

УДК 677.055, 621.01

СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН ЗІ СТРУКТУРНИМИ ГРУПАМИ ІІІ КЛАСУ

В.М. Дворжак, Б.В. Орловський, Б.М. Петрів, М.Г. Залюбовський

Київський національний університет технологій та дизайну

Повідомлення 1

Розглянуто схемотехнічне моделювання механізму основов'язальної машини, який містить одну ведучу ланку у вигляді кривошипа, одну приєднану до нього структурну групу Асура ІІІ класу та реалізує закон руху робочого органу петлетворення із зупинкою за цикл в'язання одного петельного ряду трикотажу, із застосуванням програми, створеної в середовищі математичного процесора MathCAD

Ключові слова: структурна група ІІІ класу, шарнірно-важільний механізм, основов'язальна машина, закон руху із зупинкою

В основов'язальних машинах для забезпечення робочим органам петлетворення складних законів руху впродовж циклу петлетворення зазвичай використовуються багатоланкові шарнірно-важільні механізми. Наприклад, у механізмі платин основов'язальної машини «Кокетт» (Німеччина) [1] застосований 12-ланковий механізм зі структурними групами Асура класу вище другого та трьома ведучими кривошипами. Такий механізм забезпечує закон руху платинам із декількома тривалими зупинками упродовж циклу процесу петлетворення.

З огляду на можливості виконання різноманітних кінематичних задач механізми ІІІ класу є доволі «гнучкими», про що зазначається у роботі [1] при дослідженні механізму третього класу основов'язальної машини ФНФ (Англія): змінюючи геометричні параметри механізму можна досягти законів руху із зупинками веденої ланки різної тривалості.

Для аналітичного кінематичного дослідження механізмів ІІІ класу може використовуватись метод замкнутих векторних контурів В. А. Зинов'єва [2]; при цьому зазначається, що дослідити групу Асура ІІІ класу можна отримавши систему чотирьох тригонометричних рівнянь, які диференціюють за узагальненою координатою.

У роботі [5] зазначається, що для дослідження кінематики механізмів доцільніше використовувати *MathCAD*, як інструмент розв'язку векторних рівнянь, які не мають графічного розв'язку на площині, і це дає можливість скоротити обсяг обчислень і одержати відносно компактну програму.

Постановка завдання

Метою роботи є схемотехнічне моделювання кінематичної схеми 6-ланкового шарнірно-важільного механізму III класу з одним ведучим кривошипом та отримання функції положення, функції швидкості та функції прискорення за цикл утворення одного петельного ряду трикотажу.

Об'єкти та методи досліджень

Предметом дослідження є процес створення математичної моделі 6-ланкового шарнірно-важільного механізму III класу основов'язальної машини. Дослідження виконувалися з використанням програми, створеної в середовищі математичного процесора *MathCAD* [4], методом векторного перетворення координат [6].

Результати досліджень та їх обговорення

При створенні математичної моделі досліджуваного механізму за методом векторного перетворення координат позначення всіх вихідних і розрахункових параметрів були прийняті як у роботі [3].

Схемотехнічне моделювання механізму, що досліджується, виконуватимемо у правій декартовій системі координат з початком у точці P_1 (рис. 1). Вісь абсцис X спрямуємо уздовж осі головного вала праворуч, вісь ординат Y – перпендикулярно до осі головного вала вгору, вісь аплікату Z – перпендикулярно до осі головного вала на спостерігача. Таким чином, механізм розміщується в площині XY .

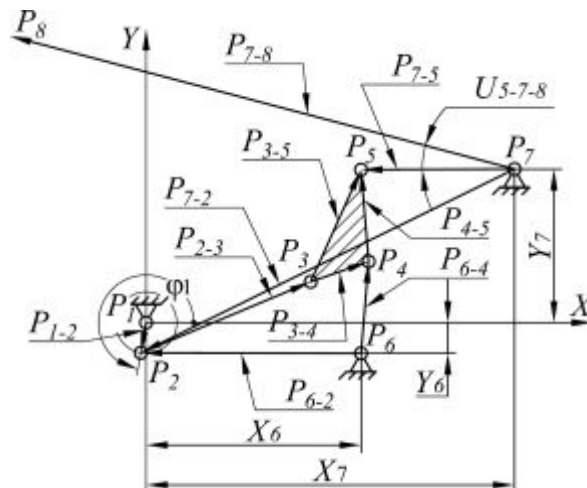


Рис. 1. Розрахункова схема механізму

Механізм, що досліджується, складається з механізму I класу I виду – кривошипа P_{1-2} , який обертається навколо осі Z проти годинникової стрілки. Початковий кут повороту φ_0 кривошипа відраховується від осі абсцис проти

годинникової стрілки. До кривошипа P_{1-2} приєднується одна триповідкова група Асура 2-3-4-5-6-7 з повідками 3-2, 4-6 та 5-7 і базисною ланкою 3-4-5; у точках P_3 , P_4 , та P_5 базисна ланка 3-4-5 утворює обертальні кінематичні пари зі своїми повідками 3-2 (шатун), 4-6 (коромисло) та 5-7 (коромисло), які, у свою чергу, утворюють обертальні кінематичні пари: P_2 – «кривошип 1-2–шатун 2-3»; P_6 – «коромисло 4-6–стояк механізму»; P_7 – «коромисло 5-7–стояк механізму». Робоча точка механізму P_8 розміщується на відростку 7-8 коромисла 5-7. Кут U_{5-7-8} визначає положення відростка P_{7-8} відносно плеча коромисла P_{5-7} .

Складаємо вектори-стовпчики координат стояків P_1 , P_6 , та P_7 (рис. 1):

$$P_1 := \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}; \quad P_6 := \begin{pmatrix} X_6 \\ Y_6 \\ Z_6 \end{pmatrix}; \quad P_7 := \begin{pmatrix} X_7 \\ Y_7 \\ Z_7 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Визначаємо матрицю $T_Z(\alpha)$ 2D повороту вектора r навколо осі Z :

$$T_Z(\alpha) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \cos(90+\alpha) & 0 \\ \cos(90-\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Складаємо функцію ρ_Z 2D повороту вектора r навколо осі Z :

$$\rho_Z(r, \alpha, \text{НоваДовжина}) := T_Z(\alpha) \cdot \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{НоваДовжина}}{|r|}, \quad (3)$$

де *НоваДовжина* – довжина вектора r після повороту його на кут α ; відношення $\frac{\text{НоваДовжина}}{|r|}$ визначає масштабний коефіцієнт, на який потрібно помножити модуль вектора r , щоб він змінився (збільшився чи зменшився) до значення *НоваДовжина*.

Вектор значень кута φ_1 задаємо у вигляді ранжируваної змінної:

$$\varphi_1 := \varphi_0 \cdot \varphi_0 + \Delta\varphi_1 \cdot \varphi_{\max}, \quad (4)$$

де $\varphi_0 = 0$ – перше (початкове) значення кута φ_1 повороту кривошипа;

φ_{\max} – кінцеве значення кута φ_1 ; $\varphi_{\max} := \varphi_0 + \text{Rotation} \cdot n \cdot 360^\circ$, де n – кількість обертів кривошипа;

$\Delta\varphi_1$ – крок значень кута φ_1 ; $\Delta\varphi_1 := \frac{\varphi_{\max} - \varphi_0}{N_{POL}}$, де $N_{\text{положень}}$ – кількість положень досліджуваного механізму.

Для випадку, коли початкове значення кута встановлення кривошипа механізму не дорівнює нулю, введемо в розгляд значення φ_{MO} повороту кривошипа, використання якого дозволить будувати графіки досліджуваних функцій положення, швидкостей та

прискорень від нульового значення, яке фактично буде відрізнятись від початкового положення кривошипа на величину φ_{M0} за умови, що початковий кут повороту кривошипа $\varphi_0 = 0$. З урахуванням цього, запишемо вираз, який визначатиме миттєве значення кута повороту $\varphi_{M1}(\varphi_1)$ (узагальнену координату) для механізму, що досліджується:

$$\varphi_{M1}(\varphi_1) := \varphi_1 + \varphi_{M0}. \quad (5)$$

Вектори-ланки та вектори-точки механізму I класу I виду визначаємо з урахуванням функції повороту вектора (3).

Вектор функції положення кривошипа (вектор-ланка P_{1-2}):

$$P_{1-2}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{M1}(\varphi_1), L_{1-2}), \quad (6)$$

де e_X – орт осі координат X [6];

$\varphi_{M1}(\varphi_1)$ – кут повороту ведучої ланки – кривошипа $I-2$; напрямок повороту кута φ_1 проти годинникової стрілки задається у *MathCAD* змінною *Rotation*: = 1.

Згідно з виразом (6) визначаються координати точки P_2 у системі координат з початком у точці P_1 .

У загальному випадку, коли точка P_1 не лежить на початку координат, координати точки P_2 визначають за наступним виразом:

$$P_2(\varphi_1) := P_1 + P_{1-2}(\varphi_1). \quad (7)$$

Умовно зупиняємо кривошип $I-2$ та розглядаємо два чотириланковики, наприклад, 2-3-4-6 та 2-3-5-7, для яких складаємо відповідні векторні рівняння замкнутості контурів:

$$P_{6-2}(\varphi_1) + P_{2-3}(\varphi_1) + P_{3-4}(\varphi_1) = P_{6-4}(\varphi_1), \quad (8)$$

$$P_{7-2}(\varphi_1) + P_{2-3}(\varphi_1) + P_{3-5}(\varphi_1) = P_{5-7}(\varphi_1), \quad (9)$$

де $P_{6-2}(\varphi_1)$ та $P_{7-2}(\varphi_1)$ – вектори змінної довжини, які визначаються з відповідних виразів (10) і (11):

$$P_{6-2}(\varphi_1) := P_2(\varphi_1) - P_6, \quad (10)$$

$$P_{7-2}(\varphi_1) := P_2(\varphi_1) - P_7. \quad (11)$$

Для визначення кутів φ_{2-3} та φ_{3-4} спроектуємо векторні рівняння (8) та (9) на осі координат та дістанемо:

$$P_{6-2}(\varphi_1)_X + L_{2-3} \cdot \cos(\varphi_{2-3}) + L_{3-4} \cdot \cos(\varphi_{3-4}) = L_{6-4} \cdot \cos(\varphi_{6-4}), \quad (12)$$

$$P_{6-2}(\varphi_1)_Y + L_{2-3} \cdot \sin(\varphi_{2-3}) + L_{3-4} \cdot \sin(\varphi_{3-4}) = L_{6-4} \cdot \sin(\varphi_{6-4}), \quad (13)$$

$$P_{7-2}(\varphi_1)_X + L_{2-3} \cdot \cos(\varphi_{2-3}) + L_{3-5} \cdot \cos(\varphi_{3-4} + U_{4-3-5}) = L_{5-7} \cdot \cos(\varphi_{7-5}), \quad (14)$$

$$P_{7-2}(\varphi_1)_Y + L_{2-3} \cdot \sin(\varphi_{2-3}) + L_{3-5} \cdot \sin(\varphi_{3-4} + U_{4-3-5}) = L_{5-7} \cdot \sin(\varphi_{7-5}). \quad (15)$$

Для того, щоб позбавитися від невідомих кутів φ_{6-4} та φ_{7-5} піднесемо ліві та праві їхні частини відповідних виразів (12) і (13) та (14) і (15) до квадрата, а потім додамо їх.

Для розв'язку отриманих рівнянь скористаємося в *MathCAD* обчислювальним блоком *Given-Find*, прийнявши початкові значення $\varphi_{2-3} = 1$ та $\varphi_{3-4} = 1$:

Given

$$(P_{6-2}(\varphi_1)_X + L_{2-3} \cdot \cos(\varphi_{2-3}) + L_{3-4} \cdot \cos(\varphi_{3-4}))^2 + (P_{6-2}(\varphi_1)_Y + L_{2-3} \cdot \sin(\varphi_{2-3}) + L_{3-4} \cdot \sin(\varphi_{3-4}))^2 = L_{4-6}^2, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & (P_{7-2}(\varphi_1)_X + L_{2-3} \cdot \cos(\varphi_{2-3}) + L_{3-5} \cdot \cos(\varphi_{3-4} + U_{4-3-5}))^2 + \\ & + (P_{7-2}(\varphi_1)_Y + L_{2-3} \cdot \sin(\varphi_{2-3}) + L_{3-5} \cdot \sin(\varphi_{3-4} + U_{4-3-5}))^2 = L_{5-7}^2, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{pmatrix} \varphi_{2-3}(\varphi_1) \\ \varphi_{3-4}(\varphi_1) \end{pmatrix} := \text{Find}(\varphi_{2-3}, \varphi_{3-4}). \quad (18)$$

У виразі (17) обчислювального блока *Given-Find* кут U_{4-3-5} – це кут між векторами P_{3-4} та P_{3-5} (додатний напрямок кута U_{4-3-5} відраховується від вектора P_{3-4} до вектора P_{3-5} проти годинникової стрілки). Для його визначення використовуємо функцію для визначення кута між векторами за теоремою косинусів [6]:

$$U_{4-3-5}(\varphi_1) := T \cos(L_{3-5}, L_{3-4}, L_{4-5}). \quad (19)$$

Як зазначається у роботі [5] у загальному випадку розв'язків (варіантів складання групи) може бути декілька; наприклад, для групи III класу максимальне число складання може дорівнювати шести.

Тому ми пропонуємо для визначення конкретного складання даної групи використовувати візуалізацію та анімацію її кінематичної схеми у *MathCAD* (рис. 2).

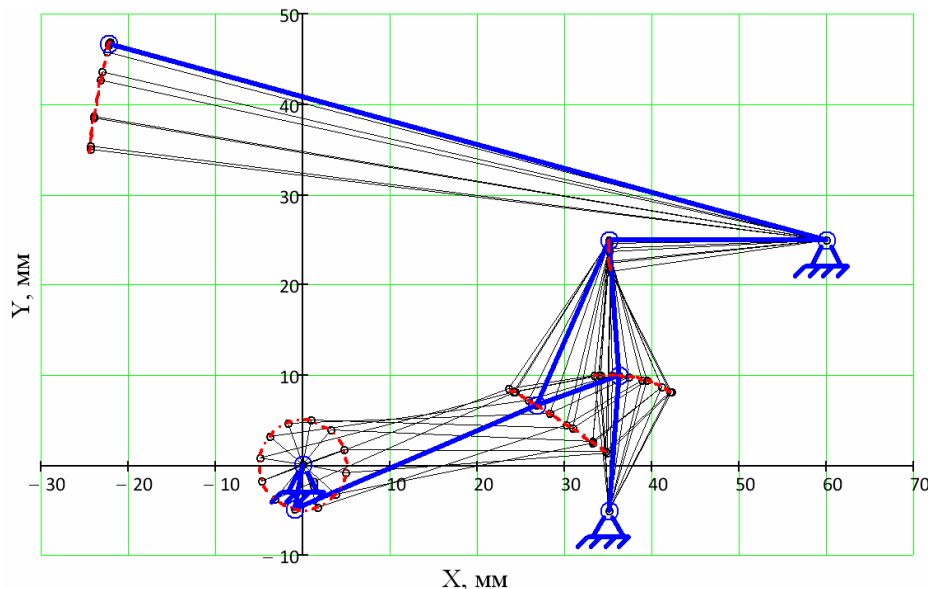


Рис. 2. Графік візуалізації в *MathCAD* кінематичної схеми досліджуваного механізму із зображеними на ньому 12 положеннями

Вектор функцію положення повідка 2-3 (вектор-ланка P_{2-3}) визначаємо з використанням функції повороту вектора (3) та функції кута повороту першого повідка $\varphi_{2-3}(\varphi_1)$, визначеного за виразом (18):

$$P_{2-3}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{2-3}(\varphi_1), L_{2-3}). \quad (20)$$

Функцію положення кінематичної пари «перший поводок 2-3» та «базисна ланка 3-4-5» визначаємо як вектор-точку P_3 , тобто як суму вектора-точки P_2 та вектора-ланки першого повідка P_{2-3} :

$$P_3(\varphi_1) := P_2(\varphi_1) + P_{2-3}(\varphi_1). \quad (21)$$

Вектор функцію положення елемента 3-4 (вектор-ланка P_{3-4}) базисної ланки визначаємо з використанням функції повороту вектора (3) та функції кута повороту $\varphi_{2-3}(\varphi_1)$ елемента 3-4 базисної ланки, визначеного за виразом (18):

$$P_{3-4}(\varphi_1) := \rho_Z(e_X, \varphi_{3-4}(\varphi_1), L_{3-4}). \quad (22)$$

Функцію положення кінематичної пари «другий поводок 6-4» та «базисна ланка 3-4-5» визначаємо як вектор-точку P_4 , тобто як суму вектора-точки P_3 та вектора-ланки P_{3-4} елемента 3-4 базисної ланки:

$$P_4(\varphi_1) := P_3(\varphi_1) + P_{3-4}(\varphi_1). \quad (23)$$

Вектор функцію положення елемента 3-5 (вектор-ланка P_{3-5}) базисної ланки визначаємо з використанням функції повороту вектора (3) та кута U_{4-3-5} між елементами 3-4 та 3-5 базисної ланки зі спільною вершиною у точці 3:

$$P_{3-5}(\varphi_1) := \rho_Z(P_{3-4}(\varphi_1), U_{4-3-5}, L_{3-5}). \quad (24)$$

Функцію положення кінематичної пари «третій поводок 7-5» та «базисна ланка 3-4-5» визначаємо як вектор-точку P_5 , тобто як суму вектора-точки P_3 та вектора-ланки P_{3-5} елемента 3-5 базисної ланки:

$$P_5(\varphi_1) := P_3(\varphi_1) + P_{3-5}(\varphi_1). \quad (25)$$

Вектор функцію положення третього повідка 7-5 (вектор-ланка P_{7-5}) визначаємо як різницю векторів-точок P_5 та P_7 :

$$P_{7-5}(\varphi_1) := P_5(\varphi_1) - P_7. \quad (26)$$

Приймемо, що робочий орган петлетворення з робочою точкою P_8 належить третьому повідку 7-5 та розташовується на його відростку 7-8, який характеризується довжиною L_{7-8} та кутом U_{5-7-8} між третім повідком та його відростком. Тоді запишемо вирази для визначення робочої точки P_8 у *MathCAD*.

Вектор функцію положення відростка 7-8 (вектор-ланка P_{7-8}) третього повідка

визначаємо з використанням функції повороту вектора (3) та кута U_{5-7-8} :

$$P_{7-8}(\varphi_1) := \rho_Z(P_{7-5}(\varphi_1), U_{5-7-8}, L_{7-8}). \quad (27)$$

Функцію положення робочої точки P_8 визначимо як суму вектора-точки P_7 та вектора-ланки P_{7-8} :

$$P_8(\varphi_1) := P_7 + P_{7-8}(\varphi_1). \quad (28)$$

Виконаємо перехід від коливального руху важеля (у нашому відростка 7-8 третього повідка) до робочої точки 8 за залежністю $S = R \cdot \psi$ [1], де R – відстань від робочої точки до осі коливання; ψ – кут повороту важеля.

Згідно з [3] визначимо кут коливання відростка 7-8, використовуючи вбудовану в *MathCAD* функцію $atan2(x, y)$:

$$\psi_{7-8}(\varphi_1) := atan2(P_{7-8}(\varphi_1)_Y, P_{7-8}(\varphi_1)_Z) \cdot deg^{-1}, \quad (29)$$

Переміщення робочої точки визначиться з наступного виразу:

$$S_8(\varphi_1) := [P_{7-8}(\varphi_1) \cdot \psi_{7-8}(\varphi_1) - |P_{7-8}(\varphi_0)| \cdot \psi_{7-8}(\varphi_0)] \cdot deg. \quad (30)$$

Параметри механізму, за якими проводилися дослідження: $P_{1X} = 0$ мм; $P_{1Y} = 0$ мм; $P_{1Z} = 0$ мм; $P_{6X} = 35$ мм; $P_{6Y} = -5$ мм; $P_{6Z} = 0$ мм; $P_{7X} = 60$ мм; $P_{7Y} = 25$ мм; $P_{7Z} = 0$ мм; $L_{1-2} = 5$ мм; $L_{2-3} = 30$ мм; $L_{3-4} = 10$ мм; $L_{3-5} = 20$ мм; $L_{4-6} = 15$ мм; $L_{5-7} = 25$ мм; $L_{4-5} = 15$ мм; $L_{7-8} = 85$ мм; $U_{4-3-5} = 46,567^\circ$; $U_{5-7-8} = -15^\circ$.

Згідно з виразом (30) побудований графік функції положення робочої точки механізму основов'язальної машини (рис. 3). При цьому геометричні параметри механізму при його метричному синтезі були підібрані таким чином, щоб робоча точка реалізувала закон руху із зупинкою.



Рис. 3. Графік переміщення робочої точки механізму III класу

Згідно з графіком функції положення робочої точки зупинка відбувається приблизно на 225° кута повороту ведучої ланки, а закінчується на 360° ; фазовий кут

зупинки становить біля 135° .

Функції лінійних та кутових швидкостей та прискорень відповідно точок та ланок механізму III класу будуть визначені у повідомленні 2.

Висновки

Отримані математичні вирази дозволяють виконати моделювання кінематичної схеми шарнірно-важільного механізму III класу для приводу робочого органу петлетворення основов'язальної машини із зупинкою за цикл утворення одного петельного ряду трикотажу та дослідити взаємне переміщення робочих органів петлетворення основов'язальної машини із застосуванням прикладної комп'ютерної програми, створеної в середовищі математичного процесора *MathCAD*. Повертання розрахункової схеми механізму (рис. 1) на кут 90° проти годинникової стрілки у площині руху механізму дозволяє використовувати отримані результати для механізму коливального руху вушкових голок міні-основов'язальної машини [7]. Результати розрахунку впроваджені в навчальну дисципліну «Схемотехнічне проектування машин» кафедри машин легкої промисловості Київського національного університету технологій та дизайну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гарбарук В. Н. Проектирование трикотажных машин: [учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты текстильной промышленности»] / В. Н. Гарбарук – М. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние 1980. – 472 с.
2. Кошель С. О. Аналіз плоских механізмів з структурними групами 3-го класу / С. О. Кошель, Г. В. Кошель // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2012. – № 4. – С. 22-25.
3. Майданюк Т. А. Схемотехнічне моделювання механізму голок основов'язальної машини. [електронний ресурс] / Т. А. Майданюк, Б. В. Орловський, В. М. Дворжак // Технології та дизайн. – 2012. – № 2. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/td/2012_2/index.html.
4. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в MathCAD. Учебный курс. / Е. Г. Макаров – СПб. : Питер, 2005. – 448 с. – ISBN 5-94723-530-7.
5. Мацюк И. Н. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов высоких классов в программе MathCAD. [електронний ресурс] / И. Н. Мацюк, В. М. Третьяков, Э. М. Шляхов // Теория механизмов и машин. – 2012. – № 1.

Том 10. – С. 65-70. – Режим доступу до журн.: <http://tmm.spbstu.ru/journal.html>.

6. Орловський Б. В. Схемотехнічне моделювання кінематичних схем механізмів з двома ступенями вільності основов'язальних машин / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 1. – С. 33-42.
7. Пат. 84693 Україна, МПК D 04 B 23/00. Основов'язальна машина / Орловський Б. В., Дворжак В. М., Орловський Я. Б.; заявник і патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. – № а 200506679 ; заявл. 07.07.2005 ; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.

В.Н. Дворжак, Б.В. Орловский, Б.М. Пэтрив, М.Г. Залюбовский
Схемотехническое моделирование механизмов основовязальных машин со структурными группами III класса

В статье рассматривается схемотехническое моделирование механизма основовязальной машины, содержащего одно ведущее звено в виде кривошипа, одну присоединенную к нему структурную группу Ассура III класса и реализующего закон движения рабочего органа петлеобразования с выстоем за цикл вязания одного петельного ряда трикотажа, с применением программы, созданной в среде математического процессора MathCAD

Ключевые слова: *структурная группа III класса, шарнирно-рычажный механизм, основовязальная машина, закон движения с выстоем*

V.M. Dvorzhak, B.V. Orlovsky, B.M. Petriv, M.G. Zalyubovsky
Circuit simulation mechanisms of warp-knitting machines to structural class III groups

The article deals with circuit simulation mechanism warp machine containing one master link in a crank attached to it a structural group of Assure III class, the mechanism implements the law of motion to dwell for a series of knitting a looped series jersey, simulation was carried out in the program MathCAD

Keywords: *structural group III class, track-bar mechanism, warp-knitting machine, law of motion to dwell*