W – сила тяги на ведучій ланці, Н;
 Q – сила затискання на веденій ланці, Н;
 i – передаточне число механізму,

$$i = \frac{\eta}{2\text{tg}(\theta + \beta)} \cdot \frac{l_1}{l_2}, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії;
 θ – кут відхилення осі шатуна від вертикального положення, рад;
 β – кут відхилення кривошипа від вертикального положення, рад;
 l_1 – довжина початкової частини коромисла, м;
 l_2 – довжина кінцевої частини коромисла, м.

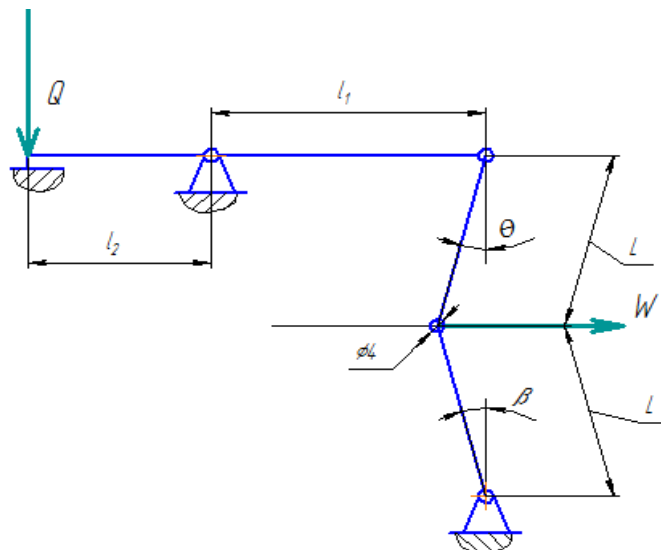


Рисунок 2 – Кінематична схема затискного важільного механізму

Таким чином, за вище наведеними аналітичними залежностями, для вказаних геометричних розмірів та заданого положення механізму, можливо обчислити

значення передаточного числа i та співвідношення між силою тяги W та зусиллям затискання Q .

Наприклад, для геометричних розмірів: $l_1=68$ мм, $l_2=62$ мм, $\beta=15^\circ$, $\theta=15^\circ$, передаточне число механізму згідно до (2) дорівнюватиме:

$$i = \frac{0.95}{2\text{tg}(15^\circ + 15^\circ)} \cdot \frac{68}{62} = 2.12$$

При значенні передаточного числа $i=2.12$, співвідношення між силою тяги W та зусиллям затискання Q матиме вигляд $W=Q/2,12$; щоб зрівноважити зусилля затискання Q необхідно прикласти силу тяги W , яка має значення у 2.12 рази менше за зусилля затискання Q .

Але, якщо кінематична схема затискного механізму відрізняється від запропонованих [2], не можна виконати наведені розрахунки. Крім того, цей метод досить громіздкий та потребує великої затрати часу.

Інтерактивний режим моделювання з використання САПР «КОМПАС-3D» вільний від вказаних недоліків. Окремі розміри ланок затискних важільних механізмів можливо параметризувати і змінюючи запараметризовані геометричні розміри, виникає можливість керовано змінювати передаточне число механізму, залежно від технологічних потреб.

Зміна передаточного числа i викликає відповідну зміну співвідношення зусилля затискання Q та сили тяги W . Таким чином, в реальному часі, можливо аналізувати зміну лінійних розмірів ланок механізму, та їх взаємне розташування на кінцевий результат.

Розглянемо приклад побудови затискного механізму та його дослідження за допомогою прикладних бібліотек «КОМПАС-3D» та допоміжних програм: «PortableCurveExpert» і «Mathcad 14».

Для створення рухомих об'ємних механізмів в «КОМПАС-3D» потрібні 3D тіла. Згідно кінематичної схеми (рисунок 2) будемо деталі затискного важільного механізму: стійку, кривошип, шатун, коромисло. Товщину деталей приймаємо довільною, оскільки це не впливає на точність результату.

Створюємо зборку рухомого затискного механізму. Для цього у пакеті САПР «КОМПАС-3D» спочатку налаштуємо зборку: «Панель інструментів» → «Ориентация» → «Изометрия XYZ». Далі на «Компактній панелі» додаємо першу складову затискного механізму «Стійка»: «Редагування збірки» → «Додати з файлу» → «Стійка». Починаємо побудову зборку з нерухокої деталі «Стійка», тому що вона автоматично позбавляється усіх ступенів вільності. З'явилась 3D модель, ставимо її в початок координат, це буде основа. Аналогічно додаємо наступну деталь «Кривошип». Розпочинаємо створювати рухомий механізм, обмежуючи вільність рухів деталей за допомогою панелі «Спряження». Створимо «Співвісність» стійки та кривошипа: «Компактна панель» → «Спряження» → «Співвісність», відмічаємо отвори, які повинні знаходитися на одній осі – отвір стійки і нижній отвір кривошипа. Щоб деталі щільно прилягали одна до одної потрібно застосувати послідовність операцій: «Спряження» → «Співпадання об'єктів» → відмічаємо лицьову сторону стійки і тилову сторону кривошипа. Можна спробувати привести в рух дані деталі: «Компактна панель» → «Редагування збірки» → «Пересунути компонент» або «Повернути компонент», обираючи ланку кривошипу. Можливо зробити висновок про рухомість початкової кінематичної пари: вона дозволяє обертовий рух кривошипа. Аналогічно приєднується «Шатун», але вже приєднуємо верхній отвір кривошипа та коромисло до верхнього отвору шатуна. Коромисло повинно здійснювати коливальні рухи на заданій висоті відносно початкової стійки. Для цього додаємо ще одну стійку на заданій висоті відносно початкової і позбавляємо її всіх ступенів вільності:

«Спряження» → «Паралельність» і вибираємо нижні грані стійок, «Спряження» → «На відстані» → обираємо ті ж грані і зазначаємо на «Панелі властивостей» відстань, на якій вони повинні знаходитися. Додаємо з'єднання в механізм: в надбудові «Менеджер бібліотек КОМПАС-3D» → «Машинобудування» → «Бібліотека кріпів для КОМПАС-3D», обираємо болти, гайки, шайби і з'єднуємо деталі затискного важільного механізму. Таким чином нами побудована зборка затискного важільного механізму, яка зображена на рисунку 3.

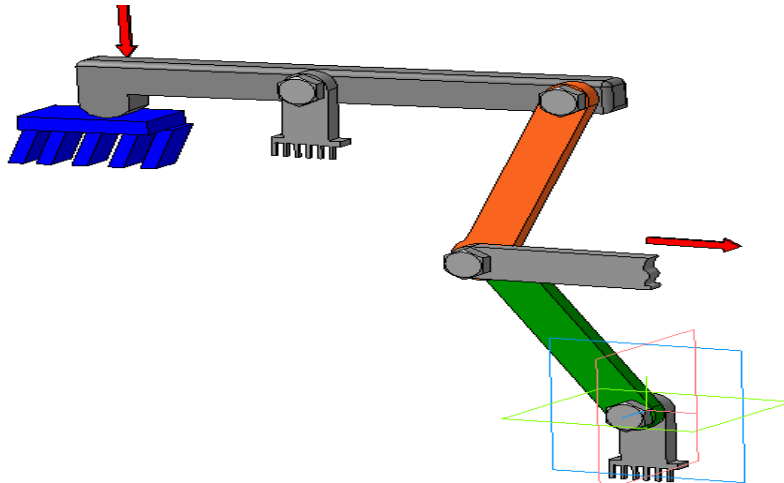


Рисунок 3 – Зборка затискного важільного механізму

Для визначення передаточного числа побудованого нами за реальними розмірами важільного механізму, необхідно спочатку отримати траєкторію руху вхідної ланки та вихідної, відповідно траєкторії руху лівої точки коромисла та верхнього кінця кривошипа. Траєкторія необхідна для визначення переміщення лівої габаритної точки коромисла та верхнього кінця кривошипа при обертанні кривошипа в напрямі годинникової стрілки, наприклад на 1° . Будуємо траєкторії руху, використовуючи «Бібліотеку анімації». В надбудові «Менеджер бібліотек КОМПАС-3D» → «Інші» → «Бібліотека анімації» → «Крок» → «Додати крок» → «Компоненти і змінні» → «Додати всі компоненти», серед компонентів обираємо «Кривошип» як ланку, для якої будемо задавати закон руху: «Параметри» → «Обертання» → «Обрати вісь обертання» → «В дереві зборки» і вибираємо вісь обертання, яка проходить через нижній отвір кривошипа і створена завчасно за допомогою панелі «Допоміжна геометрія». У вікні «Параметри» зазначаємо кут повороту кривошипа за перший «Крок» -1° → вибираємо вкладку «Траєкторія точки» → «Вершина» і відмічаємо габаритну точку коромисла та точку на верхньому кінці кривошипа → копіюємо «Крок №1» чотирнадцять разів → натискаємо на вкладку «Відтворення» → «Повне» і отримуємо траєкторії руху точок.

Відношення переміщення кривошипа до переміщення коромисла – це і є миттєве передаточне число механізму, чисельне значення якого визначається співвідношенням:

$$i = S_{кр.} / S_{кором.} \quad (3)$$

де $S_{кр.}$ – переміщення точки кривошипа, м;

$S_{кором.}$ – переміщення точки коромисла, м.

Щоб визначити миттєве передаточне число в потрібному діапазоні, який передусе моменту затискання, та побудувати графік передаточного числа механізму, необхідні величини переміщення точки коромисла $S_{кором.}$, і верхнього кінця кривошипа $S_{кр.}$ на кожному «Крокові» обертання кривошипа – на кожній ділянці траєкторії пересування. Для цього від координат початкового положення, які можна дізнатися шляхом: «Дерево

збірки» → «Криві і точки» → «Редагувати» потрібно відняти координати кінцевого положень коромисла на даному «Крокові». Вказану дію повторюємо і для наступних ділянок траєкторії. Дугу, по якій рухається точка коромисла та точка кривошипа, заміняємо хордою, що сполучає початкове і кінцеве положення при повороті на 1° . Довжину хорди знаходимо за формулою довжини вектора:

$$s = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}, \quad (4)$$

де s – величина переміщення при на даній ділянці траєкторії, м;
 x_0, y_0 – координати початкового положення точки коромисла або кривошипа, м;
 x_1, y_1 – координати кінцевого положення точки коромисла або кривошипа, м.

Таким чином, отримуємо значення величин переміщення кривошипа $S_{кором.}$ та коромисла $S_{кр.}$ через кожний градус. Визначаємо миттєве передаточне число i для кожного «Кроку» – через 1° і будуємо графічну залежність миттєвого передаточного числа від кута повороту при підході кривошипа до точки затискання. Графік будуємо у програмі «PortableCurveExpert», вводячи значення миттєвого передаточного числа та кута повороту кривошипа у дві колонки, який наведений на рисунку 4. Нами обране саме вказане програмне забезпечення через «дружній» і доступний інтерфейс з можливістю наступної апроксимації в найбільш доцільну функцію серед запропонованих програмою.

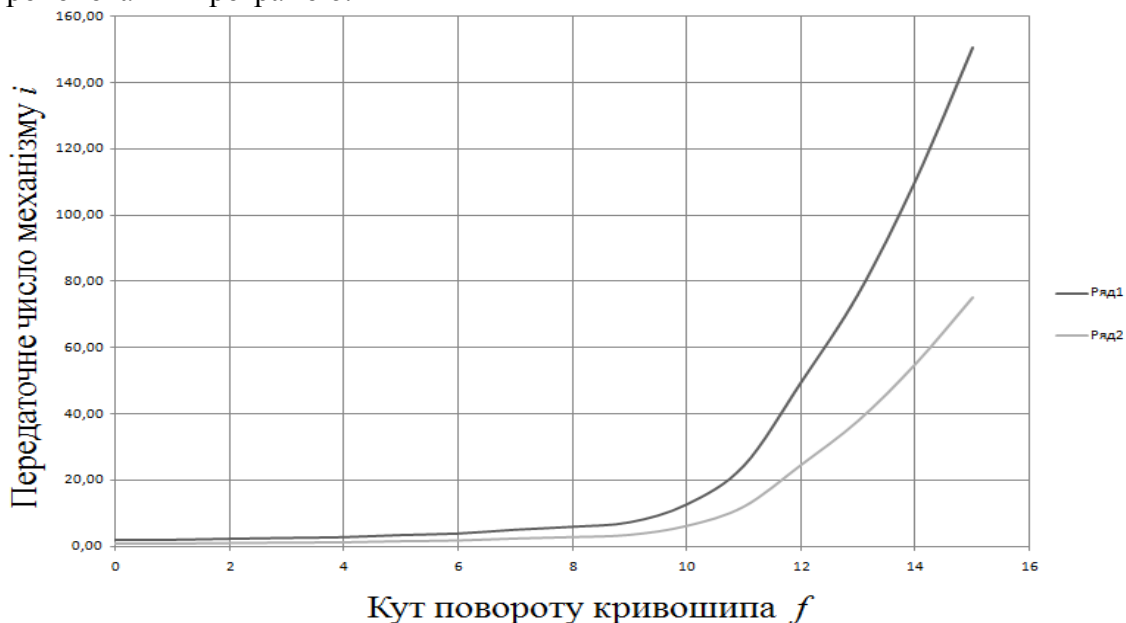


Рисунок 4 – Графік залежності передаточного числа i від кута повороту кривошипа f . Ряд 1 відповідає довжині кривошипу 100 мм, ряд 2 – 50 мм.

Наведений графік на рисунку 4 дозволяє визначити миттєве передаточне число затискного механізму без використання аналітичних залежностей. Крім того, шляхом зміни за допомогою інтерактивного моделювання геометричних розмірів ланок, з'являється можливість аналізу зміни передаточного числа в залежності від зміни і розташування розмірів складових ланок затискного механізму. Наприклад, довжина ланки кривошипа $l_{кр}=100$ мм – крива зміни передаточного числа зростає швидше і має більші значення величини передаточного числа («Ряд 1») порівняно з кривою передаточного числа, яка відповідає довжині ланки кривошипу $l_{кр}=50$ мм («Ряд 2»). Змінюючи геометричні розміри та розташування у просторі інших ланок, можливо підібрати найбільш вигідне значення передаточного числа для задоволення необхідних технологічних умов.

Значне зацікавлення викликає аналіз чисельних значень інших кінематичних характеристик точки затискання, а саме швидкості v і прискорення a . Виходячи з технологічних вимог для вказаного затискного механізму необхідно, щоб коромисло рухалося до точки затискання з якомога більшою швидкістю для зменшення допоміжного масу на затискання, а проходило цю точку з мінімальною швидкістю, для зменшення імовірності появи похибки затискання. Аналіз характеру зміни швидкості точки коромисла можливо провести за графічною залежністю зміни швидкості коромисла від кута повороту кривошипа шляхом математичного диференціювання функціональної залежності шляху переміщення коромисла від кута повороту кривошипа. Для цього необхідно за допомогою програми «PortableCurveExpert» отримати залежності переміщення точки коромисла від кута повороту кривошипа. Процес побудови графіка переміщення точки коромисла аналогічний побудові графічної залежності миттєвого передаточного числа від кута повороту при підході кривошипа до точки затискання, з однією відмінністю: від координат початкового положення потрібно послідовно віднімати координати кінцевих положень коромисла через кожний 1° :

Програма «PortableCurveExpert» дозволяє натисканням кнопки «RunCurveFinder», яка розташована на панелі керування, отримати групу функцій, які максимально наближено відповідають графіку переміщення коромисла. Використовуючи апарат математичного диференціювання, виходячи із співвідношення $ds/dt=v$, переносимо попередньо отриману функцію переміщення точки коромисла у програму «Mathcad» та диференціюємо її за часом і отримуємо графік зміни швидкості точки коромисла, який наведений на рисунку 1.5. Аналізуючи одержану графічну залежність можливо зробити висновок про те, чи відповідає характер зміни швидкості вище наведеній умові технологічності: швидкість точки коромисла поступово зменшується і в точці затискання, що відповідає $f=15^\circ$, має найменше значення. Отже, технологічна вимога зменшення швидкості задовольняється. Змінюючи запараметризовані геометричні розміри деталей затискного механізму: кривошипу, шатуна, коромисла, можливо одержати оптимальний закон зміни швидкості точки коромисла з необхідним значення її в точці затискання, яке визначається технологічними умовами.

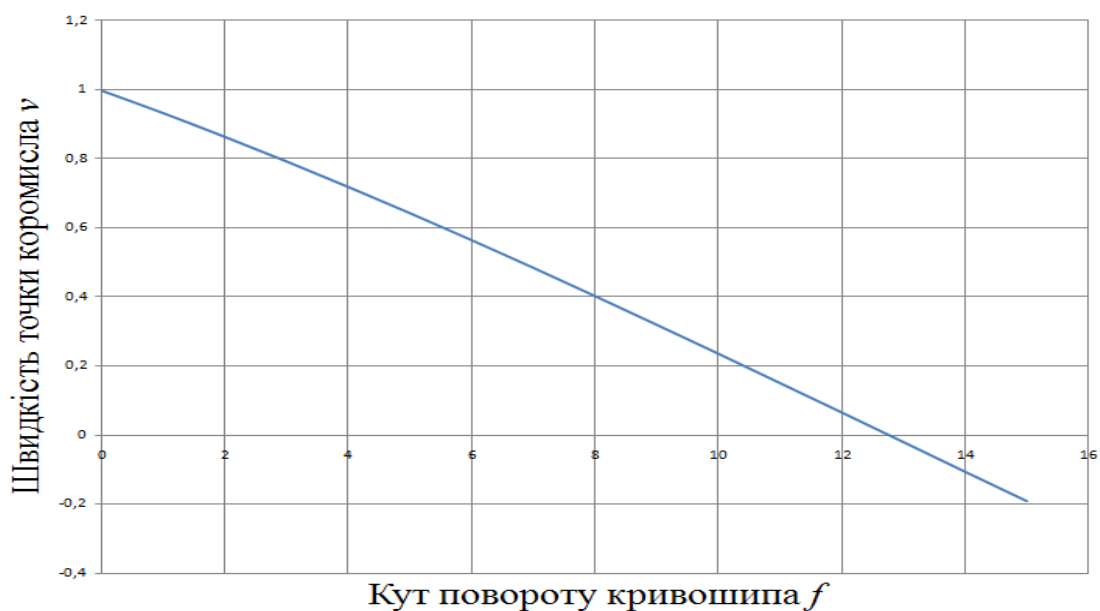


Рисунок 5 – Графік залежності швидкості точки коромисла v від кута повороту кривошипа f

Не менш важливою кінематичною характеристикою є прискорення. Воно виникає за наявності зміни швидкості ланки за величиною або за напрямком і є причиною появи сил інерції. Динамічні сили негативно впливають на роботу механізмів, спричиняють поштовхи і удари, можуть призводити до руйнування. Тому, при проектуванні механізмів одним із завдань є зменшення динамічних зусиль, які діють на ланки, шляхом контроль зменшення сплесків прискорень, оскільки останні визначають величину динамічних зусиль:

$$F_i = m \cdot a_i, \quad (5)$$

де F_i – сила інерції i -тої ланки, Н;
 a_i – прискорення i -тої ланки, м/с².

$$M_i = j \cdot \varepsilon_i, \quad (6)$$

де M_i – момент пари сил інерції i -тої ланки, Н·м;
 j – осьовий момент інерції, кг·м²;
 ε_i – кутове прискорення ланки, рад/с².

Виходячи з технологічних умов необхідно, щоб прискорення точки коромисла мало якомога менше значення в точці затискання. Графік зміни прискорення точки коромисла отримуємо з графічної залежності швидкості. Використовуючи апарат математичного диференціювання та виходячи із співвідношення $dv/dt=a$, отриману в результаті першого диференціювання функцію повторно диференціюємо за часом у програмі «Mathcad» і отримуємо графік прискорення точки коромисла:

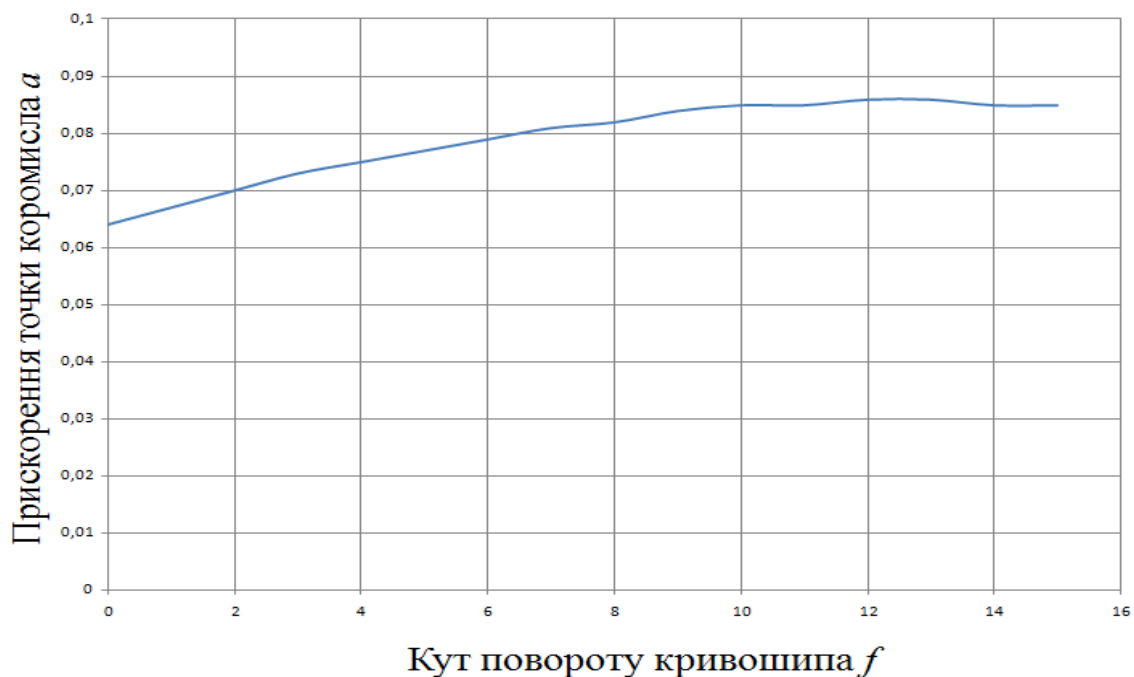


Рисунок 6 – Графік залежності зміни прискорення точки коромисла a від кута повороту кривошипа f

Отриманий графік залежності прискорення точки коромисла v від кута повороту кривошипа f , показує, що прискорення точки коромисла поступово збільшується з наближення до точки затискання ($f=15^\circ$). Але це є цілком зрозуміло, адже при наближенні до точці затискання відбувається зміна швидкості коромисла, що відповідно, викликає зміну значення прискорення. Змінюючи, за допомогою інтерактивного моделювання, геометричні розміри деталей, з'являється можливість

забезпечити якомога менше значення прискорення в точці затискання, щоб механізм затискання працював стабільно, без ударів та поштовхів, які можуть прискорювати його вихід з ладу.

Висновки

За допомогою системи моделювання САПР «КОМПАС-3D» та допоміжних математичних програм: «PortableCurveExpert» та «Mathcad 14» можливо здійснювати аналіз найрізноманітніших механізмів та проводити дослідження їх кінематичних характеристик в реальному часі та з достатньою точністю. Але найбільш вагоме значення у цьому методі дослідження має те, що за допомогою інтерактивного моделювання можливо шляхом зміни геометричних розмірів і взаємного розташування деталей механізмів можливо впливати на кінцевий результат для найкращого задоволення технологічних вимог.

Література

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие. В 7 томах. - М.: «Наука», 1979.
2. Технологічна оснастка. Навчальний посібник / Дичковський М.Г. – Херсон Олді – Плюс, 2008 – 328 с.
3. Кореняко А. С. Теория механизмов и машин: учебник / А. С. Кореняко. – К. : Вища шк., 1976. – 438 с.
4. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Арто-болевский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
5. Теория механизмов и машин / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов, Д. М. Лукичев, Н. А. Скворцова и др.; Под ред. К. В. Фролова. – М.: высш. шк., 1987. – 496 с.
6. Веселовська Г. В. Комп'ютерна графіка: Навчальний посібник для вузів. — Херсон: ОЛДІ-плюс, 2004. — 582 с.

Надійшло до редакції 29.03.2012

© Б.О. Коробко, А.В. Васильєв, С.В. Головка

Б.О. Коробко, к.т.н., доц., А.В. Васильєв, к.т.н., доц. С.В.Головка, студент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОДВИЖНЫХ ЗАЖИМНЫХ МЕХАНИЗМОВ ОПИРАЯСЬ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ СХЕМУ В САПР «КОМПАС-3D»

Рассмотрена возможность создания действующих 3D моделей зажимных механизмов реальных размеров с возможностью анализа кинематических характеристик зажимного звена путем изменения линейных размеров и относительного расположения составляющих звеньев в интерактивном режиме в соответствии с технологическим назначением.

Ключевые слова: 3D моделирование механизмов, кинематические характеристики механизмов, зажимные механизмы, интерактивный режим моделирования.

B.O. Korobko, Candidate of Science, associate professor; A.V. Vasilyev, Candidate of Science, associate professor; S.V. Holovko, student

Poltava National Technical Yurii Kondratiuk University

**CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF REMOVABLE CLAMPING MECHANISMS,
BASED ON THE KINEMATIC SCHEME IN CAD «COMPAS-3D»**

The article deals with the possibility of creating working 3D models of real size clamping mechanisms with the ability to analyze kinematic characteristics of the clamp link by changing linear dimensions and relative location of segments in interactive mode in accordance with technological purposes.

Key Words: *3D modeling of mechanisms, kinematic characteristics of mechanisms, clamping mechanisms, interactive mode of simulation.*