

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАТРОНИКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Математичні і алгоритмічні компоненти програмного комплексу
для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітня програма Комп'ютерні науки

Виконав: студент групи МГІТ-21

Ценілов Олег Олександрович

Науковий керівник к.т.н., доц. Мельник Г.В.

Рецензент _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапу кваліфікаційної роботи | Орієнтовний термін виконання | Примітка про виконання |
|-------|---|------------------------------|------------------------|
| 1 | Вступ | 15.09.2023 | |
| 2 | Розділ 1. Постановка задачі | 20.09.2023 | |
| 3 | Розділ 2 Проектування | 30.09.2023 | |
| 4 | Розділ 3. Програмна реалізація | 10.10.2023 | |
| 5 | Висновки | 25.10.2023 | |
| 6 | Оформлення (чистовий варіант) | 1.11.2023 | |
| 7 | Подача кваліфікаційної роботи науковому керівнику для відгуку (за 14 днів до захисту) | 4.11.2023 | |
| 8 | Подача кваліфікаційної роботи для рецензування (за 12 днів до захисту) | 6.11.2023 | |
| 9 | Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту) | 8.11.2023 | |
| 10 | Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачу кафедри (з 7 днів до захисту) | 10.11.2023 | |

З завданням ознайомлений:

Студент _____ Олег ЦЕНІЛОВ

Науковий керівник _____ Геннадій МЕЛЬНИК

АНОТАЦІЯ

Ценілов О. О. Математичні і алгоритмічні компоненти програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток. – Рукопис.

Кваліфікаційна магістерська робота за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки». – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

Кваліфікаційну магістерську роботу присвячено побудові інформаційної моделі рушія основних ниток на базі чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу. Інформаційна модель включає в себе математичні і алгоритмічні компоненти програмного комплексу для розрахунку кінематичних та динамічних параметрів рушія основних ниток та удосконаленню його геометричних та інерційних характеристик.

В кваліфікаційній магістерській роботі запропоновано основні напрями удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл.

Результати кваліфікаційної магістерської роботи можна використовувати для підвищення продуктивності роботи автоматичних виробничих комплексів, зменшення технологічних зусиль при зміні форми основних ниток та енерговитрат, оптимізації тиску в кінематичних парах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу, покращення якості тканин, що випускаються за рахунок зменшення кількості обривів основних ниток, відносного натягу основи по зонам заправки автоматичного виробничого комплексу, розробки раціональної геометричної схеми пружної системи заправки основних ниток.

Ключові слова: інформаційна модель рушія, автоматичний виробничий комплекс, траєкторія робочої точки рушія, геометрична форма основних ниток.

ABSTRACT

Tsenilov O. O. Mathematical and algorithmic components of the software complex for building an information model of the driver of the main threads. - Manuscript.

Qualifying master's thesis in specialty 122 - "Computer science". - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

The qualifying master's thesis is devoted to the construction of an information model of the main thread driver based on a four-link device with three oscillating elements of an automatic production complex. The information model includes mathematical and algorithmic components of the software complex for calculating the kinematic and dynamic parameters of the main thread driver and improving its geometric and inertial characteristics.

In the master's qualification thesis, the main directions of improvement of the four-link device of the main thread driver with three oscillating elements of the automatic production complex are proposed on the basis of the development of mathematical, algorithmic and software components for calculating the kinematic parameters of the working point of the driver and dynamic reactions in the joints of the four-link device, taking into account the length of the filling line of the main threads, the position of the driver device, the amount of vertical movement of the working point of the driver, the kinematic parameters of the input link, the value of the tension of the main threads, the function of the movement of the fabric forming zone in one cycle.

The results of the qualifying master's thesis can be used to increase the productivity of automatic production complexes, reduce technological efforts when changing the shape of the main threads and energy consumption, optimize the pressure in the kinematic pairs of a four-link device with three oscillating elements of an automatic production complex, improve the quality of fabrics produced due to a reduction the number of main thread breaks, the relative tension of the warp in the filling zones of the automatic production complex, the development of a rational geometric scheme of the elastic main thread filling system.

Keywords: information model of the driver, automatic production complex, trajectory of the working point of the driver, geometric form of the main threads.

Зміст

| | |
|---|-----|
| Вступ | 7. |
| Розділ 1 Математичне забезпечення | 10. |
| 1.1. Математичні компоненти програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток | 10. |
| Висновки по 1 розділу | 22. |
| Розділ 2 Алгоритмічне забезпечення | 24. |
| 2.1. Алгоритмічні компоненти програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток | 24. |
| Висновки по 2 розділу | 42. |
| Розділ 3 Програмне забезпечення | 44. |
| 3.1. Програмний комплекс для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток | 44. |
| Висновки по 3 розділу | 56. |
| Висновки | 58. |
| Список використаних джерел | 60. |
| Додаток | 69. |

ВСТУП

Актуальність теми. Текстильна промисловість охоплює виробництво бавовняних, вовняних, лляних та шовкових тканин, що виготовляють тканини, нитки, пряжу. Процес ткання на ткацькому верстаті складається з циклічно пов'язаних між собою основних ткацьких операцій. На практиці можливе максимальне обмеження асортименту вироблюваних на підприємстві тканин або максимальне розширення асортименту. Текстильна промисловість займає провідні позиції за вартістю виробленої продукції у складі легкої промисловості. Ремізопідіймальні каретки найбільш ефективні при частій зміні асортименту вироблюваних тканин, тому що вони забезпечують швидку зміну переплетення з необмеженим рапортом по утку. Використання електроніки при створенні зівоутворювальних механізмів суттєво розширило можливість ремізопідіймальних кареток. При цьому використання універсального ткацького верстата, здатного виробляти тканини різноманітного асортименту, може привести до зростання втрат виробництва. Висока продуктивність і низькі витрати на процес ткацтва тісно пов'язані між собою.

Перспективною основою процесу отримання математичних і алгоритмічних компонентів програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток є створення та впровадження в практику об'єктно орієнтованих систем автоматизованого проектування, загальними цілями яких є підвищення продуктивності роботи автоматичних виробничих комплексів, зменшення технологічних зусиль при зміні форми основних ниток та енерговитрат, оптимізації тиску в кінематичних парах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу.

Мета дослідження – Отримання інформаційної моделі рушія основних ниток.

Завдання дослідження. Розробити напрями удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними

елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою.

Об'єкт дослідження. Технологічні процеси фронтального формування тканин.

Предмет дослідження. Рушій основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу.

Методи дослідження. Теоретичною основою вирішення проблеми по отриманню математичних і алгоритмічних компонентів програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток є праці провідних вчених в галузях математичного моделювання, теорії алгоритмів, питань пов'язаних з розробкою програмного забезпечення. При отриманні математичних і алгоритмічних компонентів програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток використовувалися методи математичного аналізу, аналітичної геометрії, чисельного розв'язання трансцендентних рівнянь.

Практична цінність – Запропоновано основні напрями удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл для реалізації мети кваліфікаційної магістерської роботи за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки.

Елементи наукової новизни. Мають узагальнюючий характер і містять власні висновки та рекомендації по підвищенню продуктивності

роботи автоматичних виробничих комплексів, зменшення технологічних зусиль при зміні форми основних ниток та енерговитрат, оптимізації тиску в кінематичних парах чотирьох ланкового пристрою автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та прикладних програмних компонентів інформаційної моделі рушія основних ниток.

Практична значущість роботи. Результати кваліфікаційної магістерської роботи можна використовувати для підвищення продуктивності роботи автоматичних виробничих комплексів, зменшення технологічних зусиль при зміні форми основних ниток та енерговитрат, оптимізації тиску в кінематичних парах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу, покращення якості тканин, що випускаються за рахунок зменшення кількості обривів основних ниток, відносного натягу основи по зонам заправки автоматичного виробничого комплексу, розробки раціональної геометричної схеми пружної системи заправки основних ниток. Розроблений пакет прикладного програмного забезпечення може використовуватися у відповідних проектно-конструкторських організаціях, які займаються розробкою моделей рушія основних ниток.

Апробація результатів роботи. За результатами кваліфікаційної магістерської роботи отримана 1 публікація в спеціалізованому виданні.

Розділ 1. Математичне забезпечення.

1.1. Математичні компоненти програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток.

Математичні компоненти програмного комплексу рушія основних ниток включають векторні, алгебраїчні та диференціальні рівняння для визначення координат, швидкостей, прискорень, реакцій в'язей точок рушія основних ниток, який представляє собою чотирьох ланковий пристрій з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу. Існують чотири методи кінематичного дослідження рушія основних ниток: графічний, графоаналітичний, аналітичний і експериментальний. Графічні і графоаналітичні методи дають змогу розв'язувати майже всі основні задачі кінематичного дослідження. Для більшості практичних задач точність цих методів достатня, вони значно спрощують розрахунки, економлять час, сприяють зменшенню помилок у результатах завдяки наочності досліджень. На рис.1а представлена структурна схема рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу. На рис.1б представлені графічні залежності координат точок та шарнірів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, як функції кута обертання вхідного елемента.

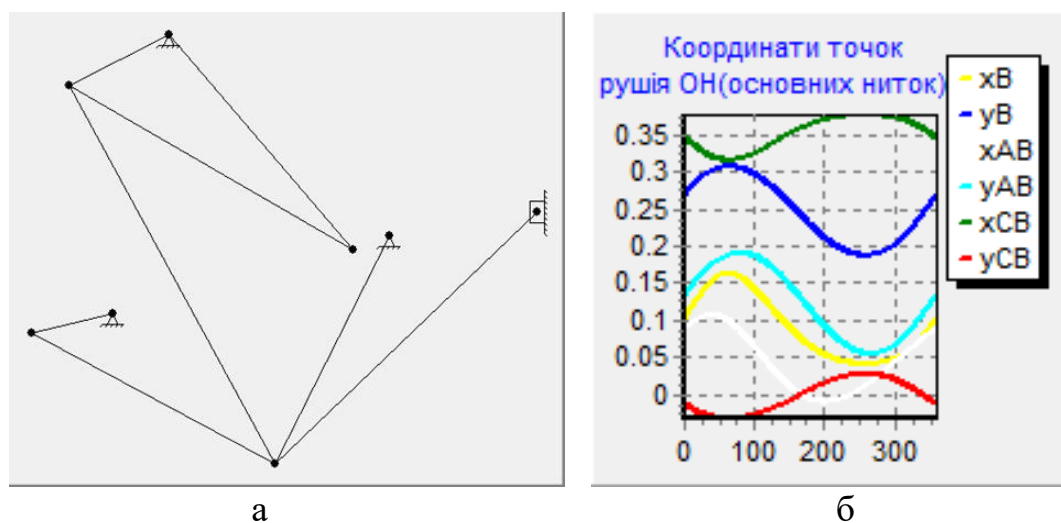


Рис.1

Система алгебраїчних рівнянь (1) для визначення переміщень точок

чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами має вигляд

$$\begin{aligned} \vec{l}_{1i} + \vec{l}_{2i} + \vec{l}_{3i} + \vec{l}_{4i} &= 0, \\ x_{Ai} + l_{2i} \cos \varphi_{2i} + l_{3i} \cos \varphi_{3i} + l_{4i} \cos \varphi_{4i} &= 0, \\ y_{Ai} + l_{2i} \sin \varphi_{2i} + l_{3i} \sin \varphi_{3i} + l_{4i} \sin \varphi_{4i} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Дуже часто аналітичний метод має не тільки суттєву перевагу над першими, але й є єдиним. Це насамперед стосується широкого класу задач, коли ланки механізму повинні забезпечити рух за певним, наперед заданим законом. Особливо широкого поширення набув останнім часом аналітичний метод, коли з'явилися сучасні ЕОМ, які дають можливість здійснювати багатоваріантні дослідження механізмів і тим самим вибирати такі схеми механізмів і розміри їх ланок, що забезпечують найкращі умови роботи, тобто є можливість здійснити оптимальний синтез механізмів. Результати розрахунку координат рушія основних ниток С1: 0,0780; 0,0780; 0,0780; 0,0779; 0,0778; 0,0777; 0,0776; 0,0774; 0,0772; 0,0770; 0,0768; 0,0766; 0,0763; 0,0760; 0,0757; 0,0753; 0,0750; 0,0746; 0,0742; 0,0738; 0,0733; 0,0728; 0,0723; 0,0718; 0,0713; 0,0707; 0,0701; 0,0695; 0,0689; 0,0682; 0,0675; 0,0669; 0,0661; 0,0654; 0,0647; 0,0639; 0,0631; 0,0623; 0,0615; 0,0606; 0,0598; 0,0589; 0,0580; 0,0570; 0,0561; 0,0552; 0,0542; 0,0532; 0,0522; 0,0512; 0,0501; 0,0491; 0,0480; 0,0469; 0,0458; 0,0447; 0,0436; 0,0425; 0,0413; 0,0402; 0,0390.

На рис.2 представлені графічні залежності кутів обертання ланок чотирьох ланкового пристрою від положення вхідного елемента. В залежності від цілей кінематичного аналізу визначають положення ланок, їх переміщення, траєкторії руху окремих (характерних) точок, лінійні і кутові швидкості та прискорення. До характерних точок ланок відносяться центри кінематичних пар і центри мас ланок. При кінематичному аналізі припускають, що закон руху вхідної ланки є рівномірним.

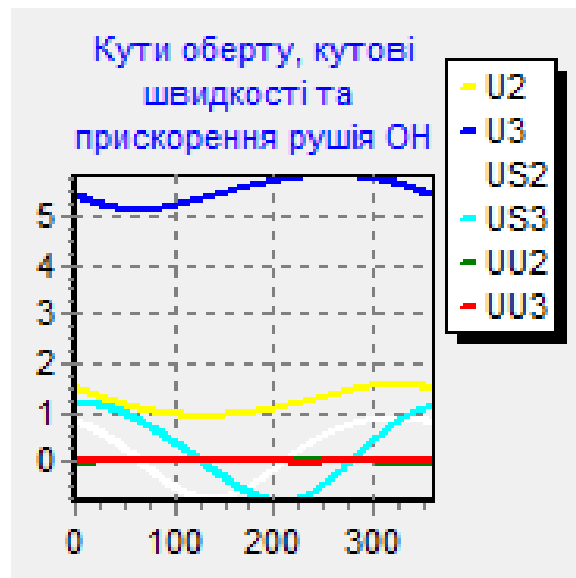


Рис.2

Формулювання аналітичних співвідношень завжди вважалось досить суттєвим при вирішенні будь якої задачі. Аналітичні методи привернули свою увагу теоретиків теорії механізмів і машин, що привело до розробки метода замкнутих контурів. Суть цього методу полягає у складанні замкнутого векторного рівняння і його подальшому перетворенню. Ланки механізму в цілому замінюються на вектори, які являють собою замкнутий контур. Цим визначається положення ланок та точок механізму для заданого часу. Результати розрахунку параметрів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами рушія основних ниток Сб:

0,2688;
0,2701; 0,2713; 0,2725; 0,2737; 0,2748; 0,2760; 0,2771; 0,2782;
0,2794; 0,2804; 0,2815; 0,2826; 0,2836; 0,2846; 0,2856; 0,2866;
0,2875; 0,2885; 0,2894; 0,2902; 0,2911; 0,2919; 0,2928; 0,2935;
0,2943; 0,2951; 0,2958; 0,2965; 0,2971; 0,2978; 0,2984; 0,2990;
0,2996; 0,3001; 0,3007; 0,3012; 0,3017; 0,3021; 0,3026; 0,3030;
0,3034; 0,3038; 0,3041; 0,3045; 0,3048; 0,3051; 0,3053; 0,3056;
0,3058; 0,3060; 0,3062; 0,3064; 0,3066; 0,3067; 0,3068; 0,3070;
0,3070; 0,3071; 0,3072; 0,3072.

Система алгебраїчних рівнянь для визначення кутів обертання ланок чотирьох ланкового пристрою, як функцій положення вхідного елемента має вигляд

$$\begin{aligned}
 l_4 - l_1 \cos \varphi_1 &= q, \quad l_2 \cos \varphi_2 = q - l_3 \cos \varphi_3, \\
 l_1 \sin \varphi_1 &= u, \quad l_2 \sin \varphi_2 = -u - l_3 \sin \varphi_3. \\
 \frac{l_2^2 + q^2 + u^2 + l_3^2}{2ql_3} &= a, \quad \frac{u}{q} = \operatorname{tg} \nu \quad \varphi_3 = \arccos(a \cos \nu) - \nu, \\
 l_3^2 &= (q - l_2 \cos \varphi_2)^2 + (l_2 \sin \varphi_2 + u)^2 = q^2 - 2ql_2 \cos \varphi_2 + l_2^2 + 2l_2 u \sin \varphi_2 + u^2, \\
 \cos \varphi_2 - \frac{u}{q} \sin \varphi_2 &= \frac{q^2 + u^2 - l_3^2 + l_2^2}{2ql_2} \quad c = \frac{q^2 + u^2 - l_3^2 + l_2^2}{2ql_2}, \operatorname{tg} \nu = \frac{u}{q}, \quad \varphi_2 = \arccos(c \cos \nu) - \nu. \\
 l_3^* &= l_3 \sin \varphi_3 \quad l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 - l_4 = 0, \\
 & \quad l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + l_3^* = 0. \\
 \varphi_2 &= \arcsin \left[-\frac{(l_3^* + l_1 \sin \varphi_1)}{l_2} \right]
 \end{aligned}$$

де \vec{l}_1 - вектор, що представляє вхідний елемент;

\vec{l}_2 - вектор, що представляє шатун рушія основних ниток;

\vec{l}_3 - вектор, що представляє коромисло рушія основних ниток;

\vec{l}_4 - вектор, що представляє відстань між опорами рушія;

l_1, l_2, l_3, l_4 - довжини відповідних ланок рушія основних ниток;

φ_1 - кут між вхідним елементом і віссю x ;

φ_2 - кут між шатуном рушія і віссю x ;

φ_3 - кут між коромислом рушія і віссю x ;

φ_4 - кут між лінією з'єднання нерухомих опор і віссю x .

Результати поточних розрахунків параметрів рушія основних ниток, який представляє собою чотирьох ланковий пристрій з трьома коливальними

елементами автоматичного виробничого комплексу С14: -0,0132; 0,0310;
 0,0759; 0,1216; 0,1679; 0,2148; 0,2622; 0,3101; 0,3584; 0,4071;
 0,4561; 0,5053; 0,5547; 0,6041; 0,6536; 0,7030; 0,7523; 0,8014;
 0,8502; 0,8988; 0,9469; 0,9946; 1,0417; 1,0883; 1,1342; 1,1795;
 1,2240; 1,2676; 1,3105; 1,3524; 1,3934; 1,4334; 1,4724; 1,5103;
 1,5472; 1,5830; 1,6177; 1,6512; 1,6836; 1,7148; 1,7449; 1,7738;

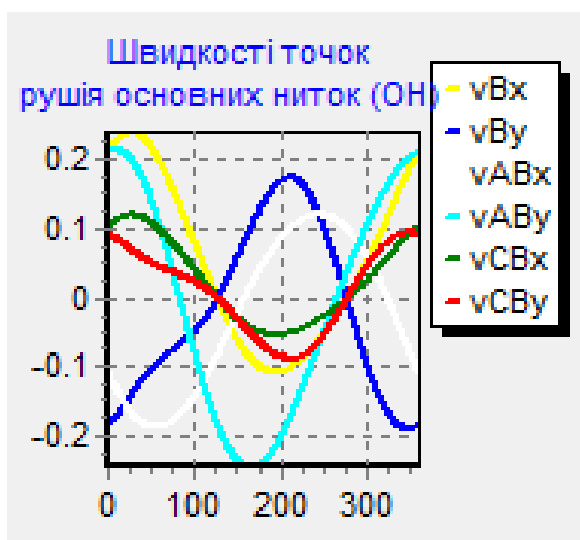
1,8015; 1,8280; 1,8534; 1,8776; 1,9006; 1,9225; 1,9433; 1,9629;
 1,9814; 1,9989; 2,0153; 2,0306; 2,0449; 2,0582; 2,0706; 2,0819;
 2,0924; 2,1019; 2,1105.

Наступним етапом розробки математичного забезпечення є визначення лінійних та кутових швидкостей елементів рушія основних ниток. Для визначення кутових та лінійних швидкостей рушія основних ниток була отримана змішана система алгебраїчних та диференціальних рівнянь (2).

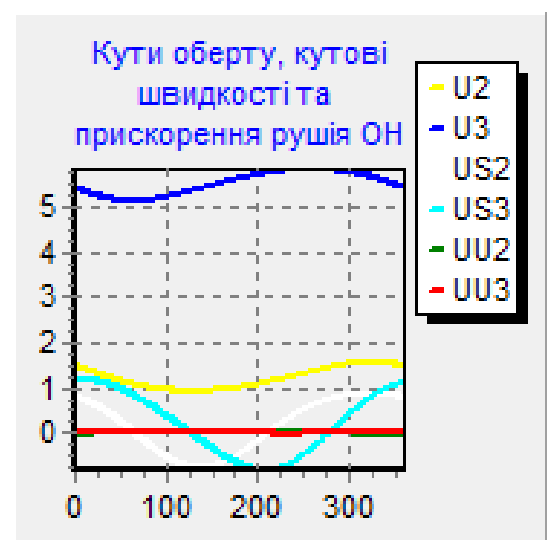
$$\begin{aligned}
 -l_2 \sin \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{dt} &= l_1 \sin \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + l_3 \sin \varphi_3 \frac{d\varphi_3}{dt}, \\
 l_2 \cos \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{dt} &= -l_1 \cos \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{dt} - l_3 \cos \varphi_3 \frac{d\varphi_3}{dt}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1, \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2, \frac{d\varphi_3}{dt} = \omega_3$$

На рис.3 представлені графічні залежності лінійних (рис.3а) та кутових швидкостей (рис.3б) елементів рушія основних ниток, як функції кута обертання вхідного елемента. Векторним рівнянням замкненості називається векторна сума векторів одного замкненого контуру. Залежно від збігу або протилежності напрямків векторів обходу контуру, вони входять в рівняння зі знаком «+» чи «-». Коли у ланцюгу механізму декілька контурів, збільшується кількість рівнянь замкненості. З усієї сукупності цих рівнянь треба вибрати найбільшу сукупність незалежних, а решту відкинути.



а



б

Рис.3

Результати розрахунку кінематичних параметрів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами рушія основних ниток С18: - 0,1830; -0,1820; -0,1809; -0,1797; -0,1785; -0,1772; -0,1758; -0,1744; - 0,1730; -0,1715; -0,1700; -0,1684; -0,1667; -0,1651; -0,1634; -0,1617; - 0,1599; -0,1581; -0,1563; -0,1545; -0,1527; -0,1508; -0,1489; -0,1471; - 0,1452; -0,1433; -0,1415; -0,1396; -0,1377; -0,1359; -0,1340; -0,1322; - 0,1304; -0,1286; -0,1268; -0,1250; -0,1233; -0,1216; -0,1199; -0,1182; - 0,1165; -0,1149; -0,1133; -0,1118; -0,1102; -0,1087; -0,1072; -0,1058; - 0,1044; -0,1030; -0,1016; -0,1003; -0,0989; -0,0977; -0,0964; -0,0952; - 0,0940; -0,0928; -0,0916; -0,0905; -0,0894.

Аналогічну систему алгебраїчних рівнянь для визначення залежних кутових прискорень ланок, як функцій від незалежних, одержують після подвійного диференціювання за часом проекцій рівнянь замкненості контурів. Напрямки векторів обирають таким чином, щоб вони вказували послідовність побудови схеми механізму. Спочатку розмічають його нерухомі точки, потім у вигляді вектора зображають початкову ланку. При цьому вектор виходить з нерухомої точки. Обходячи кожен векторний контур схеми у довільно взятому напрямку, складають рівняння замкненості, в котрих вектори, спрямовані проти напрямку обходу контуру. Статично визначена система алгебраїчних рівнянь для визначення кутових швидкостей та прискорення вхідного елемента, шатуна рушія основних ниток та коромисла рушія основних ниток має вигляд (3)

$$\begin{aligned}
 -l_2 \sin \varphi_2 \omega_2 &= l_1 \sin \varphi_1 \omega_1 + l_3 \sin \varphi_3 \omega_3, & \omega_2 &= \omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}, \\
 l_2 \cos \varphi_2 \omega_2 &= -l_1 \cos \varphi_1 \omega_1 - l_3 \cos \varphi_3 \omega_3, & \omega_3 &= \omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}. \\
 -l_2 \omega_2^2 \cos \varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \sin \varphi_2 &= l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 + l_3 \omega_3^2 \cos \varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \sin \varphi_3, \\
 l_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \cos \varphi_2 &= -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 - l_3 \omega_3^2 \sin \varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \cos \varphi_3.
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
& -l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 = l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 + l_3\omega_3^2 \cos\varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \sin\varphi_3, \\
& l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \cos\varphi_2 = -l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 - l_3\omega_3^2 \sin\varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \cos\varphi_3. \\
& \varepsilon_2 = \frac{l_1\omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_3\omega_3^2 + l_2\omega_2^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}, \quad \frac{d\omega_2}{dt} = \varepsilon_2, \quad \frac{d\omega_3}{dt} = \varepsilon_3, \\
& \varepsilon_3 = \frac{l_1\omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_2\omega_2^2 + l_3\omega_3^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \\
& -l_1 \frac{d\varphi_1}{dt} \sin\varphi_1 - l_2 \frac{d\varphi_2}{dt} \sin\varphi_2 - \frac{dl_4}{dt} = 0, \quad \frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1, \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2, \quad \frac{dl_4}{dt} = \mathcal{G}_B \\
& l_1 \frac{d\varphi_1}{dt} \cos\varphi_1 + l_2 \frac{d\varphi_2}{dt} \cos\varphi_2 = 0. \\
& -l_1\omega_1 \sin\varphi_1 - l_2\omega_2 \sin\varphi_2 - \mathcal{G}_B = 0, \quad \omega_2 = -\frac{l_1\omega_1 \cos\varphi_1}{l_2 \cos\varphi_2} \\
& l_1\omega_1 \cos\varphi_1 + l_2\omega_2 \cos\varphi_2 = 0. \\
& \mathcal{G}_B = l_1\omega_1 \sin\varphi_1 + l_2\omega_2 \sin\varphi_2
\end{aligned}$$

де ω_1 - кутова швидкість вхідного елемента рушія основних ниток;

ω_2 - кутова швидкість обертання шатуна рушія основних ниток;

ω_3 - кутова швидкість обертання коромисла рушія основних ниток.

Результати поточних розрахунків параметрів рушія основних ниток С24:

0,0000; -0,0092; -0,0184; -0,0276; -0,0368; -0,0460; -0,0551; -0,0643; -
0,0734; -0,0825; -0,0916; -0,1006; -0,1096; -0,1186; -0,1276; -0,1365; -
0,1453; -0,1542; -0,1629; -0,1717; -0,1803; -0,1890; -0,1975; -0,2060; -
0,2145; -0,2228; -0,2311; -0,2394; -0,2475; -0,2556; -0,2636; -0,2716; -
0,2794; -0,2872; -0,2949; -0,3024; -0,3099; -0,3173; -0,3246; -0,3318; -
0,3389; -0,3459; -0,3528; -0,3596; -0,3663; -0,3728; -0,3793; -0,3856; -
0,3918; -0,3979; -0,4039; -0,4098; -0,4155; -0,4211; -0,4266; -0,4319; -
0,4371; -0,4422; -0,4472; -0,4520; -0,4566.

Системи рівнянь (1)-(3) є математичною основою для визначення лінійних та кутових прискорень точок елементів рушія основних ниток, зокрема вхідного елемента, шатуна рушія основних ниток та коромисла рушія основних ниток. Система (4) представляє собою статично визначеною систему диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned}
& -l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \sin\varphi_2 = l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 + l_3\omega_3^2 \cos\varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \sin\varphi_3, \\
& l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \cos\varphi_2 = -l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 - l_3\omega_3^2 \sin\varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \cos\varphi_3. \\
& -l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 = l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 + l_3\omega_3^2 \cos\varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \sin\varphi_3, \\
& l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \cos\varphi_2 = -l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 - l_3\omega_3^2 \sin\varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \cos\varphi_3. \\
& -l_1 \frac{\omega_1}{dt} \sin\varphi_1 - l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 - l_2 \frac{\omega_2}{dt} \sin\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - \frac{\mathcal{G}_B}{dt} = 0, \\
& l_1 \frac{\omega_1}{dt} \cos\varphi_1 + l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 + l_2 \frac{\omega_2}{dt} \cos\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 = 0. \\
& -l_1\varepsilon_1 \sin\varphi_1 - l_1w_1^2 \cos\varphi_1 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 - l_2w_2^2 \cos\varphi_2 - a_B = 0, \\
& l_1\varepsilon_1 \cos\varphi_1 + l_1w_1^2 \sin\varphi_1 + l_2 \frac{w_2}{dt} \cos\varphi_2 - l_2w_2^2 \sin\varphi_2 = 0. \\
& \varepsilon_2 = \frac{l_1w_1^2 \sin\varphi_1 + l_2w_2^2 \sin\varphi_2 - l_1\varepsilon_1 \cos\varphi_1}{l_2 \cos\varphi_2} \\
& a_B = -l_1\varepsilon_1 \sin\varphi_1 - l_1w_1^2 \cos\varphi_1 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 - l_2w_2^2 \cos\varphi_2.
\end{aligned} \tag{4}$$

де ε_2 - кутове прискорення шатуна рушія основних ниток;

ε_3 - кутове прискорення коромисла рушія основних ниток.

На рис.4 представлені графічні залежності кутових прискорень (рис.4а) та лінійних прискорень (рис.4б). Результати розрахунку поточних параметрів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами рушія основних ниток С1: 0,0378; 0,0366; 0,0354; 0,0342; 0,0330; 0,0317; 0,0305; 0,0292; 0,0280; 0,0267; 0,0254; 0,0241; 0,0228; 0,0215; 0,0202; 0,0189; 0,0175; 0,0162; 0,0149; 0,0135; 0,0122; 0,0109; 0,0095; 0,0082; 0,0068; 0,0054; 0,0041; 0,0027; 0,0014; 0,0000; - 0,0014; -0,0027; -0,0041; -0,0054; -0,0068; -0,0082; -0,0095; -0,0109; - 0,0122; -0,0135; -0,0149; -0,0162; -0,0175; -0,0189; -0,0202; -0,0215; - 0,0228; -0,0241; -0,0254; -0,0267; -0,0280; -0,0292; -0,0305; -0,0317; - 0,0330; -0,0342; -0,0354; -0,0366; -0,0378; -0,0390; -0,0402.

Наступним етапом побудови математичного забезпечення для розрахунку чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами виробничого комплексу, є динамічний аналіз для визначення

реакцій в шарнірах рушія основних ниток та визначення повних реакцій. Щоб система була визначною, кількість невідомих, які підлягають визначенню, не повинна перевищувати кількості рівнянь. Тому, перш ніж розв'язати задачу про знаходження тисків у кінематичних парах, потрібно з'ясувати, для яких ланцюгів виконується умова рівності між кількістю рівнянь статички (кінетостатички) і кількістю невідомих складових реакцій в кінематичних парах.

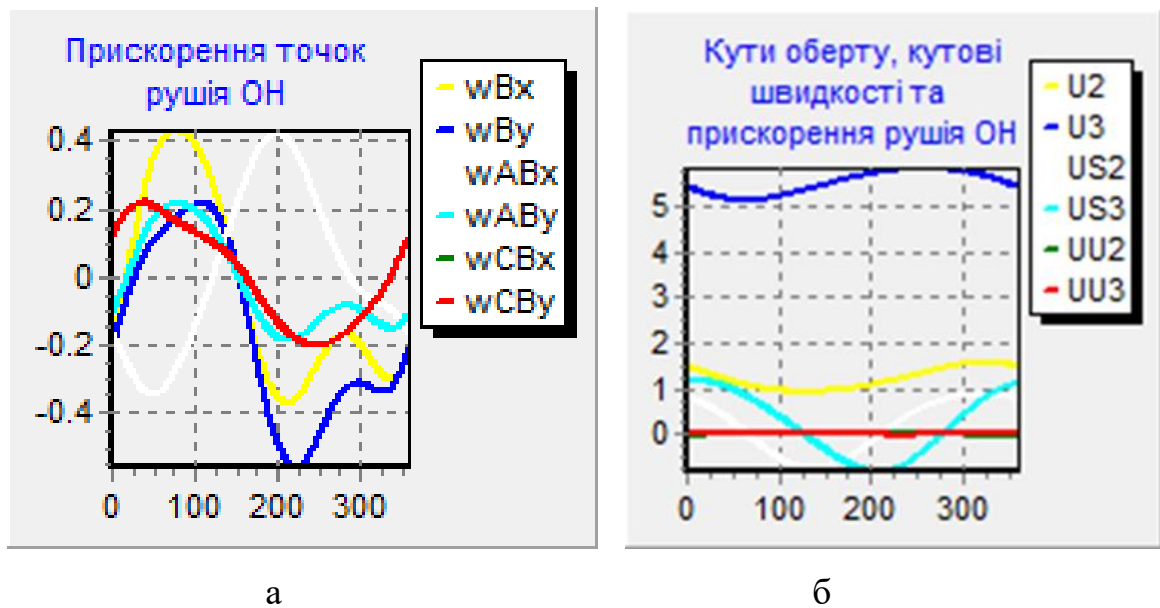


Рис.4

На рис.5 представлені розрахункові схеми для елементів пристрою рушія основних ниток. У випадку задач, у яких необхідно знайти силу урівноваження або момент урівноваження, а визначати реакції в кінематичних парах потреби немає, використовують теорему (метод) Жуковського. Прикладом таких задач: визначення потужності та типу двигуна, моменту інерції маховика, характеристики регулятора та інші задачі динаміки. Результати розрахунку поточних параметрів чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток С21:

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 0,0983; | 0,0971; | 0,0959; | 0,0947; |
| 0,0934; | 0,0922; | 0,0909; | 0,0896; |
| 0,0883; | 0,0869; | 0,0856; | 0,0842; |
| 0,0828; | 0,0814; | 0,0800; | 0,0786; |
| 0,0772; | 0,0757; | 0,0743; | 0,0728; |
| 0,0713; | 0,0699; | 0,0684; | 0,0668; |
| 0,0653; | 0,0638; | 0,0623; | 0,0607; |
| 0,0592; | 0,0576; | 0,0561; | 0,0545; |
| 0,0529; | 0,0514; | 0,0498; | 0,0482; |

0,0466; 0,0450; 0,0434; 0,0418; 0,0402; 0,0386; 0,0370; 0,0354;
 0,0338; 0,0322; 0,0306; 0,0290; 0,0275; 0,0259; 0,0243; 0,0227;
 0,0211; 0,0195; 0,0180; 0,0164; 0,0149; 0,0133; 0,0118; 0,0102;
 0,0087.

Відношення між силами, прикладеними до ланок механізму (включаючи і сили інерції), можна дістати, застосувавши теорему Жуковського про жорсткий важіль: якщо для механізму, що перебуває в русі, побудувати план швидкостей, а потім вектори усіх активних сил та сил інерції, які прикладені в різних точках механізму, повернути на 90° та перенести в однойменні точки плану швидкостей, то сума моментів цих сил відносно полюса буде дорівнювати нулю. Для вхідного елемента (рис.5а) та коромисла рушія основних ниток (рис.5б) показані сили та моменти, які діють на ці елементи при транспортуванні основних ниток

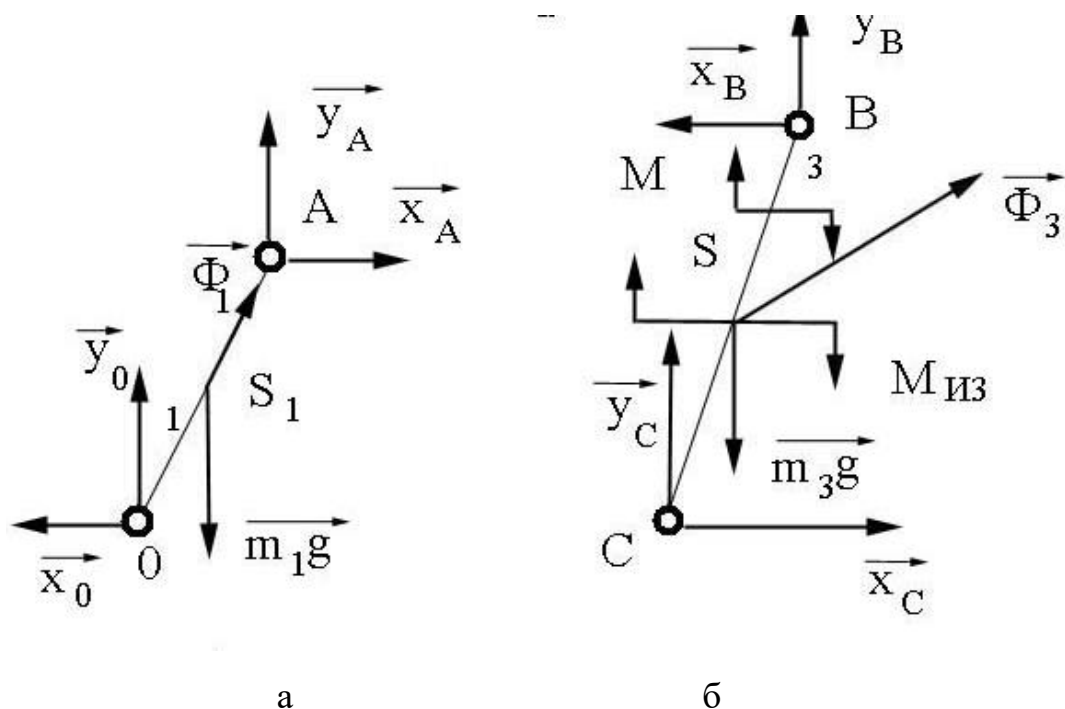


Рис.5

Складаємо систему рівнянь рівноваги для всього чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами виробничого комплексу, вважаючи його абсолютно твердим тілом

$$\sum_{i=1}^n y_i = y_0 - m_1 g + \hat{O}_{1Y} - m_2 g + \hat{O}_{2Y} - m_3 g + \hat{O}_{3Y} + y_C = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n m_0 (\bar{F}_i) = -m_1 g \cdot OS_1 \cos \varphi_1 + \hat{O}_{2Y} \cdot h_{S20Y} + \hat{O}_{2X} \cdot h_{S20X} - m_2 g \cdot h_{S20Y} - \quad (5)$$

$$- M + \hat{O}_{3Y} \cdot h_{S30Y} - \hat{O}_{3X} \cdot h_{S30X} - m_2 g \cdot h_{S30Y} + y_C \cdot OC + M_{H2} - M_{H3} = 0,$$

де φ_3 - кут між вхідним елементом та віссю x ;

M_{H2}, M_{H3} - інерційні моменти шатуна та коромисла рушія основних ниток.

Результати поточних розрахунків параметрів рушія основних ниток С12:

0,8687; 0,8582; 0,8476; 0,8369; 0,8260; 0,8151; 0,8040; 0,7928;
0,7815; 0,7701; 0,7586; 0,7470; 0,7353; 0,7235; 0,7116; 0,6996;
0,6875; 0,6754; 0,6631; 0,6507; 0,6383; 0,6258; 0,6132; 0,6005;
0,5877; 0,5749; 0,5619; 0,5489; 0,5359; 0,5227; 0,5095; 0,4962;
0,4829; 0,4694; 0,4559; 0,4424; 0,4287; 0,4151; 0,4013; 0,3875;
0,3736; 0,3597; 0,3457; 0,3317; 0,3176; 0,3034; 0,2892; 0,2750;
0,2607; 0,2464; 0,2320; 0,2176; 0,2031; 0,1886; 0,1740; 0,1595;
0,1449; 0,1302; 0,1155; 0,1009; 0,0861.

З статично визначеної системи (5) визначаємо реакції y_0, y_C .

Розглядаємо рівновагу вхідного елемента рушія основних ниток. Рівняння рівноваги матимуть вигляд

$$\sum_{i=1}^n x_i = -x_0 + \hat{O}_{1X} + \hat{O}_{2X} + x_A = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = y_0 - m_1 g + \hat{O}_{1Y} + y_A = 0, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n m_A (\bar{F}_i) = -y_0 \cdot OA \cos \varphi_1 - x_0 \cdot AO \cdot \sin \varphi_1 - m_1 g \cdot AS_1 \cdot \cos \varphi_1 = 0.$$

Вирішуючи рівняння системи (6) визначимо реакції x_0, y_0, x_A .

Розглядаємо рівновагу коромисла рушія основних ниток. Рівняння рівноваги матимуть вигляд

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n x_i &= x_C - x_B + \hat{O}_{3X} = 0, \\
\sum_{i=1}^n y_i &= y_C - m_3 g + \hat{O}_{3Y} + y_B = 0, \\
\sum_{i=1}^n m_B(\vec{F}_i) &= -M - y_C \cdot CB \cdot \cos \varphi_3 - x_C \cdot CB \cdot \sin \varphi_3 + m_3 g \cdot BS_3 \cdot \cos \varphi_3 - \\
&\quad - \hat{O}_{3Y} \cdot BS_3 \cdot \cos \varphi_3 + \hat{O}_{3X} \cdot BS_3 \cdot \sin \varphi_3 - M_{H3} = 0,
\end{aligned} \tag{7}$$

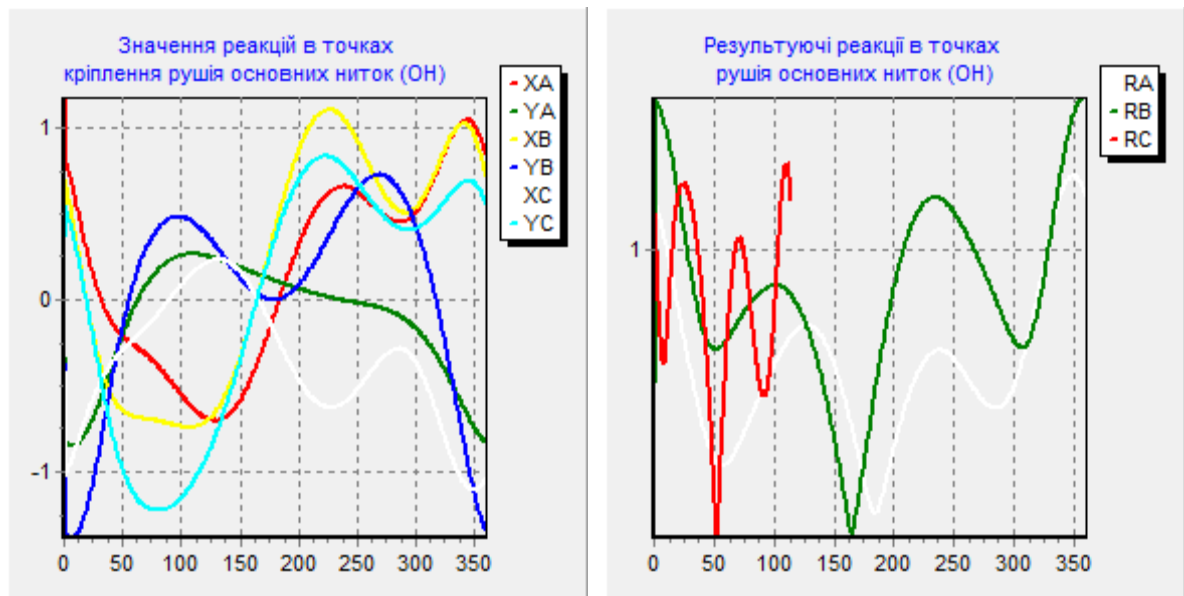
де φ_3 - кут між коромислом і віссю x ;

M - активно заданий момент (наприклад, момент сил корисного опору).

З системи (7) визначаємо невідомі реакції x_C, x_B, y_B . На рис.6 представлені графічні залежності реакцій в шарнірних парах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами рушія основних ниток. Результати отримані з використанням систем (5)-(7), як функції зміни кута оберту вхідного елемента. Результати поточних розрахунків параметрів рушія основних ниток С29:

| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,0000; | 0,1240; | 0,1290; | 0,1340; | 0,1389; |
| 0,1437; | 0,1484; | 0,1531; | 0,1576; | 0,1619; |
| 0,1662; | 0,1703; | 0,1743; | 0,1781; | 0,1818; |
| 0,1854; | 0,1888; | 0,1920; | 0,1950; | 0,1979; |
| 0,2006; | 0,2031; | 0,2055; | 0,2077; | 0,2097; |
| 0,2115; | 0,2132; | 0,2147; | 0,2160; | 0,2171; |
| 0,2181; | 0,2189; | 0,2196; | 0,2201; | 0,2205; |
| 0,2207; | 0,2207; | 0,2208; | 0,2207; | 0,2205; |
| 0,2202; | 0,2198; | 0,2192; | 0,2186; | 0,2178; |
| 0,2170; | 0,2160; | 0,2150; | 0,2139; | 0,2127; |
| 0,2115; | 0,2102; | 0,2088; | 0,2074; | 0,2059; |
| 0,2044; | 0,2029; | 0,2013; | 0,1997; | 0,1980; |
| 0,1963; | 0,1947; | | | |

На рис.6а представлені значення проекцій реакцій опор чотирьох ланкового пристрою в залежності від кута оберту вхідного елемента. На рис.6б представлені графічні залежності повної реакції в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами рушія основних ниток в залежності від кута оберту вхідного елемента.



а

б

Рис.6

Висновки по 1 розділу.

1. Проведено огляд літературних джерел по проблемі розробки математичних компонентів програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки. Сформульовано мету та задачі дослідження по проблемі удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою.
2. Отримано математичне забезпечення для удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з урахуванням довжини лінії

заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл.

Розділ 2. Алгоритмічне забезпечення.

2.1. Алгоритмічні компоненти програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток.

Алгоритмічне забезпечення програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток з трьома коливальними елементами складається з чотирьох ланцюгів математичних рівнянь, в яких враховується довжина лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величина вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичні параметри вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функція переміщення зони формування тканини за один цикл. Окрему групу складає алгоритмічне забезпечення для розв'язання систем алгебраїчних рівнянь та диференційних рівнянь.

До першого ланцюга відносяться математичні залежності для визначення координат точок та шарнірів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, як функції кута обертання вхідного елемента

$$\vec{l}_{1i} + \vec{l}_{2i} + \vec{l}_{3i} + \vec{l}_{4i} = 0.$$

$$x_{Ai} + l_{2i} \cos \varphi_{2i} + l_{3i} \cos \varphi_{3i} + l_{4i} \cos \varphi_{4i} = 0,$$

проекції багатокутника $y_{Ai} + l_{2i} \sin \varphi_{2i} + l_{3i} \sin \varphi_{3i} + l_{4i} \sin \varphi_{4i} = 0.$

$$l_4 - l_1 \cos \varphi_1 = q, \quad l_2 \cos \varphi_2 = q - l_3 \cos \varphi_3,$$

$$l_1 \sin \varphi_1 = u. \quad l_2 \sin \varphi_2 = -u - l_3 \sin \varphi_3.$$

вирази для кутів, $\frac{l_2^2 + q^2 + u^2 + l_3^2}{2ql_3} = a, \quad \frac{u}{q} = \operatorname{tg} \nu \quad \varphi_3 = \arccos(a \cos \nu) - \nu,$

$$l_3^2 = (q - l_2 \cos \varphi_2)^2 + (l_2 \sin \varphi_2 + u)^2 = q^2 - 2ql_2 \cos \varphi_2 + l_2^2 + 2l_2 u \sin \varphi_2 + u^2,$$

$$\cos \varphi_2 - \frac{u}{q} \sin \varphi_2 = \frac{q^2 + u^2 - l_3^2 + l_2^2}{2ql_2} \quad c = \frac{q^2 + u^2 - l_3^2 + l_2^2}{2ql_2}, \operatorname{tg} \nu = \frac{u}{q},$$

$$\varphi_2 = \arccos(c \cos \nu) - \nu.$$

проекції векторів ланок $l_3^* = l_3 \sin \varphi_3$ $l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 - l_4 = 0,$
 $l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + l_3^* = 0.$

$$\varphi_2 = \arcsin \left[-\frac{(l_3^* + l_1 \sin \varphi_1)}{l_2} \right].$$

До другого ланцюга відносяться математичні залежності для визначення лінійних та кутових швидкостей рухомих елементів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, як функції кута обертання вхідного елемента

$$\begin{aligned} & -l_2 \sin \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = l_1 \sin \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + l_3 \sin \varphi_3 \frac{d\varphi_3}{dt}, \\ \text{проекції векторів швидкості} & \\ & l_2 \cos \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = -l_1 \cos \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{dt} - l_3 \cos \varphi_3 \frac{d\varphi_3}{dt}. \\ \text{визначення кутових аналогів,} & \quad \frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1, \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2, \quad \frac{d\varphi_3}{dt} = \omega_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -l_2 \sin \varphi_2 \omega_2 &= l_1 \sin \varphi_1 \omega_1 + l_3 \sin \varphi_3 \omega_3, & \omega_2 &= \omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}, \\ l_2 \cos \varphi_2 \omega_2 &= -l_1 \cos \varphi_1 \omega_1 - l_3 \cos \varphi_3 \omega_3. & \omega_3 &= \omega_1 \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}. \\ -l_2 \omega_2^2 \cos \varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \sin \varphi_2 &= l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 + l_3 \omega_3^2 \cos \varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \sin \varphi_3, \\ l_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \cos \varphi_2 &= -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 - l_3 \omega_3^2 \sin \varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \cos \varphi_3. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} -l_2 \omega_2^2 \cos \varphi_2 - l_2 \varepsilon_2 \sin \varphi_2 &= l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 + l_3 \omega_3^2 \cos \varphi_3 + l_3 \varepsilon_3 \sin \varphi_3, \\ l_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2 - l_2 \varepsilon_2 \cos \varphi_2 &= -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 - l_3 \omega_3^2 \sin \varphi_3 + l_3 \varepsilon_3 \cos \varphi_3. \\ \varepsilon_2 &= \frac{l_1 \omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_3 \omega_3^2 + l_2 \omega_2^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}, & \frac{d\omega_2}{dt} &= \varepsilon_2, \quad \frac{d\omega_3}{dt} = \varepsilon_3 \\ \varepsilon_3 &= \frac{l_1 \omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + l_2 \omega_2^2 + l_3 \omega_3^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \\ -l_1 \frac{d\varphi_1}{dt} \sin \varphi_1 - l_2 \frac{d\varphi_2}{dt} \sin \varphi_2 - \frac{dl_4}{dt} &= 0, & \frac{d\varphi_1}{dt} &= \omega_1, \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2, \quad \frac{dl_4}{dt} = \mathcal{G}_B \\ l_1 \frac{d\varphi_1}{dt} \cos \varphi_1 + l_2 \frac{d\varphi_2}{dt} \cos \varphi_2 &= 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{проекції аналогів швидкості,} & \quad -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l_2 \omega_2 \sin \varphi_2 - \mathcal{G}_B = 0, \\ & \quad l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l_2 \omega_2 \cos \varphi_2 = 0. \end{aligned}$$

$$\omega_2 = -\frac{l_1 \omega_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2} \mathcal{G}_B = l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 + l_2 \omega_2 \sin \varphi_2.$$

До третього ланцюга відносяться математичні залежності для визначення лінійних та кутових прискорень рухомих елементів чотирьох

ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, як функції кута обертання вхідного елемента

$$\begin{aligned}
 -l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \sin\varphi_2 &= l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 + l_3\omega_3^2 \cos\varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \sin\varphi_3, \\
 l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_2 \frac{d\omega_2}{dt} \cos\varphi_2 &= -l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 - l_3\omega_3^2 \sin\varphi_3 + l_3 \frac{d\omega_3}{dt} \cos\varphi_3. \\
 -l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 &= l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 + l_3\omega_3^2 \cos\varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \sin\varphi_3, \\
 l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_2\varepsilon_2 \cos\varphi_2 &= -l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 - l_3\omega_3^2 \sin\varphi_3 + l_3\varepsilon_3 \cos\varphi_3. \\
 -l_1 \frac{\omega_1}{dt} \sin\varphi_1 - l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 - l_2 \frac{\omega_2}{dt} \sin\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - \frac{\mathcal{G}_B}{dt} &= 0, \\
 l_1 \frac{\omega_1}{dt} \cos\varphi_1 + l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 + l_2 \frac{\omega_2}{dt} \cos\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 &= 0. \\
 -l_1\varepsilon_1 \sin\varphi_1 - l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2 - a_B &= 0, \\
 l_1\varepsilon_1 \cos\varphi_1 + l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 + l_2 \frac{\omega_2}{dt} \cos\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 &= 0.
 \end{aligned} \tag{4}$$

кутові аналоги прискорення, $\varepsilon_2 = \frac{l_1\omega_1^2 \sin\varphi_1 + l_2\omega_2^2 \sin\varphi_2 - l_1\varepsilon_1 \cos\varphi_1}{l_2 \cos\varphi_2}$

$$a_B = -l_1\varepsilon_1 \sin\varphi_1 - l_1\omega_1^2 \cos\varphi_1 - l_2\varepsilon_2 \sin\varphi_2 - l_2\omega_2^2 \cos\varphi_2.$$

До четвертого ланцюга відносяться математичні залежності для визначення реакцій в шарнірах рушія основних ниток та визначення повних реакцій чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, як функцій кута обертання вхідного елемента:

загальна система

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n y_i &= y_0 - m_1g + \hat{O}_{1Y} - m_2g + \hat{O}_{2Y} - m_3g + \hat{O}_{3Y} + y_C = 0, \\
 \sum_{i=1}^n m_0(\vec{F}_i) &= -m_1g \cdot OS_1 \cos\varphi_1 + \hat{O}_{2Y} \cdot h_{S20Y} + \hat{O}_{2X} \cdot h_{S20X} - m_2g \cdot h_{S20Y} - \\
 -M + \hat{O}_{3Y} \cdot h_{S30Y} - \hat{O}_{3X} \cdot h_{S30X} - m_2g \cdot h_{S30Y} + y_C \cdot OC + M_{H2} - M_{H3} &= 0,
 \end{aligned}$$

для вхідного елемента

методи, які дозволяють одержати розв'язок, якщо він існує, як скінченну кількість математичних операцій (наприклад: метод Гауса, метод Гауса з вибором головного елемента, метод Гауса з одиничною матрицею, метод Гауса з перетвореною матрицею, метод Гауса - Халецького, метод Гауса - Жордана, метод Крамера тощо). Метод послідовного виключення невідомих Гауса заснований на послідовному пониженні порядку системи за рахунок виключення невідомих $x_1 \dots x_{n-1}$ в лінійних рівняннях

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1k}x_k + \dots + a_{1n}x_n &= b_1, \\ a_{22}^{(1)}x_2 + \dots + a_{2k}^{(1)}x_k + \dots + a_{2n}^{(1)}x_n &= b_2^{(1)}, \\ \dots & \\ a_{kk}^{(k-1)}x_k + \dots + a_{kn}^{(k-1)}x_n &= b_k^{(k-1)}, \\ \dots & \\ a_{nn}^{(n-1)}x_n &= b_n^{(n-1)}, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} a_{22}^{(1)} &= a_{22} - \frac{a_{21}a_{12}}{a_{11}}; \dots; a_{2k}^{(1)} = a_{2k} - \frac{a_{21}a_{1k}}{a_{11}}; \dots; a_{2n}^{(1)} = a_{2n} - \frac{a_{21}a_{1n}}{a_{11}}; b_2^{(1)} = b_2 - \frac{a_{21}b_1}{a_{11}}; \\ a_{kk}^{(k-1)} &= a_{kk}^{(k-2)} - \frac{a_{kk-1}^{(k-2)}}{a_{k-1k-1}^{(k-2)}} a_{k-1k}^{(k-2)}; \dots; a_{kn}^{(k-1)} = a_{kn}^{(k-2)} - \frac{a_{kk-1}^{(k-2)}}{a_{k-1k-1}^{(k-2)}} a_{k-1n}^{(k-2)}; b_k^{(k-1)} = b_k^{(k-2)} - \frac{a_{kk-1}^{(k-2)}}{a_{k-1k-1}^{(k-2)}} b_{k-1}^{(k-2)}; \\ a_{nn}^{(n-1)} &= a_{nn}^{(n-2)} - \frac{a_{nn-1}^{(n-2)}}{a_{n-1n-1}^{(n-2)}} a_{n-1n}^{(n-2)}; b_n^{(n-1)} = b_n^{(n-2)} - \frac{a_{nn-1}^{(n-2)}}{a_{n-1n-1}^{(n-2)}} b_{n-1}^{(n-2)}. \end{aligned}$$

Блок-схема програми реалізації методу Гауса послідовного виключення невідомих показана на рис.2.1.

До точних методів відносять методи, які дозволяють отримати точний розв'язок системи через відповідну кількість операцій перетворення без урахування похибок заокруглення. Наближені (ітераційні) методи, які дозволяють одержати лише наближені до коренів значення із певною похибкою (наприклад, метод послідовних ітерацій, метод Гауса - Зейделя, метод векторів зміщень). Точний розв'язок можна отримати як результат нескінченно збіжного процесу дослідження або експерименту. До таких методів відносять метод простої ітерації, метод Зейделя. Точні методи використовують при розв'язку на ПК систем невисокого порядку ($n < 10^3$), де

n – число лінійних алгебраїчних рівнянь системи). Наближені методи використовують для систем високого порядку $n=10^3 \dots 10^6$.

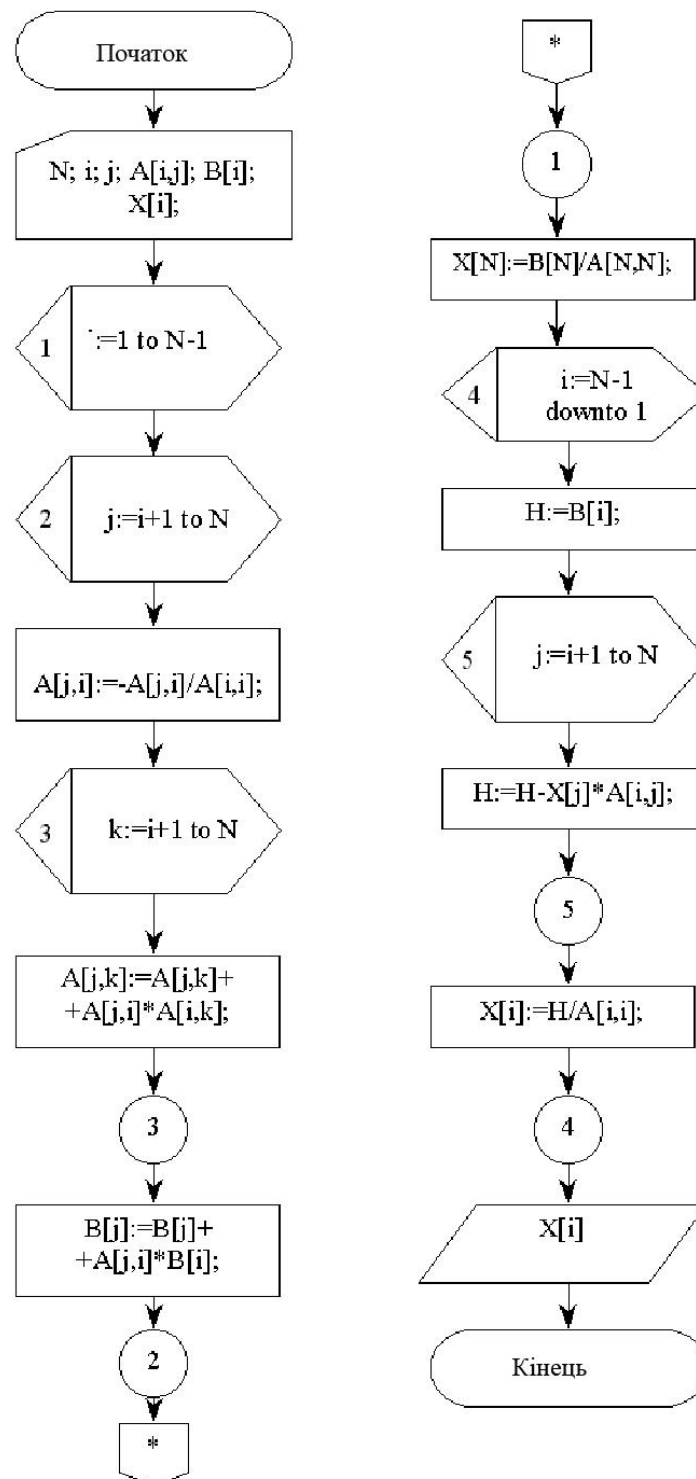


Рис.2.1

Основним обмеженням методу Гауса з обмеженнями є припущення про те, що всі елементи $a^{(k-1)}$, на які проводиться ділення на кожному кроці методу, відмінні від нуля. Елемент $a^{(k-1)}$ називається ведучим елементом на k -

му кроці виключення. Слід мати на увазі, що навіть якщо якийсь ведучий елемент не дорівнює нулю, а просто близький до нього, в процесі обчислень може відбуватися значне накопичення похибок. Уникнути цього дозволяє метод Гауса з вибором головного елемента. Ідея методу полягає в тому, щоб на черговому кроці виключати ту невідому, коефіцієнт за якої найбільший за модулем. Отже, ведучим елементом тут вибирається головний, тобто найбільший за модулем елемент матриці. Тим самим, якщо $\det A$ не дорівнює 0, то в процесі обчислень не відбуватиметься ділення на нуль.

Для зменшення помилок округлювання чинять так. Серед елементів першого рядка $a^{(k-1)}$ кожної проміжної матриці вибирають найбільший за модулем елемент модуль $\phi^{(k-1)}$, $j=k, k+1, \dots, n$ і роблять цей елемент ведучим. Вказаний спосіб виключення називається методом Гауса з вибором головного елемента по рядку. Він еквівалентний застосуванню звичайного методу Гауса до системи, в якій на кожному кроці виключення проводиться відповідна пере нумерація змінних. Застосовується також метод із вибором головного елемента по стовпцю. Вибір між частковою та повною перестановкою повинен залежати від конкретної ситуації та характеристик матриці. Повна перестановка може бути більш обчислювальною, витратною, але дозволяє уникнути ще більше проблем з діленням на нуль. В той час як часткова перестановка може бути більш ефективною у випадках, коли ризик ділення на нуль невеликий. Він еквівалентний застосуванню звичайного методу Гауса до системи, в якій на кожному кроці виключення проводиться відповідна пере нумерація рівнянь. Метод Гауса (також відомий як метод послідовного виключення невідомих) є одним із фундаментальних та універсальних інструментів у сфері розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Цей метод є надзвичайно потужним і використовується в різних наукових та інженерних дисциплінах, де системи лінійних рівнянь зустрічаються на щоденній основі.

В системах з великою кількістю елементів зв'язки між елементами найчастіше є локальними, і, відповідно, матриці систем лінійних

алгебраїчних рівнянь, що описують такі системи, найчастіше є розрідженими. Тому є можливість за рахунок раціональної організації обчислювального процесу добитися значного зменшення потреб у оперативній пам'яті для зберігання даних, оскільки немає потреби зберігати в пам'яті нульові елементи (яких у розрідженій матриці переважна більшість), а також зменшення тривалості обчислень – завдяки тому, що немає потреби виконувати над нульовими елементами арифметичні дії, результат яких заздалегідь відомий. До чисельних методів лінійної алгебри належать методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, обернення матриць, обчислення визначників і знаходження власних значень і власних векторів матриць. Завдяки використанню локальної лінеаризації нелінійних залежностей переважна більшість задач обчислювальної математики зводиться до розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь. У лінійній алгебрі таку задачу називають першою основною задачею. До неї належать задачі обчислення визначників і обчислення елементів оберненої матриці. Іноді обчислення визначників і елементів оберненої матриці називають другою і третьою основними задачами лінійної алгебри. Результати розрахунків: 0,9290; 0,9286; 0,9284; 0,9282; 0,9281; 0,9280; 0,9281; 0,9281; 0,9283; 0,9285; 0,9287; 0,9290; 0,9294; 0,9299; 0,9304; 0,9309; 0,9315; 0,9322; 0,9330; 0,9338; 0,9346; 0,9355; 0,9365; 0,9376; 0,9387; 0,9398; 0,9410; 0,9423; 0,9436; 0,9450; 0,9465; 0,9480; 0,9495; 0,9511; 0,9528; 0,9545; 0,9563; 0,9582; 0,9601; 0,9620; 0,9640; 0,9661; 0,9682; 0,9704; 0,9726; 0,9749; 0,9773; 0,9797; 0,9821; 0,9846; 0,9872; 0,9898; 0,9925; 0,9952; 0,9980; 1,0008; 1,0037; 1,0066; 1,0096; 1,0126; 1,0157.

Ітераційні методи вирішення системи лінійних рівнянь розглянемо на прикладі методу простих ітерацій

$$x_{i(j+1)} = x_{i(j)} - \frac{1}{a_{ii}} \left(\sum_{k=1}^n a_{ik} x_{k(j)} - b_i \right).$$

Обчислення продовжуються до тих пір, поки $x_{i(j+1)} - x_{i(j)} > \varepsilon$, де ε - задана погрішність обчислень коріння системи лінійних рівнянь. Метод Зейделя організовує ітераційний процес розв'язання системи лінійних рівнянь

$$x_{i(j+1)} = x_{i(j)} - \frac{1}{a_{ii}} \left(\sum_{k=1}^{i-1} a_{ik} x_{k(j+1)} + \sum_{k=i+1}^n a_{ik} x_{k(j)} - b_i \right).$$

Алгоритмічні компоненти програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток для диференціальних рівнянь.

При розв'язуванні задачі розробки програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія часто користуються математичними моделями у вигляді рівнянь, що зв'язують одну або декілька незалежних змінних, невідому функцію цих змінних і похідні (або диференціали) цієї функції. Якщо незалежна змінна одна, то рівняння називається звичайним; якщо незалежних змінних дві або більше, то рівняння називається диференціальним рівнянням з частинними похідними. Порядком диференціального рівняння називається порядок найвищої похідної, що входить в дане рівняння.

Основною задачею теорії диференціальних рівнянь є знаходження всіх рішень даного диференціального рівняння. У найпростіших випадках ця задача зводиться до знаходження інтегралів, тому процес знаходження всіх рішень диференціального рівняння називається інтегруванням цього рівняння. Інтеграли (або розв'язки) диференціального рівняння можуть містити сталі величини, які можна вибирати довільно (довільні сталі). В загальному випадку диференціального рівняння n-го порядку число довільних сталих дорівнює порядку рівняння. На невідому функцію можуть бути накладені додаткові умови, які полягають у тому, що невідома функція і її похідні повинні приймати задані значення при визначених значеннях незалежної змінної.

Метод Ейлера – один з найпростіших чисельних алгоритмів розв'язку звичайних диференціальних рівнянь першого порядку з заданим початковим

значенням тобто задачі Коші. Він є явним, одно кроковим методом першого порядку точності, основна ідея якого полягає в тому, що інтегральна крива апроксимується дискретною лінійною функцією, так званою ламаною Ейлера. Необхідно знайти наближене рішення диференційного рівняння в точках з координатами $x_1 = x_0 + h$, $x_2 = x_0 + 2h, \dots, x_n = x_0 + nh$, де h - постійний крок; x_0 - координата початку відрізка. Наближене значення першої похідної має вигляд

$$\frac{dy_k}{dx_k} \cong \frac{\Delta y_k}{\Delta x_k} = \frac{y_{k+1} - y_k}{h},$$

де $k = 0, 1, \dots, n-1$.

На рис.2.2 представлена розрахункова схема методу Ейлера

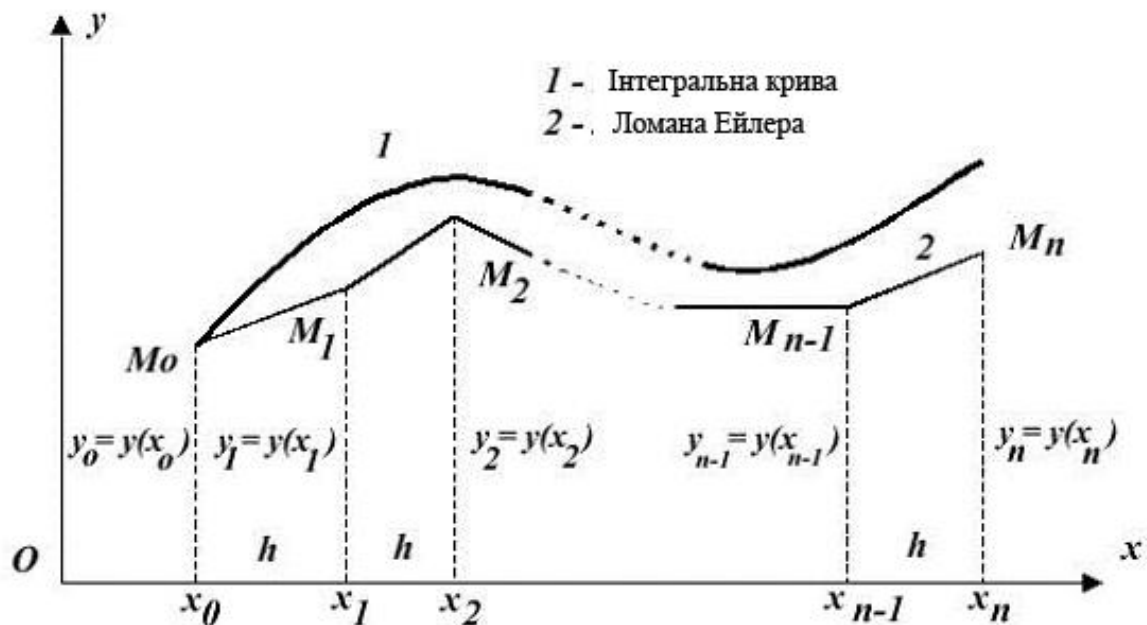


Рис.2.2

Порівнюючи значення бачимо, що істотним недоліком методу Ейлера є занадто велика похибка, яка, як не важко помітити, має тенденцію накопичуватися, тобто, чим далі ми йдемо від початкової точки $x_0 = 0$, тим більшою стає розбіжність між наближеним і точним рішенням. Відмітимо, що саме тому метод Ейлера на практиці використовується не дуже часто, а якщо і використовується, то лише як базис для побудови більш складних методів.

Різновидом методу Ейлера-Коші є метод трапецій. Він реалізується застосуванням на кожному кроці рекурентної формули

$$y_{k+1} = y_k + \frac{h}{2} \left\{ f(x_k, y_k) + f \left[x_k + h, y_k + hf(x_k, y_k) \right] \right\}.$$

Метод Рунне – Кута дає набір формул для обчислення координат внутрішніх точок, які потрібні для реалізації цієї ідеї. Оскільки існує ряд способів знаходження цих точок, то метод Рунне – Кута об'єднує цілий клас методів для розв'язання диференціальних рівнянь першого порядку. Метод Ейлера і його модифікації ще називають методами Рунне – Кута першого і другого порядку. Метод Рунне – Кута має значно більш високу точність, що дозволяє збільшити крок розв'язання. Його максимальну величину визначає припустима похибка. Такий вибір часто здійснюється автоматично і включається як складова частина в алгоритм, побудований за методом Рунне – Кута. Будь-яку з формул одно крокових методів можна використовувати для розв'язання систем диференціальних рівнянь і диференціальних рівнянь вищих порядків. Різновидом цього методу є метод Рунне - Кута четвертого порядку, рекурентна формула якого має вигляд

$$\begin{aligned} a_k &= f \left[x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{h}{2} f(x_k, y_k) \right], \\ b_k &= f \left(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{h}{2} a_k \right), \\ c_k &= f(x_k + h, y_k + b_k h), \\ y_{k+1} &= y_k + \frac{h}{6} [f(x_k, y_k) + 2a_k + 2b_k + c_k] . \end{aligned}$$

Перевага методів Рунне - Кута полягає в тому, що обчислювальні алгоритми є однорідними, тобто не змінюються при переході від однієї точки до іншої, а крок змінюється відповідно до потреби точності обчислень, без ускладнення обчислювального алгоритму. Методи Рунне - Кута мають високу точність, причому обчислення можна проводити із змінним кроком: неважко зменшити крок там, де функція швидко змінюється, і збільшити в

протилежному випадку. Недоліком методів Рунне - Кута є те, що для відшукування наближеного розв'язку в точці заданого відрізка необхідно виконати декілька обчислень значень функцій.

Розв'язуючи наближено звичайні диференціальні рівняння першого порядку, а також рівняння вищих порядків, іноді використовують представлення шуканого розв'язку у вигляді ряду Тейлора, залишаючи у ньому певну кількість доданків

$$y = y_0 + \frac{(x-x_0)}{1!} d'(x_0) + \frac{(x-x_0)^2}{2!} d''(x_0) + \dots + \frac{(x-x_0)^n}{n!} d^n(x_0) + \dots,$$

$$y = d(x).$$

$$d'(x) = f(x, y) = \frac{dy}{dx}, \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \frac{dy}{dx},$$

остаточно отримаємо

$$d''(x_0) = \left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right]_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0}} + \left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right]_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0}} \cdot f(x_0, y_0).$$

Багатокрокові вирішення диференціальних рівнянь (кінцеве-різницеві методи) базуються на використанні даних рішення на попередніх кроках. Це дозволяє підвищити швидкість обчислення. Для реалізації кінцеве-різницевих методів при чисельному інтегруванні диференціальних рівнянь потрібно знати значення функції і її похідної в декількох точках близьких до початкової.

Перша та друга модифікації. Визначення кінематичних параметрів чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу.

Модифікація 1. Для першої модифікації пристрою рушія основних ниток визначалися координати шарнірів та робочої точки рушія, проекції векторів швидкості шарнірів та робочої точки рушія та проекції векторів прискорення шарнірів та робочої точки рушія в залежності від кута

обертання вхідного елемента. Окремо визначалися кутові швидкості та прискорення ланок пристрою рушія основних ниток в залежності від положення вхідного елемента. На рис.2.3 представлені результати розрахунків для першої модифікації.

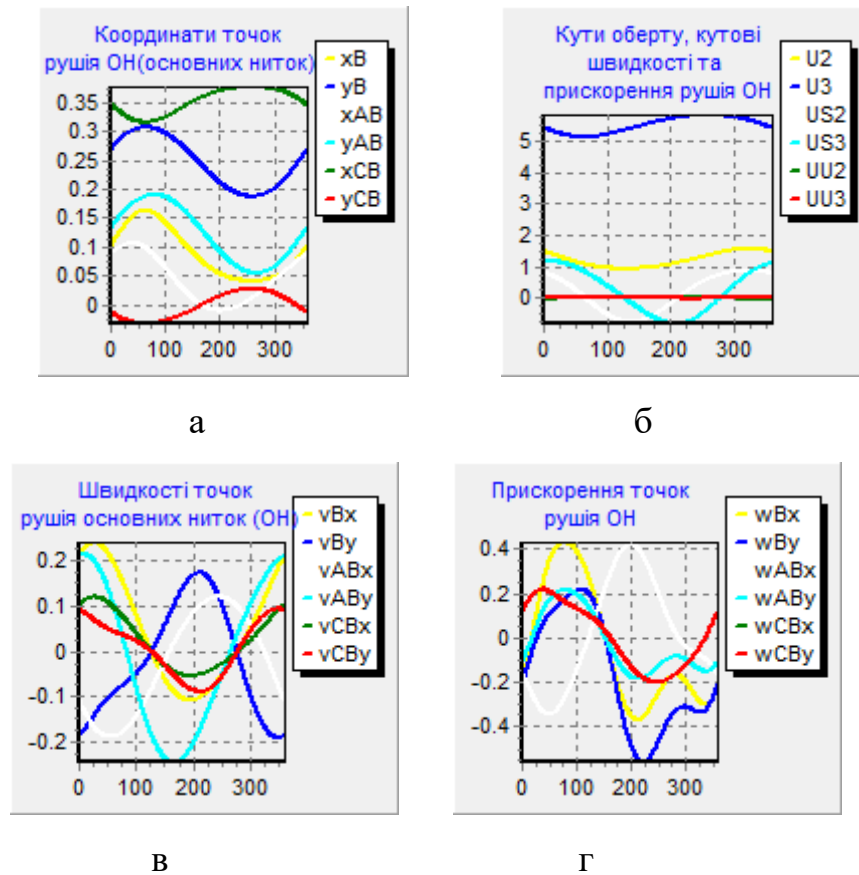


Рис.2.3

На рис.2.3а представлені функції координати шарнірів та робочої точки рушія. На рис.2.3б представлені функції зміни кутових швидкостей та прискорень ланок пристрою рушія основних ниток в залежності від кута обертання вхідного елемента. На рис.2.3в представлені функції проєкцій векторів швидкості шарнірів та робочої точки рушія. На рис.2.3г представлені функції проєкцій векторів прискорень шарнірів та робочої точки рушія основних ниток. Кутова швидкість вхідного елемента рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу дорівнювала $\omega = 2,6 \text{ c}^{-1}$. При розрахунках кінематичних параметрів чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами $l_1=0,087 \text{ м}$, $l_2=0,270 \text{ м}$, $l_3=0,248 \text{ м}$, $l_4=0,265 \text{ м}$, $l_5= 0,081 \text{ м}$. Результати розрахунку

кінематичних параметрів рушія основних ниток, з урахуванням кутової швидкості, для першої модифікації С4: 5,4239; 5,4163; 5,4087; 5,4011; 5,3936; 5,3860; 5,3785; 5,3710; 5,3636; 5,3562; 5,3488; 5,3415; 5,3343; 5,3271; 5,3200; 5,3129; 5,3060; 5,2991; 5,2923; 5,2856; 5,2790; 5,2725; 5,2661; 5,2598; 5,2537; 5,2477; 5,2418; 5,2360; 5,2304; 5,2249; 5,2195; 5,2143; 5,2093; 5,2044; 5,1996; 5,1950; 5,1906; 5,1863; 5,1822; 5,1783; 5,1745; 5,1709; 5,1674; 5,1642; 5,1611; 5,1581; 5,1554; 5,1528; 5,1504; 5,1482; 5,1461; 5,1442; 5,1425; 5,1409; 5,1395; 5,1383; 5,1373; 5,1364; 5,1357; 5,1351; 5,1347.

Модифікація 2. Для оптимізації конструкції пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу були проведені розрахунки динамічних навантажень в шарнірах чотирьох ланкового пристрою. При розрахунках маса шатуна рушія основних ниток приймалася $m_1=1,21$ кг та маса коромисла рушія основних ниток приймалася рівною $m_2=4,95$ кг.

На рис. 2.4 представлені функції зміни значень проєкцій реакцій в шарнірах кінематичних пар пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами, як функцій кута обертання вхідного елемента.

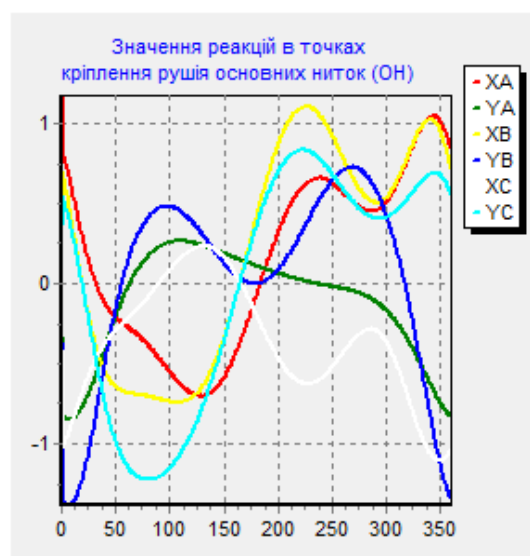


Рис.2.4

Реалізація програмного забезпечення для визначення проєкцій реакцій в шарнірах пристрою рушія основних ниток дозволяє визначати функції зміни проєкцій реакцій в шарнірній парі між станиною пристрою та вхідним елементом, в шарнірній парі між вхідним елементом та шатуном рушія основних ниток, в шарнірній парі між шатуном рушія основних ниток та коромислом рушія основних ниток, в шарнірній парі між коромислом рушія основних ниток та станиною пристрою. Результати розрахунку динамічних параметрів для другої модифікації С11: 0,7896; 0,7845; 0,7793; 0,7738; 0,7681; 0,7623; 0,7562; 0,7499; 0,7434; 0,7367; 0,7297; 0,7225; 0,7151; 0,7075; 0,6996; 0,6915; 0,6831; 0,6745; 0,6656; 0,6566; 0,6472; 0,6376; 0,6278; 0,6177; 0,6074; 0,5968; 0,5860; 0,5750; 0,5636; 0,5521; 0,5403; 0,5283; 0,5160; 0,5035; 0,4908; 0,4779; 0,4647; 0,4513; 0,4377; 0,4239; 0,4099; 0,3957; 0,3813; 0,3667; 0,3519; 0,3370; 0,3219; 0,3066; 0,2912; 0,2757; 0,2600; 0,2441; 0,2282; 0,2121; 0,1959; 0,1796; 0,1632; 0,1467; 0,1302; 0,1136; 0,0969.

На рис.2.5 представлені функції зміни повних реакцій в шарнірах пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами, як функції кута обертання вхідного елемент

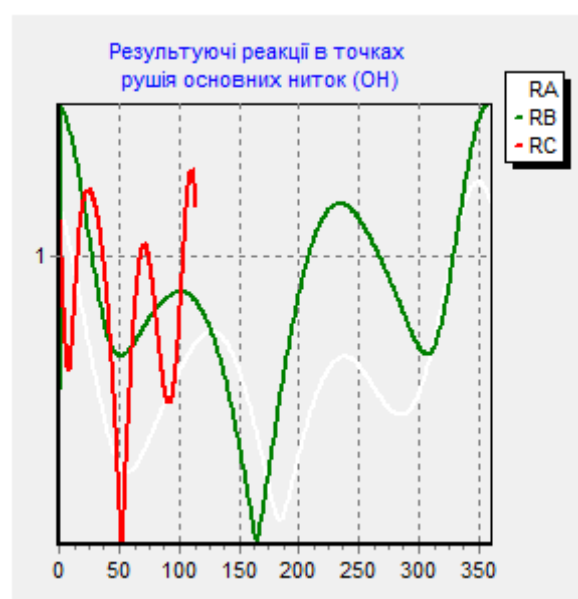


Рис.2.5

Третя та четверта модифікації. Вплив кутової швидкості вхідного елемента на значення кінематичних параметрів пристрою рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу.

Для третьої модифікації пристрою рушія основних ниток визначався вплив кутової швидкості вхідного елемента на значення функцій проєкцій векторів швидкості шарнірів та робочої точки рушія та проєкції векторів прискорення шарнірів пристрою рушія основних ниток та робочої точки рушія в залежності від кута обертання вхідного елемента автоматичного виробничого комплексу. Значення кутової швидкості, для третьої модифікації, було збільшено з $2,6 \text{ c}^{-1}$ до $3,4 \text{ c}^{-1}$. Збільшення кутової швидкості вхідного елемента призводить до зміни кутових швидкостей та прискорень шатуна рушія основних ниток та коромисла рушія основних ниток. На рис.2.6 представлені графічні залежності кінематичних параметрів рушія основних ниток з трьома коливальними елементами для третьої модифікації.

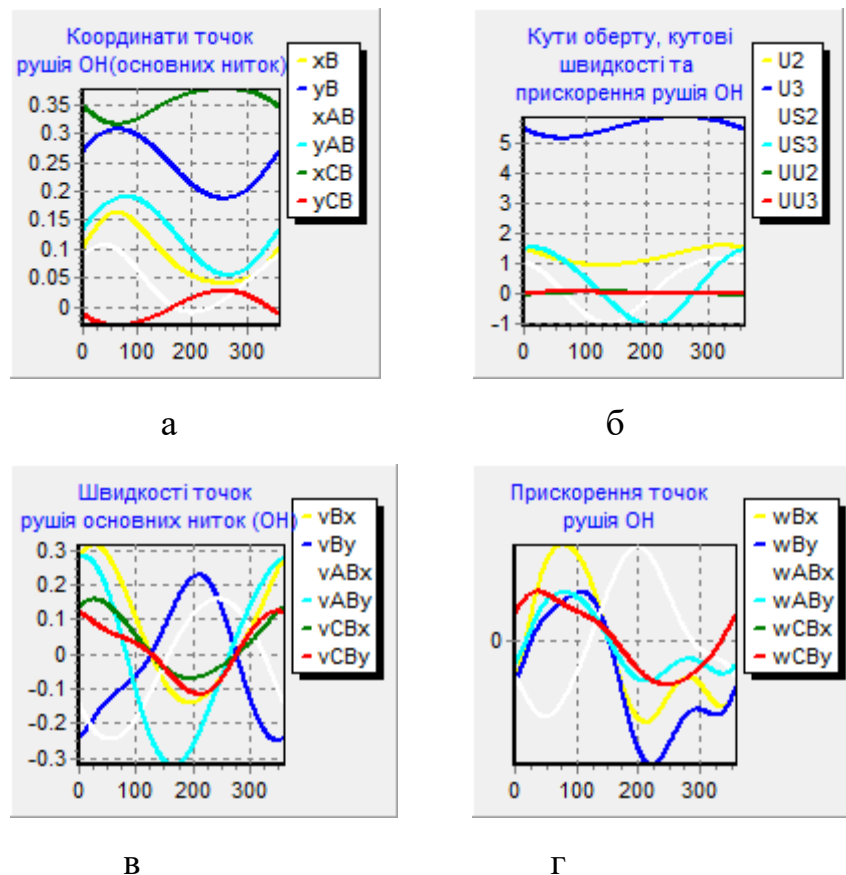


Рис.2.6

Для третьої модифікації на рис.2.6а представлені функції координати шарнірів та робочої точки рушія. На рис.2.6б, для третьої модифікації, представлені функції зміни кутових швидкостей та прискорень ланок пристрою рушія основних ниток в залежності від кута обертання вхідного елемента. Для третьої модифікації на рис.2.6в представлені функції проєкцій векторів швидкості шарнірів та робочої точки рушія. На рис.2.6г представлені функції проєкцій векторів прискорень шарнірів та робочої точки рушія основних ниток. Кутова швидкість вхідного елемента рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу дорівнювала $\omega = 3,4 \text{ c}^{-1}$. Для третьої модифікації, при розрахунках кінематичних параметрів чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами, нами були прийняті наступні значення $l_1=0,077 \text{ м}$, $l_2=0,260 \text{ м}$, $l_3=0,258 \text{ м}$, $l_4=0,275 \text{ м}$, $l_5= 0,091 \text{ м}$. Кінематичні параметри рушія основних ниток для третьої модифікації С21: 0,1061; 0,1072; 0,1082; 0,1091; 0,1101; 0,1110; 0,1119; 0,1127; 0,1135; 0,1143; 0,1150; 0,1157; 0,1163; 0,1169; 0,1175; 0,1180; 0,1185; 0,1189; 0,1193; 0,1197; 0,1200; 0,1202; 0,1205; 0,1206; 0,1208; 0,1208; 0,1209; 0,1209; 0,1208; 0,1207; 0,1206; 0,1204; 0,1202; 0,1200; 0,1197; 0,1193; 0,1189; 0,1185; 0,1180; 0,1175; 0,1170; 0,1164; 0,1158; 0,1152; 0,1145; 0,1138; 0,1130; 0,1122; 0,1114; 0,1106; 0,1097; 0,1088; 0,1078; 0,1069; 0,1059; 0,1049; 0,1038; 0,1028; 0,1017; 0,1006; 0,0994.

Модифікація 4. При розрахунках маса шатуна рушія основних ниток приймалася $m_1=1,85 \text{ кг}$ та маса коромисла рушія основних ниток приймалася рівною $m_2=5,64 \text{ кг}$. Кутова швидкість вхідного елемента автоматичного виробничого комплексу дорівнювала $\omega = 3,4 \text{ c}^{-1}$. Для четвертої модифікації при оптимізації конструкції пристрою автоматичного виробничого комплексу з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу були проведені розрахунки динамічних навантажень в шарнірах пристрою.

На рис. 2.7 для четвертої модифікації представлені функції значень проєкцій реакцій в шарнірах кінематичних пар пристрою автоматичного виробничого комплексу, як функцій кута обертання вхідного елемента.

Поточні результати розрахунків для четвертої модифікації С30: 0,0000;
 0,1240; 0,1290; 0,1340; 0,1389; 0,1437; 0,1484; 0,1531; 0,1576;
 0,1619; 0,1662; 0,1703; 0,1743; 0,1781; 0,1818; 0,1854; 0,1888;
 0,1920; 0,1950; 0,1979; 0,2006; 0,2031; 0,2055; 0,2077; 0,2097;
 0,2115; 0,2132; 0,2147; 0,2160; 0,2171; 0,2181; 0,2189; 0,2196;
 0,2201; 0,2205; 0,2207; 0,2208; 0,2207; 0,2205; 0,2202; 0,2198;
 0,2192; 0,2186; 0,2178; 0,2170; 0,2160; 0,2150; 0,2139; 0,2127;
 0,2115; 0,2102; 0,2088; 0,2074; 0,2059; 0,2044; 0,2029; 0,2013;
 0,1997; 0,1980; 0,1963; 0,1947.

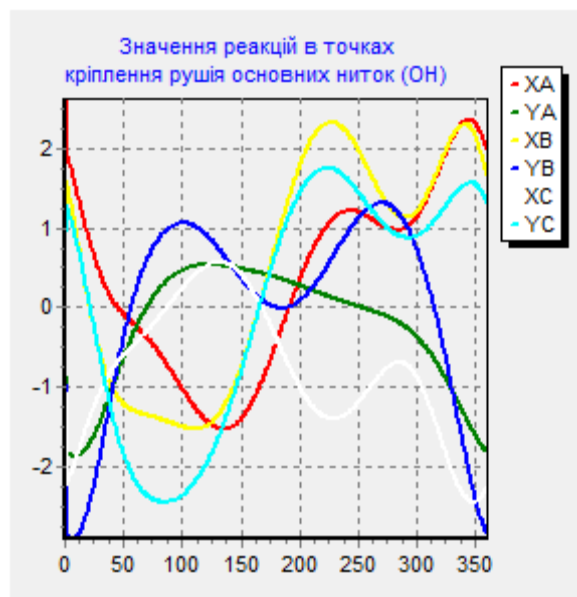


Рис.2.7

Реалізація програмного забезпечення для четвертої модифікації при визначенні проєкцій реакцій в шарнірах пристрою рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу дозволяє визначати функції зміни проєкцій реакцій. Деталізуючи можна виділити наступні пари: в шарнірній парі між станиною пристрою та вхідним елементом; в шарнірній парі між вхідним елементом та шатуном рушія основних ниток; в шарнірній парі між шатуном рушія основних ниток та коромислом рушія основних ниток; в

шарнірній парі між коромислом рушія основних ниток та станиною пристрою. Результати розрахунку динамічних параметрів для четвертої модифікації С27: -0,1590; -0,1634; -0,1679; -0,1725; -0,1772; -0,1820; -0,1869; -0,1918; -0,1969; -0,2020; -0,2071; -0,2123; -0,2176; -0,2228; -0,2281; -0,2333; -0,2386; -0,2438; -0,2490; -0,2542; -0,2593; -0,2643; -0,2693; -0,2741; -0,2789; -0,2835; -0,2881; -0,2925; -0,2967; -0,3008; -0,3048; -0,3086; -0,3122; -0,3156; -0,3189; -0,3219; -0,3248; -0,3275; -0,3299; -0,3322; -0,3342; -0,3360; -0,3377; -0,3391; -0,3402; -0,3412; -0,3420; -0,3425; -0,3429; -0,3430; -0,3429; -0,3426; -0,3421; -0,3414; -0,3405; -0,3394; -0,3382; -0,3367; -0,3351; -0,3332; -0,3313. Для четвертої модифікації на рис.2.8 представлені функції зміни повних реакцій в шарнірах пристрою автоматичного виробничого комплексу, як функції кута обертання вхідного елемента.

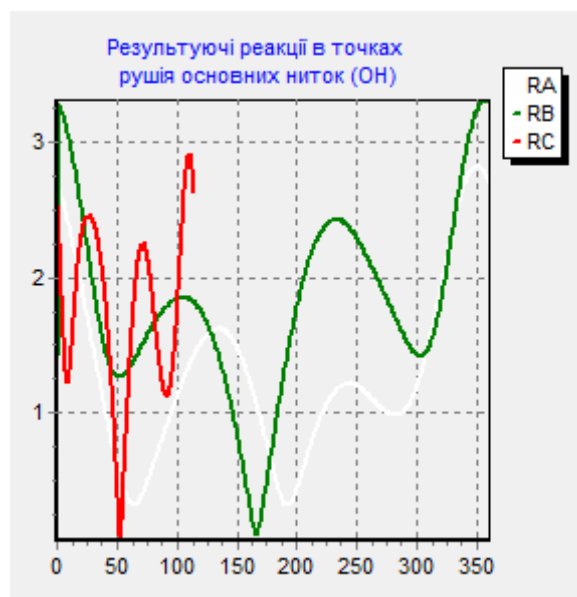


Рис.2.8

Висновки по 2 розділу.

1. Для чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу отримані залежності для реалізації алгоритму розрахунку параметрів подачі сировини

з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл.

2. Запропоновані алгоритми для розв'язання систем алгебраїчних рівнянь та лінійних диференціальних рівнянь, з використанням чисельних методів, реалізація яких дозволяє здійснювати удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки алгоритмічних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою.

3. Реалізація алгоритмів дозволила для пристрою рушія основних ниток визначати координати шарнірів та робочої точки рушія автоматичного виробничого комплексу, проекції векторів швидкості шарнірів та робочої точки рушія та проекції векторів прискорення шарнірів та робочої точки рушія, кутові швидкості та прискорення ланок пристрою рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу, проекції динамічних реакцій та повних реакції в шарнірах чотирьох ланкового пристрою в залежності від положення вхідного елемента.

Розділ 3. Програмне забезпечення.

3.1. Програмний комплекс для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток.

Для реалізації алгоритму побудови інформаційної моделі рушія основних ниток на базі чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу була реалізована наступна програма. Процес розробки програмного забезпечення визначається як сукупність взаємопов'язаних дій, що перетворюють деякі початкові Дані у кінцеві та характеризуються певними завданнями і методами їх вирішення. Умовно такі дії можна згрупувати, виділивши наступні основні етапи розробки програмного забезпечення. Програмне забезпечення, яке розробляють за допомогою об'єктно-орієнтованого підходу, як правило, пов'язане з роботою зі складними системами. На рис.3.1 представлений перший модуль Unit1 програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток.

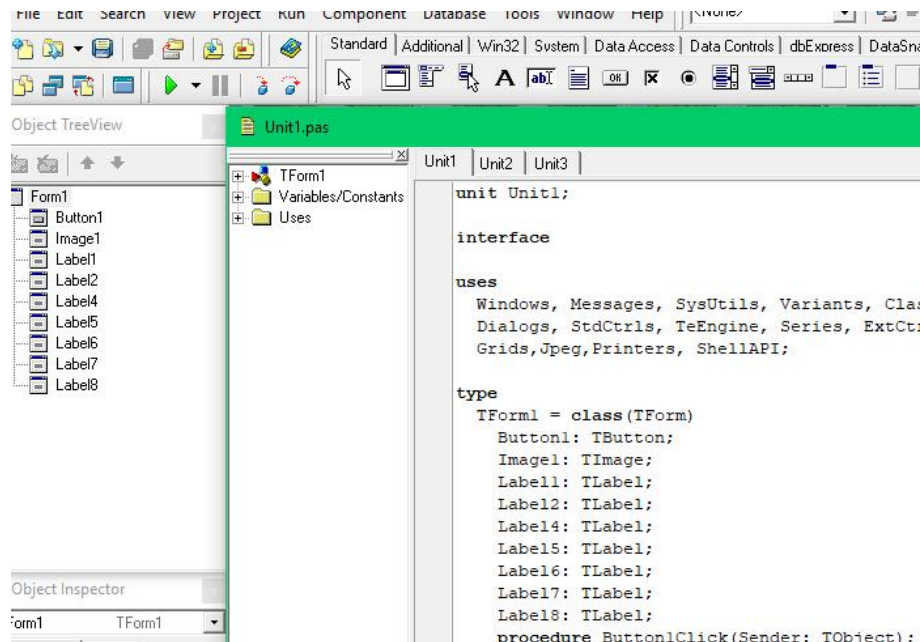


Рис.3.1.

На формі TForm1tsenilov = class (TForm) розташовані компоненти: Image1tsenilov: TImage – для розміщення фотографічного зображення автоматичного виробничого комплексу; Label1tsenilov: TLabel, Label2tsenilov: TLabel, Label3tsenilov: TLabel, Label4tsenilov: TLabel,

Label5tsenilov: TLabel, Label6tsenilov: TLabel, Label7tsenilov: TLabel, Label8tsenilov: TLabel – для відображення інформації про тему кваліфікаційної магістерської роботи, магістранта, наукового керівника, версії програмного продукту. Результати розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія 1,4778; 1,4725; 1,4670; 1,4614; 1,4556; 1,4498; 1,4439; 1,4378; 1,4317; 1,4255; 1,4191; 1,4127; 1,4062; 1,3997; 1,3931; 1,3864; 1,3796; 1,3728; 1,3659; 1,3590; 1,3521; 1,3451; 1,3381; 1,3311; 1,3240; 1,3169; 1,3099; 1,3028; 1,2957; 1,2886; 1,2816; 1,2745; 1,2675; 1,2605; 1,2535; 1,2466; 1,2397; 1,2328; 1,2260; 1,2192; 1,2125; 1,2058; 1,1992; 1,1926; 1,1861; 1,1797; 1,1733; 1,1670; 1,1608; 1,1546; 1,1486; 1,1426; 1,1366; 1,1308; 1,1250; 1,1193; 1,1137; 1,1082; 1,1028; 1,0974; 1,0922. Компонент Button1tsenilov: TButton ініціює процедуру згортання форми TForm1tsenilov = class (TForm) та активації форми TForm2tsenilov = class (TForm).

На рис.3.2 представлений загальний вигляд першої форми програмного модуля для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток. Зазвичай розрізняють три рівня до вимог програмного забезпечення. На верхньому рівні представлені вимоги, які визначають, що система повинна робити з точки зору бізнесу. Слово «бізнес» в даному контексті ближче до слова «замовник», оскільки визначені на цьому рівні вимоги відповідають цілям і політиці організації, а їх висловлюють ті, хто фінансує проект (зазвичай топ-менеджери або акціонери компанії). Приклад вимоги бізнесу: промо-сайт, що привертає увагу певної аудиторії до певної продукції компанії. Наступний рівень вимог - це рівень вимог користувачів, на якому визначають цілі і завдання, які дозволить вирішувати система, тобто те, що користувачі зможуть робити за допомогою системи. Призначені для користувача вимоги повинні відповідати вимогам бізнесу, в іншому випадку їх не слід включати в проект. Приклад вимоги користувача: система повинна представляти

діалогові засоби для введення вичерпної інформації про певну продукцію компанії на промо-сайті.



Рис.3.2.

Третій рівень вимог - це рівень вимог до функціональності системи (системні вимоги), що визначають характеристики системи, яку повинні побудувати розробники для того, щоб користувачі змогли виконати свої завдання в рамках вимог бізнесу. Приклад функціональних вимог (або просто функцій): при роботі з інформацією промо-сайту повинна бути можливість створювати, редагувати і видаляти текстовий опис певної продукції компанії. Процедурне програмування зображає програму у вигляді набору алгоритмів, для оформлення яких можуть бути застосовані іменовані програмні блоки – процедури та функції. В останньому випадку передбачено наявність механізмів передавання параметрів і повернення результату.

На рис.3.3 представлена друга основна форма модуля Unit2 програми для чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами. На формі `TForm2tsenilov = class(TForm)`

розташовані наступні основні компоненти: Button1tsenilov: TButton – для розрахунку проєкцій переміщень, швидкостей та прискорень робочої точки рушія основних ниток та шарнірів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами та їх виводу в компонент StringGrid1tsenilov: TStringGrid; Button2tsenilov: TButton – для виконання процедури побудови графіків функцій; Button3tsenilov: TButton – для виконання процедури збереження графічних зображень в папку Example; Button4tsenilov: TButton – для виконання процедури збереження даних в формі таблиць Exel; Button5: TButton – для згортання форми TForm2tsenilov = class(TForm) та активації форми TForm3tsenilov = class (TForm); Button6: TButton – виходу з програми.

```

Unit2.pas
Unit1 | Unit2 | Unit3 |
TForm2
Procedures
Variables/Constants
Uses
Series6: TLineSeries;
Chart3: TChart;
Series7: TLineSeries;
Series8: TLineSeries;
Series9: TLineSeries;
Chart4: TChart;
Series10: TLineSeries;
Series11: TLineSeries;
Series12: TLineSeries;
Edit4: TEdit;
Label14: TLabel;
Edit5: TEdit;
Label15: TLabel;
Edit6: TEdit;
Label16: TLabel;
Series13: TLineSeries;
Series14: TLineSeries;
Series15: TLineSeries;
Series16: TLineSeries;
Series17: TLineSeries;
Series18: TLineSeries;
Series19: TLineSeries;
Series20: TLineSeries;
Series21: TLineSeries;
Series22: TLineSeries;
Series23: TLineSeries;
Series24: TLineSeries;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
private

```

Рис.3.3.

Компоненти Chart1tsenilov: TChart, Chart2tsenilov: TChart, Chart3tsenilov: TChart та Chart4tsenilov: TChart призначені для відображення функцій зміни

поточних кутів оберту елементів рушія, кутові та лінійні швидкості та кутові та лінійні прискорення ланок автоматичного виробничого комплексу.

Одно строкові вікна Edit1tsenilov: TEdit, Edit2tsenilov: TEdit, Edit3tsenilov: TEdit, Edit4tsenilov: TEdit, Edit5tsenilov: TEdit, Edit6tsenilov: TEdit – призначені для завдання геометричних та кінематичних параметрів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу. Для позначення параметрів над одно строковими вікнами на формі TForm2tsenilov = class(TForm) використовують компоненти Label1tsenilov: TLabel, Label2tsenilov: TLabel, Label3tsenilov: TLabel, Label4tsenilov: TLabel, Label5tsenilov: TLabel, Label6tsenilov: TLabel. На рис.3.4 представлений загальний вигляд TForm2tsenilov = class(TForm) з вказаними вище компонентами.

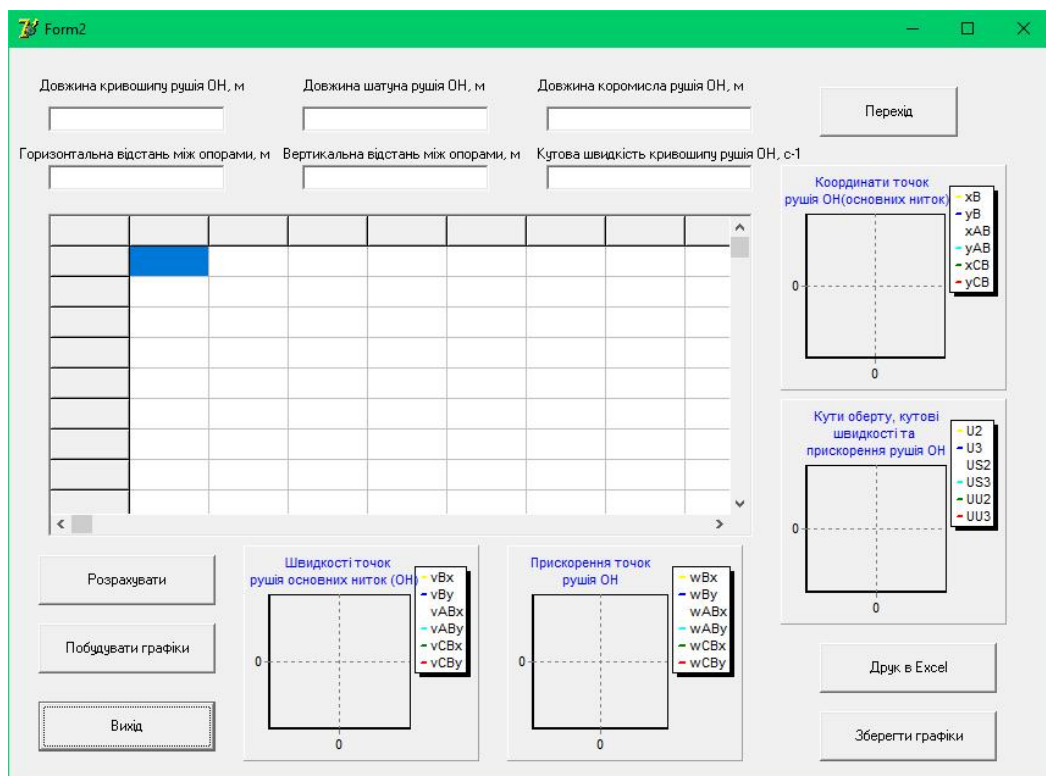


Рис.3.4.

Об'єктно-орієнтований підхід до розробки програмних продуктів базується на такому понятті як клас. Клас визначає новий тип даних, який задає формат об'єкта. Клас містить як дані, так і коди програм, призначені для виконання дій над ними. Загалом, клас пов'язує дані з кодами програми.

Об'єкти – це примірники класового типу. Загалом, клас є набором планів і дій, які вказують на властивості об'єкта та визначають його поведінку. Важливо розуміти, що клас – це логічна абстракція, яка реально не існує доти, доки не буде створено об'єкт цього класу, тобто це те, що стане фізичним представленням цього класу в пам'яті комп'ютера. Об'єктно-орієнтована програма здебільшого ґрунтується на основі декількох класів. Тому важливо визначити правила взаємовідношення між класами та їх розміщення у програмі. Одним із важливих видів класів є контейнерні. Контейнерним називається клас, який містить дані з типом іншого класу. Такий вид класів забезпечує можливість повторного використання коду програми. Контейнерні класи будуються на основі аналізу внутрішньої структури складного об'єкта або системи та виявленні їх складових елементів або підсистем. Під час аналізу виділяються функціонально повні або самодостатні елементи (підсистеми), які дають змогу побудувати класи із можливістю їх подальшого повторного використання для побудови інших програмних продуктів. Між контейнерними класами існує відношення “містить”: контейнерний клас містить об'єкти-представники інших класів. Контейнерний клас називають зовнішнім, а об'єкти – внутрішніми.

На рис.3.5 представлена форма `TForm2tsenilov = class(TForm)` з фрагментом програмного коду для визначати проєкції переміщень, швидкостей та прискорень робочої точки рушія основних ниток та шарнірів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, функції зміни поточних кутів обертання елементів рушія, кутові та лінійні швидкості та кутові та лінійні прискорення ланок автоматичного виробничого комплексу

| | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,1031; | 0,1045; | 0,1059; | 0,1074; | 0,1088; | 0,1103; | 0,1117; | 0,1132; |
| 0,1147; | 0,1161; | 0,1176; | 0,1191; | 0,1205; | 0,1220; | 0,1234; | 0,1249; |
| 0,1263; | 0,1277; | 0,1291; | 0,1305; | 0,1319; | 0,1332; | 0,1346; | 0,1359; |
| 0,1372; | 0,1385; | 0,1398; | 0,1410; | 0,1422; | 0,1434; | 0,1446; | 0,1457; |
| 0,1468; | 0,1479; | 0,1489; | 0,1499; | 0,1509; | 0,1518; | 0,1527; | 0,1536; |
| 0,1544; | 0,1552; | 0,1560; | 0,1567; | 0,1574; | 0,1581; | 0,1587; | 0,1593; |

0,1598; 0,1603; 0,1608; 0,1612; 0,1616; 0,1619; 0,1623; 0,1625;
 0,1628; 0,1630; 0,1631; 0,1633; 0,1633.

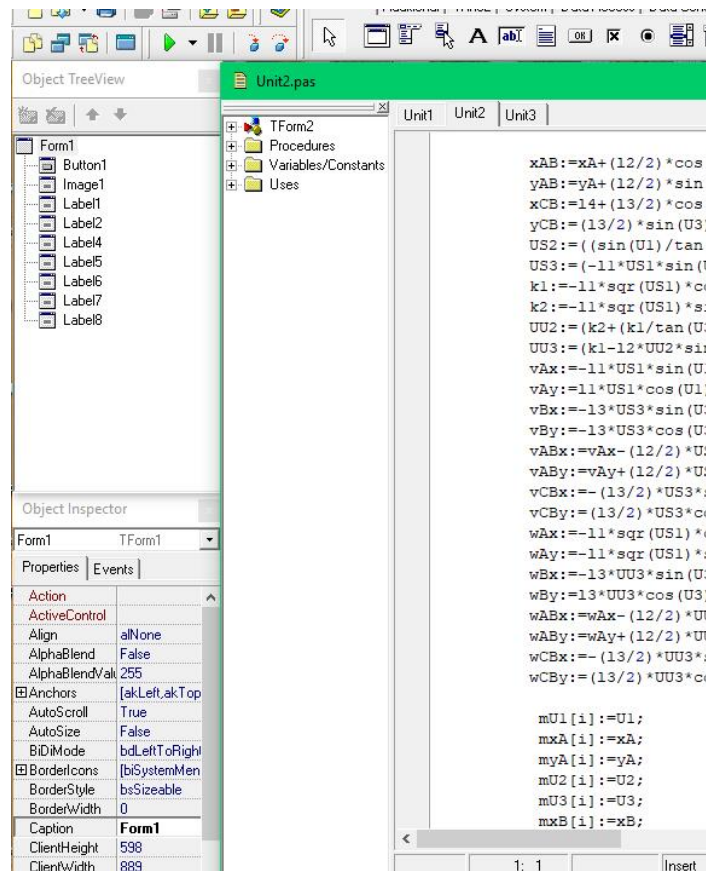


Рис.3.5.

На формі TForm3tsenilov = class (TForm) модуля Unit3 програми для побудови інформаційної моделі рушія розташовані компоненти для визначення динамічних значень проекцій та повних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами (див. рис.3.6). Результати розрахунку реакцій та повних реакцій 0,1031; 0,1045; 0,1059; 0,1074; 0,1088; 0,1103; 0,1117; 0,1132; 0,1147; 0,1161; 0,1176; 0,1191; 0,1205; 0,1220; 0,1234; 0,1249; 0,1263; 0,1277; 0,1291; 0,1305; 0,1319; 0,1332; 0,1346; 0,1359; 0,1372; 0,1385; 0,1398; 0,1410; 0,1422; 0,1434; 0,1446; 0,1457; 0,1468; 0,1479; 0,1489; 0,1499; 0,1509; 0,1518; 0,1527; 0,1536; 0,1544; 0,1552; 0,1560; 0,1567; 0,1574; 0,1581; 0,1587; 0,1593; 0,1598; 0,1603; 0,1608; 0,1612; 0,1616; 0,1619; 0,1623; 0,1625; 0,1628; 0,1630; 0,1631; 0,1633; 0,1633.

Для четвертої модифікації значення реакцій мають значення 0,3460;
0,3453; 0,3445; 0,3438; 0,3431; 0,3424; 0,3416; 0,3409; 0,3402;
0,3394; 0,3387; 0,3380; 0,3372; 0,3365; 0,3358; 0,3351; 0,3344;
0,3336; 0,3329; 0,3322; 0,3316; 0,3309; 0,3302; 0,3295; 0,3289;
0,3283; 0,3276; 0,3270; 0,3264; 0,3258; 0,3252; 0,3247; 0,3241;
0,3236; 0,3231; 0,3225; 0,3221; 0,3216; 0,3211; 0,3207; 0,3203;
0,3199; 0,3195; 0,3191; 0,3188; 0,3185; 0,3182; 0,3179; 0,3176;
0,3173; 0,3171; 0,3169; 0,3167; 0,3165; 0,3164; 0,3162; 0,3161;
0,3160; 0,3159; 0,3159; 0,3158.

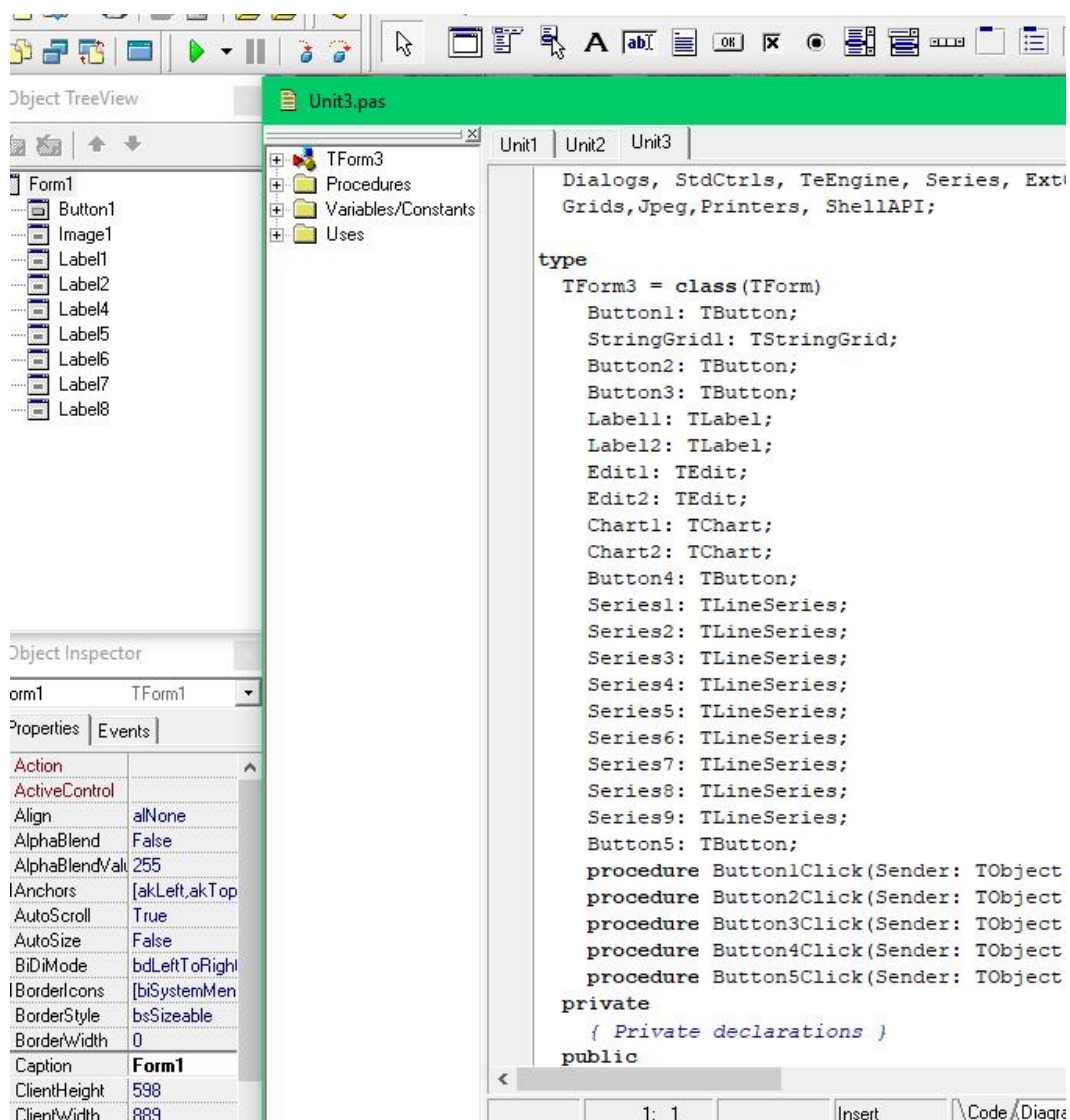


Рис.3.6.

Компонент Button1tsenilov: TButton ініціює процедуру розрахунку динамічних проекцій та повних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового

пристрою з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток. Компонент `Button2tsenilov: TButton` ініціює процедуру побудови графічних функцій для проєкцій та повних реакцій в шарнірах з використанням компонентів `Chart1tsenilov: TChart` та `Chart2tsenilov: TChart`. Компонент `Button3tsenilov: TButton` ініціює процедуру збереження графічних залежностей. Компонент `Button5tsenilov: TButton` ініціює процедуру згортання форми `TForm3tsenilov = class (TForm)` та переходу до форми `TForm2tsenilov = class(TForm)`.

Вікна редагування `Edit1tsenilov: TEdit` та `Edit2tsenilov: TEdit` призначені для завдання інерційних характеристик шатуна та коромисла рушія основи. На рис.3.7 представлений фрагмент коду, за допомогою якого визначаються динамічні параметри в шарнірах рушія.

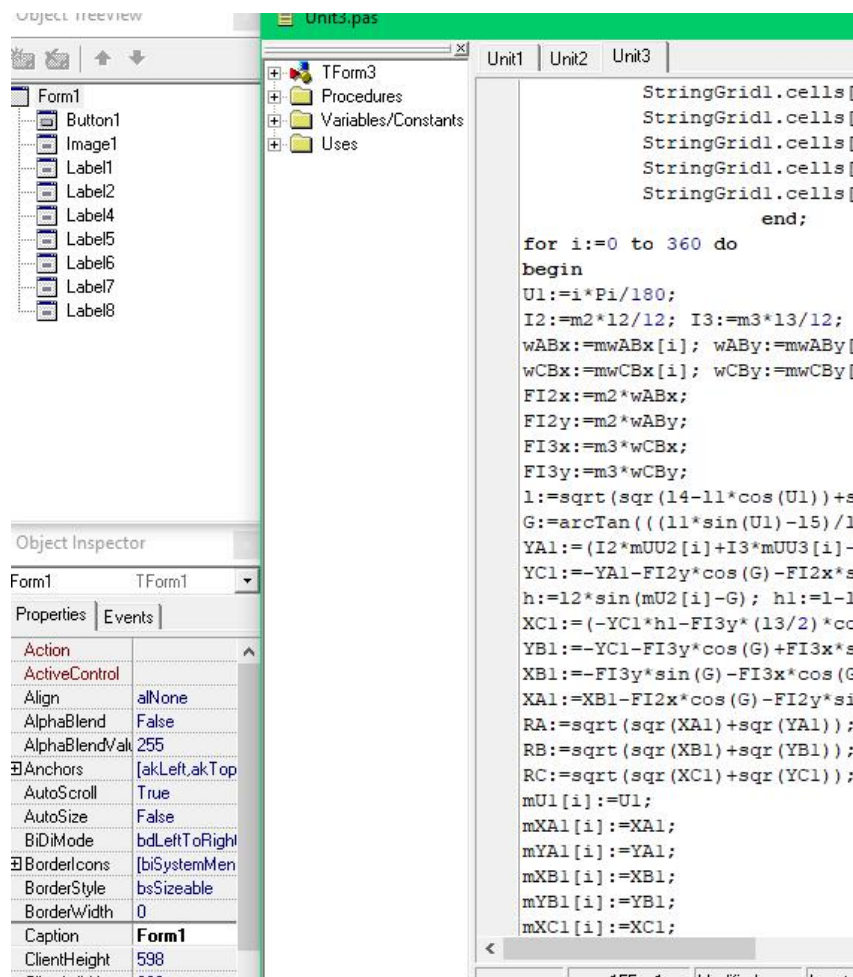


Рис.3.7.

Програма являє собою набір об'єктів, що мають стан та поведінку. Об'єкти взаємодіють використовуючи повідомлення. Будується ієрархія

об'єктів: програма в цілому — це об'єкт, для виконання своїх функцій вона звертається до об'єктів що містяться у ньому, які у свою чергу виконують запит шляхом звернення до інших об'єктів програми. Звісно, щоб уникнути безкінечної рекурсії у зверненнях, на якомусь етапі об'єкт трансформує запит у повідомлення до стандартних системних об'єктів, що даються мовою та середовищем програмування. Стійкість та керованість системи забезпечуються за рахунок чіткого розподілення відповідальності об'єктів (за кожну дію відповідає певний об'єкт), однозначного означення інтерфейсів між об'єктної взаємодії та повної ізоляваності внутрішньої структури об'єкта від зовнішнього середовища (інкапсуляції).

На рис.3.8 представлена форма TForm3tsenilov = class (TForm) для визначення проєкцій та повних реакцій рушія.

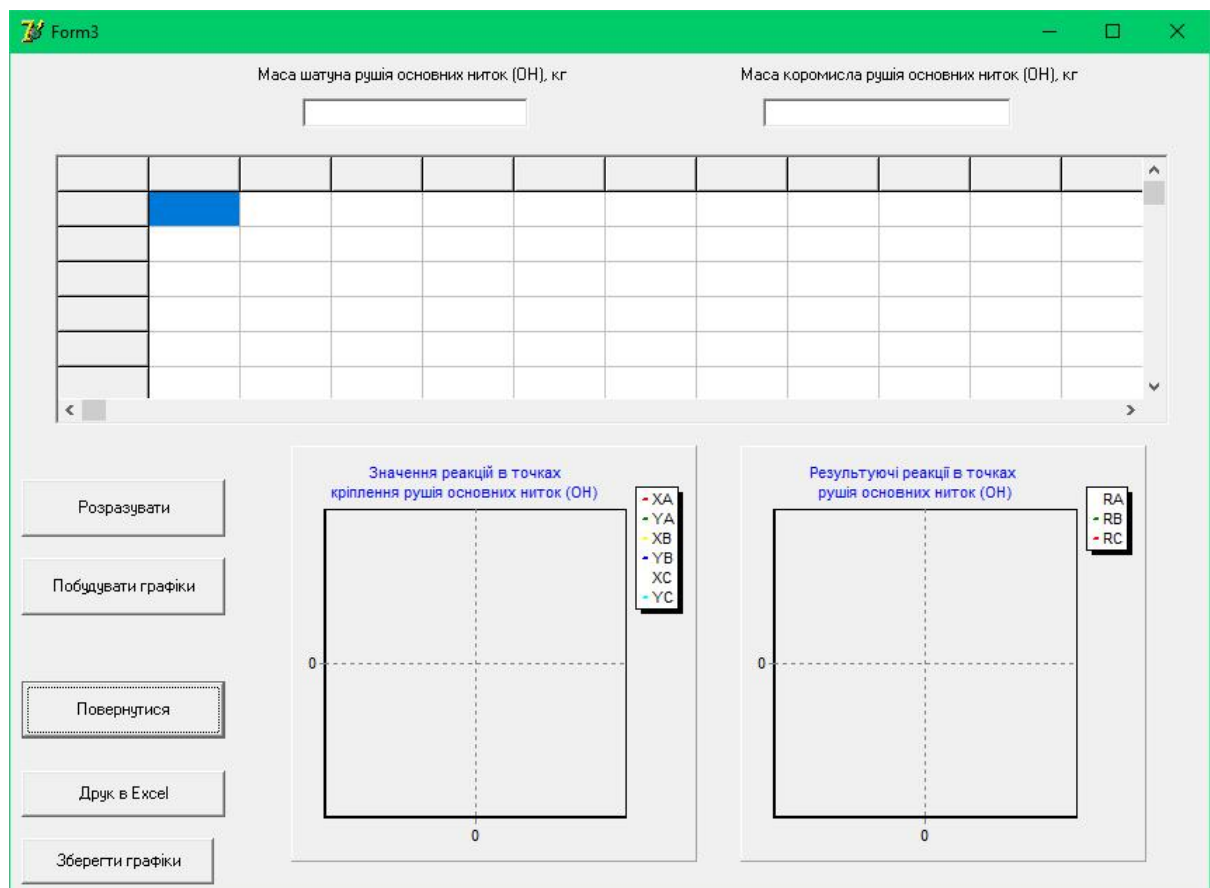


Рис.3.8

На рис.3.9 та 3.10 представлені результати роботи програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток. Використовуючи наслідування можна створити загальний клас, який буде

визначати характеристики і поведінку, властиві певному набору пов'язаних об'єктів. В подальшому цей клас може унаслідуватися іншими, другорядними класами, кожен з яких додаватиме унікальні, властиві лише йому характеристики і доповнюватиме або змінюватиме поведінку базового класу. Всі мови програмування пропонують їх користувачу деякі абстракції. Так мови групи асемблер є свого роду абстракцією відповідних мікропроцесорів, оскільки дозволяють відволіктися від деталей їх реалізації та звертатися до них через набір більш вище стоячих інструкцій. Імперативні мови програмування, які з'явилися після асемблеру є більш високим рівнем абстракції над асемблер мовами – вони дають можливість використовувати більш звичні для людини синтаксичні конструкції за рахунок наближення синтаксису до природніх мов. Результати розрахунку кінематичних параметрів для першої модифікації 0,0000; -0,0035; -0,0071; -0,0106; -0,0141; -0,0177; -0,0212; -0,0247; -0,0282; -0,0317; -0,0352; -0,0387; -0,0422; -0,0456; -0,0491; -0,0525; -0,0559; -0,0593; -0,0627; -0,0660; -0,0694; -0,0727; -0,0760; -0,0792; -0,0825; -0,0857; -0,0889; -0,0921; -0,0952; -0,0983; -0,1014; -0,1044; -0,1075; -0,1105; -0,1134; -0,1163; -0,1192; -0,1220; -0,1249; -0,1276; -0,1304; -0,1330; -0,1357; -0,1383; -0,1409; -0,1434; -0,1459; -0,1483; -0,1507; -0,1531; -0,1554; -0,1576; -0,1598; -0,1620; -0,1641; -0,1661; -0,1681; -0,1701; -0,1720; -0,1738; -0,1756.

Технологія покрокового структурного програмування зверху-вниз є вже сталою, добре відомою і часто використовуваною. Спуск від поставленої задачі до процедур в операторах мови програмування є інтуїтивно зрозумілим. Кожен крок дає змогу перейти від більш абстрактної процедури до більш конкретної. Така ієрархічна декомпозиція приводить до процедурної (деревовидної) структури програми. Наслідування є одним з найвагоміших принципів об'єктно-орієнтованого програмування, оскільки воно дозволяє створювати ієрархічні структури об'єктів 0,2123; 0,2143; 0,2164; 0,2183; 0,2202; 0,2220; 0,2237; 0,2254; 0,2270; 0,2285;

0,2300; 0,2313; 0,2326; 0,2338; 0,2350; 0,2360; 0,2370; 0,2378;
 0,2386; 0,2393; 0,2399; 0,2405; 0,2409; 0,2413; 0,2415; 0,2417;
 0,2418; 0,2418; 0,2417; 0,2415; 0,2412; 0,2409; 0,2404; 0,2399;
 0,2393; 0,2386; 0,2379; 0,2370; 0,2361; 0,2351; 0,2340; 0,2328;
 0,2316; 0,2303; 0,2290; 0,2275; 0,2260; 0,2245; 0,2228; 0,2211;
 0,2194; 0,2176; 0,2157; 0,2138; 0,2118; 0,2098; 0,2077; 0,2055;
 0,2034; 0,2011; 0,1988.

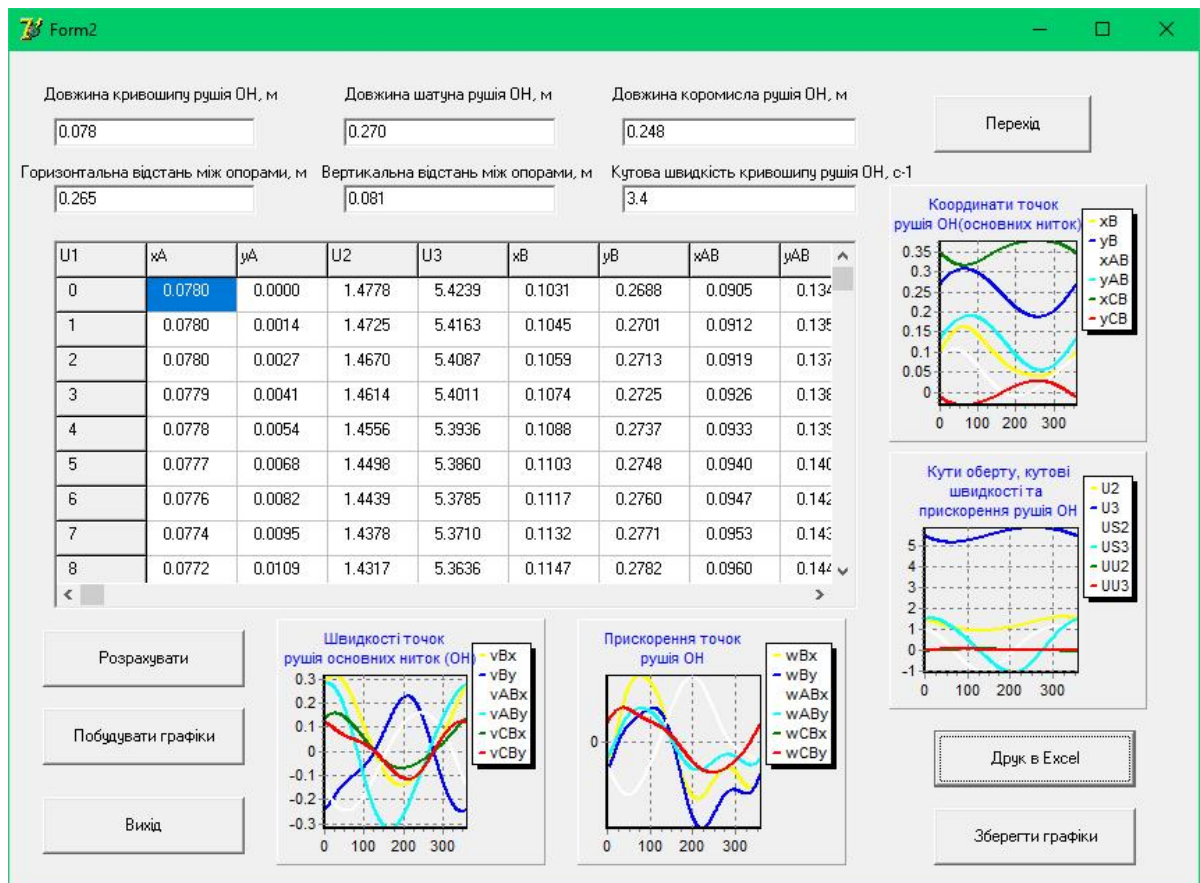


Рис.3.9.

Алгебраїчне програмування використовує представлення про алгоритми, вироблене абстрактною алгеброю. Як і при алгебраїчних обчисленнях, дані алгебраїчних програм представляються формулами (алгебраїчними виразами), а їхня обробка – перетвореннями цих формул (перепикуваннями). Системи припустимих перетворень формул – даних відповідної предметної області є основними семантичними одиницями алгебраїчної програми. Сукупність правил побудови формул і правил перетворення формул визначає предметну область, що називають алгебраїчною системою. Для повних

реакцій в шарнірах рушія основних ниток для третьої модифікації 0,2127;
 0,2132; 0,2136; 0,2139; 0,2142; 0,2144; 0,2146; 0,2147; 0,2147;
 0,2147; 0,2146; 0,2144; 0,2142; 0,2139; 0,2135; 0,2130; 0,2125;
 0,2119; 0,2112; 0,2104; 0,2095; 0,2086; 0,2076; 0,2065; 0,2053;
 0,2040; 0,2027; 0,2013; 0,1997; 0,1981; 0,1964; 0,1947; 0,1928;
 0,1908; 0,1888; 0,1867; 0,1845; 0,1822; 0,1798; 0,1773; 0,1748;
 0,1721; 0,1694; 0,1666; 0,1637; 0,1607; 0,1577; 0,1546; 0,1514;
 0,1481; 0,1447; 0,1413; 0,1378; 0,1342; 0,1306; 0,1269; 0,1231;
 0,1193; 0,1154; 0,1114; 0,1074.

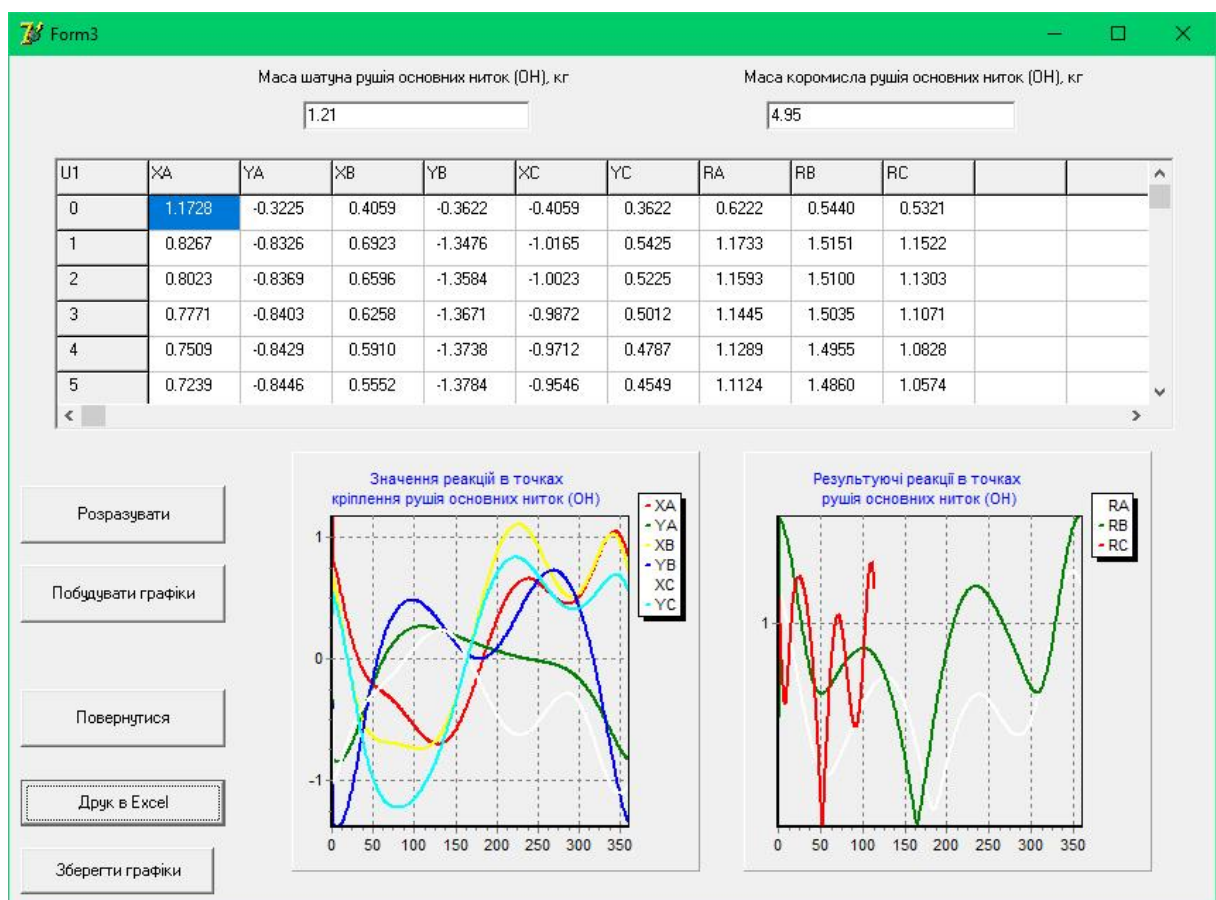


Рис.3.10.

Висновки по 3 розділу.

1. Розроблено програмне забезпечення для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток на базі чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу.
2. Реалізація програмного забезпечення для моделі рушія основних ниток дозволяє, з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення

пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл, визначати проекції переміщень, швидкостей та прискорень робочої точки рушія основних ниток та шарнірів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, функції зміни поточних кутів оберту елементів рушія, кутові та лінійні швидкості та кутові та лінійні прискорення ланок автоматичного виробничого комплексу, як функції кута обертання початкового елемента, динамічні значення проекцій та повних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами.

Висновки.

1. Проведено огляд літературних джерел по проблемі розробки математичних компонентів програмного комплексу для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки. Сформульовано мету та задачі дослідження по проблемі удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою.

2. Отримано математичне забезпечення для удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки математичних, алгоритмічних та програмних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл.

3. Для чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу отримані залежності для реалізації алгоритму розрахунку параметрів подачі сировини з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл.

4. Запропоновані алгоритми для розв'язання систем алгебраїчних рівнянь та лінійних диференціальних рівнянь, з використанням чисельних методів, реалізація яких дозволяє здійснювати удосконалення чотирьох ланкового пристрою рушія основних ниток з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу на основі розробки алгоритмічних компонентів для розрахунку кінематичних параметрів робочої точки рушія та динамічних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою.

5. Реалізація алгоритмів дозволила для пристрою рушія основних ниток визначати координати шарнірів та робочої точки рушія автоматичного виробничого комплексу, проекції векторів швидкості шарнірів та робочої точки рушія та проекції векторів прискорення шарнірів та робочої точки рушія, кутові швидкості та прискорення ланок пристрою рушія основних ниток автоматичного виробничого комплексу, проекції динамічних реакцій та повних реакції в шарнірах чотирьох ланкового пристрою в залежності від положення вхідного елемента.

6. Розроблено програмне забезпечення для побудови інформаційної моделі рушія основних ниток на базі чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами автоматичного виробничого комплексу.

7. Реалізація програмного забезпечення для моделі рушія основних ниток дозволяє, з урахуванням довжини лінії заправки основних ниток, положення пристрою рушія, величини вертикального переміщення робочої точки рушія, кінематичних параметрів вхідної ланки, значення натягу основних ниток, функції переміщення зони формування тканини за один цикл, визначати проекції переміщень, швидкостей та прискорень робочої точки рушія основних ниток та шарнірів чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами, функції зміни поточних кутів обертуння елементів рушія, кутові та лінійні швидкості та кутові та лінійні прискорення ланок автоматичного виробничого комплексу, як функції кута обертання початкового елемента, динамічні значення проекцій та повних реакцій в шарнірах чотирьох ланкового пристрою з трьома коливальними елементами.

Список використаних джерел.

1. Закон «Про вищу освіту» -<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. Закон «Про освіту» -<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>.
3. Державний класифікатор України: Класифікація видів економічної діяльності ДК009:2005. -Київ: Держстандарт України,2006.
4. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.[Чинний від 01–08–2011]. К.: Держспоживстандарт України, 2011. 11 с.
5. Національна рамка кваліфікацій –<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-п>.
6. Національний класифікатор України: «Класифікатор професій» ДК 003:2010.–К. : Видавництво «Соцінформ», 2010.
7. Перелік галузей знань і спеціальностей –<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/266-2015-п>.
8. Щербань В.Ю., Колиско О.З., Колиско М.І., Кириченко А.М., Щербань Ю.Ю. Комп'ютерна реалізація алгоритму рекурсії для гребінчатого пристрою натягу панчішних автоматів / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, М.І. Колиско, А.М. Кириченко, Ю.Ю. Щербань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022, №2 (307). – С. 194-197.
9. Щербань В.Ю. Базове проектуюче забезпечення САПР в індустрії моди/ В.Ю.Щербань, Ю.Ю.Щербань, О.З. Колиско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К.: Освіта України, 2018. – 902 с.
10. Щербань В. Ю. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві/ В.Ю. Щербань.-К.: Освіта України, 2019. – 252 с.
11. Щербань В.Ю. Комп'ютерне проектування систем: програмні та алгоритмічні компоненти / В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К.: Освіта України, 2019. – 902 с.

12. Щербань В. Ю. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві/В.Ю.Щербань – К.: Освіта України: ФОП Масляков, 2020. – 236 с.
13. Щербань В. Ю. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві / В.Ю.Щербань – К.: Освіта України, 2021. – 248 с.
14. Щербань В.Ю. Алгоритмічне та математичне забезпечення при комп'ютерному проектуванні складних систем / В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, Ю.Ю.Щербань, Г.В. Мельник, М.І. Колиско, В.Ю. Калашник. – К.: Освіта України, 2021. – 930 с.
15. Shcherban' V., Korogod G., Chaban V., Kolysko O., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function / V. Shcherban', G. Korogod, V. Chaban, O. Kolysko, Yu. Shcherban', G. Shchutska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2019. - Volume 98. -№2/5. – pp.16-22.
16. Первая Н.В., Андреева О.А., Щербань В.Ю. Дослідження технологічних параметрів процесу формування верху взуття / Н.В. Первая, О.А. Андреева, В.Ю. Щербань// Вісник Хмельницького національного університету.- 2020.-№ 1 (281). - С.175-181.
17. Щербань В.Ю., Іщенко В. Д., Колиско О.З., Гольдберг М.І., Щербань Ю.Ю. Комп'ютерна реалізація алгоритму Дейкстри для визначення форми заправки нитки на основі пошуку оптимального шляху графа / В.Ю. Щербань, В. Д. Іщенко, О.З. Колиско, М.І. Гольдберг, Ю.Ю. Щербань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022, №3 (309). – С. 217-220.
18. Щербань В.Ю., Іщенко В. Д., Колиско О.З., Гольдберг М.І., Щербань Ю.Ю. Визначення вагових функцій ребр неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху з використанням алгоритму Дейкстри / В.Ю. Щербань, В. Д. Іщенко, О.З. Колиско, М.І. Гольдберг, Ю.Ю. Щербань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022, №4 (311). – С. 270-273.

19. Shcherban' V., Kolysko O., Melnyk G., Sholudko M., Shcherban' Y. and Shchutska G. Determining tension of yarns when interacting with guides and operative parts of textile machinery having the torus form / V. Shcherban', O. Kolysko, G. Melnyk, M. Sholudko, Y. Shcherban' and G. Shchutska // *Fibres and Textiles*. – 2020. - Volume 27 - № 4 - pp. 87-95.
20. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Kolysko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches / V. Shcherban', G. Korogod, O. Kolysko, M. Kolysko, Yu. Shcherban', G. Shchutska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2020. - Volume 6. -№4 (108). – pp. 6-13.
21. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Kolysko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements / V. Shcherban', G. Korogod, O. Kolysko, M. Kolysko, Yu. Shcherban', G. Shchutska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2021. - Volume 2. -№9 (110). – pp. 27-36.
22. Scherban V.Yu. Determination of technological efforts in the process of surf during the formation of multilayer technical fabric / V.Yu. Shcherban // *Technology of the textile industry*. - 1990. - №3. - P.44-47.
23. Vasilchenko V.N. Equilibrium of a filament of a root base in the zone of formation of a multilayer technical fabric / V.N. Vasilchenko, V.Yu. Shcherban // *Technology of the textile industry*. - 1986. - № 5. - P.44-47.
24. Vasilchenko V.N. Influence of the twist of a Capron complex filament on the value of its flexural rigidity / V.N. Vasilchenko, V.Yu. Shcherban // *Technology of the textile industry*. - 1986. - №4. - P.8-9.
25. Scherban V.Yu. Determination of the geometric characteristics of the shape of the filament axis moving along the deformable guide surface / V.Yu. Shcherban // *Technology of the textile industry*. - 1990. - №6. - P.52-55.

26. Yakubitskaya I.A. Dynamic analysis of layout conditions on the end sections of the groove of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1997. - №5. - P.33-37.
27. Щербань В.Ю., Колиско О.З., Колиско М.І., Кириченко А.М., Щербань Ю.Ю. Комп'ютерні процедури програмного комплексу для визначення напруженості процесу подачі нитки на круглов'язальних машинах / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, М.І. Колиско, А.М. Кириченко, Ю.Ю. Щербань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022, №1 (305). – С. 256-259.
28. Vasilchenko V.N., Shcherban' V.Yu., Apokin Ts.V. Attachment for holding multilayer fabrics in the clamps of a universal tensile tester/ V.N. Vasilchenko , V.Yu. Shcherban', Ts.V. Apokin // Textile industry. – 1987. - №8. - pp.62.
29. Shcherban' V., Makarenko J., Melnyk G., Shcherban' Y., Petko A., Kirichenko A. Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guides/ V. Shcherban', J. Makarenko, G. Melnyk, Y. Shcherban', A. Petko, A. Kirichenko // Fibres and Textiles. – 2019. - Volume 26 - № 4 - pp. 59-68.
30. Shcherban' V., Makarenko J., Petko A., Melnyk G., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer implementation of a recursion algorithm for determining the tension of a thread on technological equipment based on the derived mathematical dependences / V. Shcherban', J. Makarenko, A. Petko, G. Melnyk, Yu. Shcherban', G. Shchutska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. - volume 104. -№2/1. – pp.41-50.
31. Ресурсоощадні технології виробництва текстилю, одягу та взуття: монографія: в 2 т. Т.1/Теоретичні основи та методи розроблення ресурсоощадних технологій та обладнання для виробництва текстилю, одягу та взуття/ В.Ю.Щербань, Б.Ф. Піпа, В.В. Чабан та ін. – К.:КНУТД, 2016. – 373 с.

32. Scherban V.Yu. Investigation of the process of duck surf during the formation of multilayer technical fabric / V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1990. - №4. - P.41-44.
33. Yakubitskaya I.A. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1997. - №6. - P.50-54.
34. Shcherban' V.Yu. Interaction of stiff yarns with the working parts of knitting and sewing machines/V.Yu. Shcherban' // Textile industry. -1988. - № 10. - pp.53.
35. Shcherban' V., Melnyk G. , Sholudko M. and Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation/V. Shcherban' , G. Melnyk , M. Sholudko, V. Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – Volume 25. - №2. – pp. 97-104.
36. Shcherban' V., Melnyk G. , Sholudko M., Kolysko O. and Kalashnyk V. Yarn tension while knitting textile fabric/V. Shcherban' , G. Melnyk , M. Sholudko , O. Kolysko, V. Kalashnyk// Fibres and Textiles. – 2018. - Volume 25. - №3. - pp. 74-83.
37. Shcherban' V., Melnyk G. , Sholudko M., Kolysko O. and Kalashnyk V. Improvement of structure and technology of manufacture of multilayer technical fabric/V. Shcherban' , G. Melnyk , M. Sholudko , O. Kolysko, V. Kalashnyk// Fibres and Textiles. – 2019. - Volume 26 - № 2 - pp. 54-63.
38. Ресурсоощадні технології виробництва текстилю, одягу та взуття: монографія: в 2 т. Т.2/Підвищення надійності ресурсоощадних виробництв текстилю, одягу і взуття на основі новітніх технологій та системного управління/ В.Ю.Щербань, Б.Ф.Піпа, В.В.Чабан. – К. : КНУТД, 2016. – 214 с.
39. Ресурсоощадні технології та обладнання швейної та текстильної промисловості: монографія: в 2 ч. Ч.1/Наукові основи та інженерні методи проектування ресурсоощадних технологій і обладнання швейної

- та текстильної промисловості/ В.Ю.Щербань, Г.Б.Параска, Б.В.Орловський. – К. : КНУТД, 2015. – 339 с.
40. Ресурсоощадні технології та обладнання швейної та текстильної промисловості: монографія: в 2 ч. Ч.2/Шляхи підвищення ефективності швейної та текстильної галузей України на базі новітніх технологій та управління/ В.Ю.Щербань, Г.Б.Параска, Б.В.Орловський. – К.: КНУТД, 2015. – 270 с.
41. Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення/А.М. Слізков , В.Ю. Щербань ,С.М. Краснитський , О.Б. Демківський. –К.:КНУТД, 2013. – 223 с.
42. Щербань В. Ю. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві/В.Ю.Щербань.-К.:КНУТД, 2016. – 184 с.
43. Щербань В. Ю. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві/В.Ю. Щербань.-К.: Освіта України, 2017. – 238 с.
44. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди/ В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К.: Освіта України, 2017. – 745 с.
45. Прогнозування процесів на основі моделювання часових рядів: навч. Посібник./ П.І. Бідюк, В.Ю.Щербань, Є.О. Демківський, Т.І. Демківська.- К.:КНУТД, 2017.-324 с.
46. Щербань В.Ю. Математичні та програмні компоненти САПР технологічних процесів та обладнання текстильної та взуттєвої галузі/ В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К.: Бумсервіс, 2016. – 588 с.
47. Слізков А.М., Щербань В.Ю., Кизимчук О.П. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництво): підручник / А.М. Слізков, В.Ю.Щербань, О.П. Кизимчук. – К.:КНУТД, 2018. – 276 с.

48. Щербань В.Ю. Механіка нитки/В.Ю.Щербань. – К.: Видавництво «Укрбланковидав». – 2018. – 533 с.
<https://ER.KNUTD.EDU.UA/HANDLE/123456789/9517>
49. Щербань В. Ю. Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві/ В.Ю. Щербань.-К.: Освіта України, 2018. – 257 с.
50. Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для визначення натягу ниток в робочій зоні технологічного обладнання/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 3(261). - С.7-11.
51. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько// Вісник Хмельницького національного університету.- 2018.-№ 2 (259). - С.12-16.
52. Щербань В.Ю. Удосконалення системи подачі ниток на основі оптимізації пружної системи заправки круглов'язальних машин/В.Ю.Щербань, Г.В. Мельник, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету.- 2018.- № 4 (263). - С.11-16.
53. Щербань В.Ю. Структура комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль/В.Ю. Щербань, А.К. Петко, О.З. Колиско, Ю.Ю. Щербань, М.І. Шолудько// Вісник Хмельницького національного університету.- 2020.-№ 1 (281). - С.249-253.
54. Щербань В.Ю. Програмні модулі комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для випадку змінного вхідного натягу/ В.Ю.Щербань, А.К. Петко, О.З. Колиско, Ю.Ю.Щербань, М.І. Шолудько// Вісник Хмельницького національного університету.- 2020.-№ 2 (283). - С.213-218.
55. Щербань В.Ю., Петко А.К., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Шолудько М.І. Комп'ютерна реалізація алгоритму рекурсії для випадку змінного діаметру сировини / В.Ю.Щербань, А.К. Петко, О.З. Колиско,

- Ю.Ю.Щербань, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету.- 2020, № 3(285). – С.263-267.
56. Щербань В.Ю., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Шолудько М.І., Мельник Г.В. Алгоритмічні та програмні компоненти при комп'ютерному визначенні натягу для шайбового натягувача з використанням рекурсії / В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, Ю.Ю.Щербань, М.І. Шолудько, Г.В. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. Том 1.- 2020, № 4(287).– С.252-256.
57. Щербань В.Ю., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Шолудько М.І., Мельник Г.В. Структура програмних модулів та процедур комп'ютерної програми для основних елементів системи при реалізації алгоритму рекурсії / В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, Ю.Ю.Щербань, М.І. Шолудько, Г.В. Мельник// Вісник Хмельницького національного університету. - 2020, № 5(289).– С.302-306.
58. Щербань В.Ю., Петко А.К., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Колиско М.І. База фрикційних властивостей комп'ютерної програми для визначення натягу нитки при реалізації алгоритму рекурсії / В.Ю.Щербань, А.К. Петко, О.З. Колиско, Ю.Ю.Щербань, М.І. Колиско // Вісник Хмельницького національного університету. - 2021, № 1(293).– С.234-237.
59. Щербань В.Ю., Петко А.К., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Галавська Л.Є. Програмні модулі та процедури комп'ютерної програми для визначення натягу кевларової нитки при в'язанні з використанням алгоритму рекурсії / В.Ю.Щербань, А.К. Петко, О.З. Колиско, Ю.Ю.Щербань, Л.Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. - 2021, № 2(295).– С.271-274.
60. Щербань В.Ю., Макаренко Ю.В., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Галавська Л.Є. Комп'ютерна реалізація алгоритму рекурсії при визначенні натягу ниток при формуванні багатошарових тканин з поліетиленових ниток / В.Ю. Щербань, Ю.В. Макаренко, О.З. Колиско,

Ю.Ю. Щербань, Л.Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2021, №3 (297). – С. 204-207.

61. Shcherban' V., Kolysko O., Melnyk G., Sholudko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. and Kolva N. Determination of tension for polyamide and basalt multifilament yarns while weaving industrial fabrics / V. Shcherban', O. Kolysko, G. Melnyk, M. Sholudko, Yu. Shcherban', G. Shchutska, N. Kolva // *Fibres and Textiles*. – 2021. - Volume 28 - № 1 - pp. 75-85.
62. Щербань В.Ю., Макаренко Ю.В., Колиско О.З., Щербань Ю.Ю., Колиско М.І. Реалізація програмних модулів процедури рекурсії при комп'ютерному визначенні натягу основних ниток багатошарової тканини для військового спорядження / В.Ю. Щербань, Ю.В. Макаренко, О.З. Колиско, Ю.Ю. Щербань, М.І. Колиско // Вісник Хмельницького національного університету. – 2021, №4 (299). – С. 155-159.