

Розділ 2. КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ МЧВ

2.1. Загальні зауваження

Аналіз даних, наведений в 1-у розділі, показує, що задані умови роботи механізму (тривалість і точність зупинки, коефіцієнт зміни середньої швидкості, кут розмаху або максимальний хід вихідної ланки, кути передачі тощо) можуть бути забезпечені різними кінематичними схемами МЧВ, тобто різними значеннями розмірів їхніх ланок. Ця обставина дозволяє в процесі проектування враховувати й інші важливі кінематичні та динамічні характеристики механізму, зокрема швидкості й прискорення ланок, реакції в кінематичних парах, умови передачі зусиль, ККД тощо.

При заданому законі руху вхідної ланки (кривошипа) величина і характер зміни кінематичних параметрів руху ланок механізму, у тому числі закон руху вихідної ланки, залежать, насамперед, від його відносних розмірів (наприклад, у МЧВ1 – Ω , a , r , b , γ ; у МЧВ2 — Ω , a , r , χ_1).

У цій главі розглядаються результати аналітичного дослідження за допомогою ЕОМ кінематики МЧВ. Ці дослідження дозволили встановити вплив геометричних параметрів базисного механізму (ЛМЧ) і приєднаної групи на величину й характер зміни відносних кінематичних і деяких динамічних параметрів МЧВ, дати якісну (порівняльну) характеристику законів руху вихідної ланки, а при заданому законі руху кривошипа визначити й абсолютні значення досліджуваних параметрів. Отримані дані дозволяють вибрати з множини можливих сполучень геометричних параметрів МЧВ такі, які не тільки забезпечують задані технологічні умови, але мають при цьому найкращі кінематичні і динамічні характеристики.

2.2. Аналітична кінематика шарнірних механізмів II класу

У сучасній технічній літературі опубліковано велику кількість праць з аналітичного дослідження шарнірних механізмів [6, 9, 14, 18, 19, 22, 26, 31, 33, 35, 37, 42, 43, 44, 49, 50, 52, 63]. Проте, якщо розглянути загальні методи розв'язування цих задач, універсальні для будь-якого механізму, можна виділити дві їх різновидності:

- 1) метод замкнених векторних контурів, який запропонував В. А. Зінов'єв;
- 2) метод перетворення координат, який запропонував Ю. Ф. Морошкін.

Спільне використання обох методів при кінематичному дослідженню механізмів II класу дозволяє значно спростити аналітичні залежності для визначення переміщень ланок, їх швидкостей та прискорень, звести аналітичні дослідження цих механізмів до дослідження окремих структурних груп [31].

При складанні алгоритмів кінематичного аналізу шарнірних механізмів II класу, як правило, використовується метод замкнених векторних контурів [6, 37, 43, 63]. При цьому остаточні залежності залежать не тільки від видів груп, але і від способу та місця їх приєднання до основного механізму, варіантів складання груп.

З метою спрощення аналітичного дослідження механізмів доцільно розглядати рух ланок кожної групи окремо, з врахуванням кінематичних параметрів точок під'єднання, значення яких або задаються або визначаються рухом ланок основного механізму [11, 19, 30, 31, 42, 45, 50].

Положення будь-якої точки A на координатній площині (рис. 29) можна задати координатами x_A і y_A , точки B – координатами x_B , y_B і т. д. або радіусом-вектором \vec{l}_{OA} відносно початку координат O . Модуль радіуса-вектора і напрямний кут φ_i зв'язані з координатами, наприклад, точки $A(x_A, y_A)$ наступними залежностями [11]

$$l_{OA} = \sqrt{x_A^2 + y_A^2}; \quad \varphi_i = \arctg \frac{y_A}{x_A} \quad (2.1)$$

або, навпаки, координати точки A можна виразити через модуль радіуса-вектора і напрямний кут:

$$x_A = r_A \cos \varphi_i; \quad y_A = r_A \sin \varphi_i. \quad (2.2)$$

Положення будь-якої ланки на координатній площині можна задати координатами двох точок $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$ або координатою однієї точки, наприклад точки A , довжиною ланки AB і значенням напрямного кута φ_{AB} (рис. 29).

Залежності для визначення координат точок під'єднання структурної групи до основного механізму розглядаються нижче.

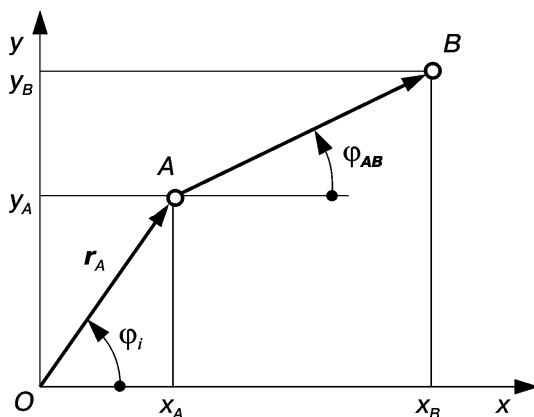


Рис. 29. Визначення положень точки або ланки на координатній площині

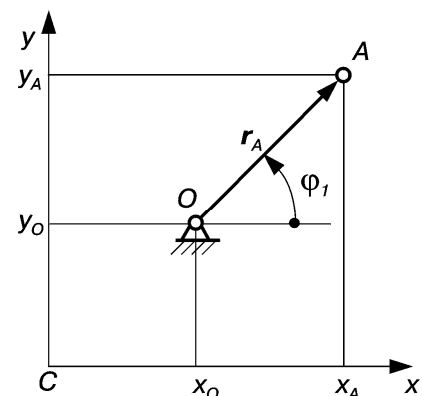


Рис. 30. Механізм I класу

Кінематика механізму I класу. Початкова ланка і стояк утворюють механізм I класу. Залежно від того, яку кінематичну пару утворюють ланки механізму – обертову чи поступальну – початкова ланка здійснює відносно стояка відповідно обертовий або поступальний рух. В МЧВ початкова ланка здійснює обертовий рух (рис. 30).

Оскільки механізм утворюється приєднанням до механізму I класу структурних груп, ланки яких мають нульовий ступінь рухомості, то закони руху ланок механізму (при інших рівних умовах) визначаються законом руху кривошипа OA , тобто кутовою швидкістю ω_1 і кутовим прискоренням ε_1 .

Координати точки A ланки I

$$x_A = x_O + l_{OA} \cos \varphi_1; y_A = y_O + l_{OA} \sin \varphi_1, \quad (2.3)$$

де x_O, y_O – координати центра обертання кривошипа в системі координат xCy ; φ_1 – узагальнена координата (кут, який визначає положення кривошипа OA).

Якщо початок координат C і центр обертання ланки збігаються, залежності (2.3) набувають вигляду

$$x_A = l_{OA} \cos \varphi_1; y_A = l_{OA} \sin \varphi_1. \quad (2.4)$$

Тут і далі знаки координат або інших величин визначаються знаками тригонометричних функцій, а тому залежності (2.3), (2.4) справедливі для будь-якого значення φ_1 . Кути, які визначають положення ланок, вимірюються від додатного напрямку осі абсцис проти руху годинникової стрілки; початок відліку позначають точкою, напрямком – стрілкою. Можливий відлік кутів від іншої лінії. Кути, які відлічують проти руху годинникової стрілки, будемо вважати додатними, за рухом годинникової стрілки – від’ємними.

Продиференціювавши рівняння (2.3) або (2.4) за узагальненою координатою φ_1 , одержимо аналоги проєкцій швидкості точки A на координатні осі x і y :

$$x'_A = -l_{OA} \sin \varphi_1; y'_A = l_{OA} \cos \varphi_1, \quad (2.5)$$

де $x'_A = \frac{dx_A}{d\varphi_1}$; $y'_A = \frac{dy_A}{d\varphi_1}$; $\varphi'_1 = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_1} = 1$.

Повторним диференціюванням рівняння (2.5) знаходимо аналоги проєкцій прискорень точки A на ці самі осі:

$$x''_A = -l_{OA} \cos \varphi_1 = -y'_A; y''_A = -l_{OA} \sin \varphi_1 = x'_A, \quad (2.6)$$

де $x''_A = \frac{d(x'_A)}{d\varphi_1} = \frac{d^2 x_A}{d\varphi_1^2}$; $y''_A = \frac{d(y'_A)}{d\varphi_1} = \frac{d^2 y_A}{d\varphi_1^2}$; $\varphi''_1 = \frac{d\varphi'_1}{d\varphi_1} = 0$.

Тут і нижче приймаємо кутову швидкість руху кривошипа $\omega_1 = \text{const}$.

Для зручності одержання загальної програми кінематичного дослідження механізмів за допомогою ЕОМ на рис. 31 наведена підпрограма КМ1, яка дозволяє визначити кінематичні параметри кривошипа при заданих координатах його центра обертання (x_0, y_0) , довжини кривошипа $l_{OA}=r$ і значеннях узагальненої координати φ_1 . Відповідність між формальними параметрами підпрограми та фізичними параметрами механізмами наведено в табл. 3.

```

КИНЕМАТИКА МЕХАНИЗМА 1 КЛАССА
SUBROUTINE KM1 (X0, Y0, R, F1, XA,
1YA, AXA, AYA, WXA, WYA)
XA=R*COS(F1)+X0
YA=R*SIN(F1)+Y0
AXA=-R*SIN(F1)
AYA=R*COS(F1)
WXA=-AYA
WYA=AXA
RETURN
END

```

Рис. 31. Підпрограма для дослідження кінематики механізму I класу

3. Відповідність між формальними і фактичними параметрами в програмах (підпрограмах) КМ1, КДТ, КГ1, ПРИМЕР, РКТ, КГ2, КГ3, КГ4, КГ5/ МТВ1, МТВ2 (крім параметрів, які вказані в табл. 1, 2)

$X0 - x_0$	$AF1 - \varphi_1'$	$AYM2 -$ $-y_{M2}'$	$LK1 - l_{k1}$	$BKMO - B'$
$Y0 - y_0$	$WF1 - \varphi_1''$	$WXM2 -$ $-x_{M2}''$	$ALK1 - l_{k1}'$	$CKMO - C'$
$K - \sigma$	$LI - l_l$	$WYM2 -$ $-y_{M2}''$	$WLK1 - l_{k1}''$	$DKMO - D'$
$F1 - \varphi_1$	$LJ - l_j$	$FI2 - \varphi_{i2}$	$LKI - l_{ki}$	$NV - N_B$
$XA - x_A$	$FJ - \varphi_j$	$MT - e$	$ALKJ - l_{kj}'$	$ND - N_D$
$YA - y_A$	$AFJ - \varphi_j'$	$FK - \varphi_k$	$WLKJ - l_{kj}''$	$F2 - \varphi_2$
$AXA - x_A'$	$WFJ - \varphi_j''$	$LK - l_k$	$ALI - \alpha_l$	$AF2 - \varphi_2'$
$AYA - y_A'$	$MJ - \mu$	$AFK - \varphi_k'$	$ALJ - \alpha_j$	$WF2 - \varphi_2''$
$WXA - x_A''$	$MN - \overline{MN}$	$ALK - l_{k1}''$	$LXN - l_{xN}$	$MJ1 - \mu_1$
$WYA - y_A''$	$PSI - \psi$	$WFK - \varphi_k''$	$ALXN - l_{xN}'$	$MJ2 - \mu_2$
$XM - x_M$	$DEL - \delta$	$WLK - l_{k1}''$	$WLXN - l_{xN}''$	$AK - a_k$
$YM - y_M$	$KAP - \kappa$	$L2 - l_2$	$AF5M - \varphi_{5m}'$	$BK - b_k$
$AXM - x_M'$	$KSI - \xi, \xi_l$	$AD - \overline{AD}$	$WF5M - \varphi_{5m}''$	$CK - c_k$
$AYM - y_M'$	$AKSI -$ $-\xi', \xi_l'$	$N - N$	$AWF5 - N_{k5}$	$DK - d_k$
$WXM - x_M''$	$WKSI -$ $-\xi'', \xi_l''$	$GAD - \gamma_D$	$AWF5M -$ $-N_{k5m}$	$B5 - \beta_5$
$WYM - y_M''$	$XM2 - x_{M2}$	$KSJ - \xi_j$	$BKM - B$	$SE - S_E$
$MSI - l_{MS_i}$	$YM2 - y_{M2}$	$AKSJ - \xi_j'$	$CKM - C$	$AWXE -$ $-N_{kE}$
$GSI - \gamma_{S_i}$	$AXM2 - x_{M2}'$	$WKSJ - \xi_j''$	$DKM - D$	$AWEM -$ $-N_{kEm}$
$FI - \varphi_l$				

Примітка. Параметри руху точок D, E, F, N, S_j позначені аналогічно параметрам точки M , ланок 3, 4, 5 – ланки 2.

програмуванні на мові Фортран IV треба використовувати оператор ATAN2(Y,X) [54], де $Y = y_M - y_N$, $X = x_M - x_N$.

Розглянувши ΔMDN , одержимо

$$\mu = \arccos \frac{l_i^2 + l_j^2 - \Delta^2}{2l_i l_j}; \quad (2.8)$$

$$\delta = \arccos \frac{l_i^2 + \Delta^2 - l_j^2}{2l_i \Delta}; \quad (2.9)$$

$$\chi = \pi - \delta - \mu. \quad (2.10)$$

Тоді

$$\varphi_i = \psi + \delta; \quad \varphi_j = \pi + \psi - \chi. \quad (2.11)$$

Координати центрів мас S_i і S_j :

$$x_{S_i} = x_M + l_{MS_i} \cos(\varphi_i + \gamma_{S_i}); \quad y_{S_i} = y_M + l_{MS_i} \sin(\varphi_i + \gamma_{S_i}); \quad (2.12)$$

$$x_{S_j} = x_N + l_{NS_j} \cos(\varphi_j + \gamma_{S_j}); \quad y_{S_j} = y_N + l_{NS_j} \sin(\varphi_j + \gamma_{S_j}) \quad (2.13)$$

Для визначення аналогів кутових швидкостей і прискорень складемо векторне рівняння замкнутості контуру $OM'MDNN'$

$$\bar{x}_M + \bar{y}_M + \bar{l}_i = \bar{x}_N + \bar{y}_N + \bar{l}_j. \quad (2.14)$$

У проекції на вісь x рівняння (2.14) набуває вигляду

$$x_M \cos 0 + y_M \cos \frac{\pi}{2} + l_i \cos \varphi_i = x_N \cos 0 + y_N \cos \frac{\pi}{2} + l_j \cos \varphi_j. \quad (2.15)$$

Продиференціювавши рівняння (2.15) за узагальненою координатою φ_1 , одержимо

$$x'_M \cos 0 + y'_M \cos \frac{\pi}{2} - l_i \varphi'_i \sin \varphi_i = x'_N \cos 0 + y'_N \cos \frac{\pi}{2} - l_j \varphi'_j \sin \varphi_j, \quad (2.16)$$

де $x'_M = \frac{dx_M}{d\varphi_1}$; $x'_N = \frac{dx_N}{d\varphi_1}$; $\varphi'_i = \frac{d\varphi_i}{d\varphi_1}$; $\varphi'_j = \frac{d\varphi_j}{d\varphi_1}$ і т. д.

Аналоги проекцій швидкостей x'_M, y'_M, x'_N, y'_N повинні бути задані або відомі з розгляду основного механізму, наприклад, у випадку приєднання точки N до кривошипу $x'_N = x'_A, y'_N = y'_A$, точки M до стояка – $x'_M = y'_M = 0$ (див. рис. 19).

Аналоги кутових швидкостей φ'_i і φ'_j визначаємо з рівнянь (2.16), по чергово повертаючи осі координат на кут $(-\varphi_j)$ і $(-\varphi_i)$:

$$\varphi'_i = \frac{(x'_M - x'_N) \cos \varphi_j + (y'_M - y'_N) \sin \varphi_j}{l_i \sin(\varphi_i - \varphi_j)}; \quad \varphi'_j = \frac{(x'_N - x'_M) \cos \varphi_i + (y'_N - y'_M) \sin \varphi_i}{l_j \sin(\varphi_j - \varphi_i)}. \quad (2.17)$$

Щоб визначити аналоги прискорень $\varphi''_i = \frac{d^2 \varphi_i}{d\varphi_1^2}$, $\varphi''_j = \frac{d^2 \varphi_j}{d\varphi_1^2}$, необхідно продиференціювати за узагальненою координатою рівняння (2.16):

$$\begin{aligned} x''_M \cos 0 + y''_M \cos \frac{\pi}{2} - l_i \varphi''_i \sin \varphi_i - l_i (\varphi'_i)^2 \cos \varphi_i = \\ x''_N \cos 0 + y''_N \cos \frac{\pi}{2} - l_j \varphi''_j \sin \varphi_j - l_j (\varphi'_j)^2 \cos \varphi_j. \end{aligned}$$

Здійснивши знову поворот системи координат на кут $(-\varphi_j)$ або $(-\varphi_i)$, знайдемо

$$\varphi''_i = \frac{(x''_M - x''_N) \cos \varphi_j + (y''_M - y''_N) \sin \varphi_j - l_i (\varphi'_i)^2 \cos(\varphi_i - \varphi_j) + l_j (\varphi'_j)^2}{l_i \sin(\varphi_i - \varphi_j)}; \quad (2.18)$$

$$\varphi''_j = \frac{(x''_N - x''_M) \cos \varphi_i + (y''_N - y''_M) \sin \varphi_i - l_j (\varphi'_j)^2 \cos(\varphi_j - \varphi_i) + l_i (\varphi'_i)^2}{l_j \sin(\varphi_j - \varphi_i)}. \quad (2.19)$$

Аналоги проекцій швидкостей і прискорень центрів мас S_i і S_j одержимо шляхом диференціювання за узагальненою координатою φ_1 рівнянь (2.12) і (2.13):

$$x'_{S_i} = x'_M - l_{MS_i} \varphi'_i \sin(\varphi_i + \gamma_{S_i}); \quad y'_{S_i} = y'_M + l_{MS_i} \varphi'_i \cos(\varphi_i + \gamma_{S_i}); \quad (2.20)$$

$$x'_{S_j} = x'_N - l_{NS_j} \varphi'_j \sin(\varphi_j + \gamma_{S_j}); \quad y'_{S_j} = y'_N + l_{NS_j} \varphi'_j \cos(\varphi_j + \gamma_{S_j}); \quad (2.21)$$

$$\left. \begin{aligned} x''_{S_i} &= x''_M - l_{MS_i} \varphi''_i \sin(\varphi_i + \gamma_{S_i}) - l_{MS_i} (\varphi'_i)^2 \cos(\varphi_i + \gamma_{S_i}); \\ y''_{S_i} &= y''_M + l_{MS_i} \varphi''_i \cos(\varphi_i + \gamma_{S_i}) - l_{MS_i} (\varphi'_i)^2 \sin(\varphi_i + \gamma_{S_i}); \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

$$\left. \begin{aligned} x''_{S_j} &= x''_N - l_{NS_j} \varphi''_j \sin(\varphi_j + \gamma_{S_j}) - l_{NS_j} (\varphi'_j)^2 \cos(\varphi_j + \gamma_{S_j}); \\ y''_{S_j} &= y''_N + l_{NS_j} \varphi''_j \cos(\varphi_j + \gamma_{S_j}) - l_{NS_j} (\varphi'_j)^2 \sin(\varphi_j + \gamma_{S_j}). \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Координати будь-якої точки P_i (x_{P_i} , y_{P_i}), що лежать на ланці MD , та їхні аналоги швидкостей і прискорень $(x'_{P_i}$, y'_{P_i} , x''_{P_i} , y''_{P_i}), визначаються так же, як і для точки S_i , підстановкою в залежності (2.12), (2.20) і (2.22) замість l_{MS_i} відрізок l_{MP_i} , замість кута γ_{S_i} кут γ_{P_i} . Аналогічно визначаються координати точки P_j , що лежить на ланці ND ,

підстановкою в залежності (2.13), (2.21) і (2.23) замість l_{NS_j} відрізок l_{NP_j} , замість кута γ_{S_j} кут γ_{P_j} .

Для визначення кінематичних параметрів точок S_i, S_j, P_i, P_j або інших точок, що належать ланкам i або j , можна скласти окрему підпрограму KDT (рис. 33), яка дозволяє при заданих координатах будь-якої точки (наприклад, M) відповідної ланки та їх аналогів ($x_M, y_M, x'_M, y'_M, x''_M, y''_M$), відстані l_{MS_i} , кута γ_{S_i} , а також положення ланки ϕ_i (ϕ'_i і ϕ''_i) визначити координати точки $S_i(x_{S_i}, y_{S_i})$ та їхні аналоги швидкостей і прискорень $x'_{S_i}, y'_{S_i}, x''_{S_i}, y''_{S_i}$. Вихідні дані в підпрограмі KDT – перші 11, умовні позначення наведені в табл. 3.

Залежностями (2.7),..., (2.23) можна користуватися при будь-якому розміщенні точки D відносно лінії MN , якщо у цій групі позначати точкою M таку кінематичну пару, яка при обході контуру MDN , наприклад, за рухом годинникової стрілки, дає можливість зберегти такий же порядок позначень. Це видно з рис. 34, *a, б*, де показано два можливі варіанти складання групи I виду. Початок векторів \bar{l}_i і $\bar{\Delta}$, як і на рис. 32, розмістимо у точці M , вектора \bar{l}_i – у точці N , а напрямні кути ϕ_i, ϕ_j і ψ будемо відраховувати від лінії, яка проведена через початок відповідного вектора паралельно осі x . Якщо на рис 3, *б* позначення кінематичних пар змінити, то їхній порядок при обході контуру за рухом годинникової стрілки буде відрізнятись від показаного раніше (замість MDN буде MND). В останньому випадку залежності (2.11) набудуть іншого вигляду. Дотримуючись цього правила, при кінематичному дослідженні механізмів немає необхідності окремо записувати залежності та розробляти програми для двох варіантів складання групи; правильність розрахунків забезпечується наведеними залежностями та відповідним позначенням кінематичних пар M, N , ланок i, j та їхніх параметрів.

```

С      КИНЕМАТИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТОЧКИ ЗВЕНА
      SUBROUTINE KDT(XM, YM, AXM, AYM, WXM, WYM, MSI,
1GSI, FI, AFI, WFI, XSI, YSI, AXSI, AYSI, WXSI, WYSI)
      IMPLICIT REAL(M)
      XSI=XM+MSI*COS(FI+GSI)
      YSI=YM+MSI*SIN(FI+GSI)
      AXSI=AXM-MSI*AFI*SIN(FI+GSI)
      AYSI=AYM+MSI*AFI*COS(FI+GSI)
      WXSI=WXM-MSI*WFI*SIN(FI+GSI)-MSI*AFI**2
1*COS(FI+GSI)
      WYSI=WYM+MSI*WFI*COS(FI+GSI)-MSI*AFI**2
1*SIN(FI+GSI)
      RETURN
      END

```

Рис. 33. Підпрограма для визначення кінематичних параметрів будь-якої точки ланки при визначених кінематичних параметрах

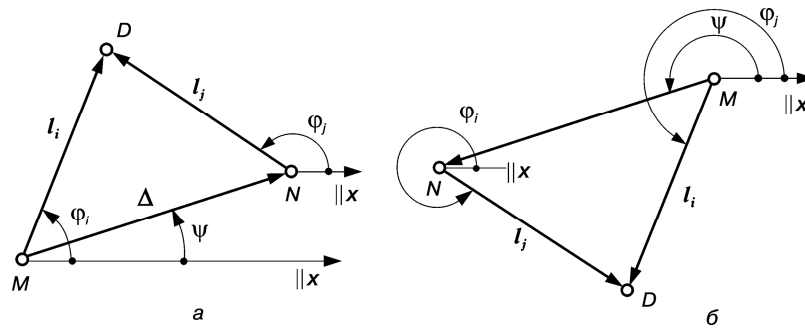


Рис. 34. Два види складання групи I виду

Якщо точки M або N нерухомі, а кути γ_S, γ_P дорівнюють нулю, то залежності (2.7)–(2.23) дещо спрощуються, але це має значення лише тоді, коли потрібно повністю скласти програму для ЕОМ, а не використовувати готові підпрограми структурних груп.

На рис. 35 наведена підпрограма KG1 для кінематичного аналізу структурної групи I виду. Вона дозволяє визначити положення ланок (φ_i, φ_j) , їхні аналоги швидкостей (φ'_i, φ'_j) та прискорень $(\varphi''_i, \varphi''_j)$, кут передачі (μ) . Вихідні дані – перші 14 параметрів, умовні позначення наведені в табл. 3.

```

КИНЕМАТИКА ГРУППИ I ВИДУ
SUBROUTINE KG1 (XM, YM, XN, YN, AXM, AYM, AXN, AYN
1, WXM, WYM, WXN, WYN, LI, LJ, FI, FJ, AFI, AFJ,
2WFI, WFJ, MJ)
IMPLICIT REAL (L, M, K)
PI=3.14159265
MN=SQRT((XN-XM)**2+(YN-YM)**2)
PSI=ATAN2((YN-YM), (XN-XM))
MJ=ARCOS((LI**2+LJ**2-MN**2)/(2.*LI*LJ))
DEL=ARCOS((LI**2+MN**2-LJ**2)/(2.*LI*MN))
KAP=PI-DEL-MJ
FI=PSI+DEL
FJ=PSI-KAP+PI
AFI=((AXM-AXN)*COS(FJ)+(AYM-AYN)*SIN(FJ))/
1(LI*SIN(FI-FJ))
AFJ=((AXN-AXM)*COS(FI)+(AYN-AYM)*SIN(FI))/
1(LJ*SIN(FJ-FI))
WFI=((WXM-WXN)*COS(FJ)+(WYM-WYN)*SIN(FJ)
1-LI*AFI**2*COS(FI-FJ)+LJ*AFJ**2)/(LI*SIN
2(FI-FJ))
WFJ=((WXN-WXM)*COS(FI)+(WYN-WYM)*SIN(FI)
1-LJ*AFJ**2*COS(FJ-FI)-LI*AFI**2)/
2(LJ*SIN(FJ-FI))
RETURN
END

```

Рис. 35. Підпрограма для дослідження кінематики структурної групи I виду

Розглянемо *приклад* складання загальної програми для дослідження кінематики шестиланкового механізму типу МЧВ1 (рис 36, а, б), в склад якого входять механізм I класу (стояк і кривошип l) і дві групи II класу I виду (2–3 і 4–5). При кінематичному

дослідженні таких механізмів повинні бути задані розміри ланок механізму (їхні позначення див. на рис. 36) і закон руху кривошипа (прийmemo $\omega_1 = \text{const}$).

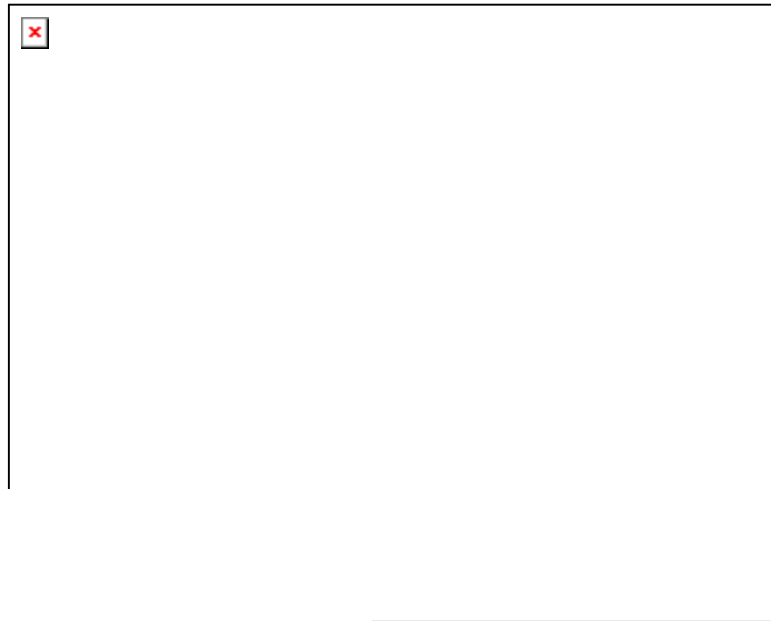


Рис. 36. Кінематична схема шестиланкового механізму типу МЧВ1

Початок координат виберемо у точці C (так зручно для механізмів МЧВ). Для складання загальної програми дослідження кінематики цього механізму будемо використовувати підпрограми KM1, KG1 і KDT. Тоді загальна програма PRIMER може бути складена так, як це показано на рис. 37. Програма PRIMER дозволяє для N положень механізму визначити положення усіх ланок (φ_i), їхні аналоги швидкостей (φ'_i) і прискорень (φ''_i), де $i=1, 2, 3, 4, 5$ – номери ланок, а також кути передачі μ_1 і μ_2 (див. рис. 36).

Якщо в склад механізму входить, наприклад, група 4–5 іншої виду складання (рис. 36,б), то оператор I2 (рис. 37) буде мати вигляд:

CALL, KG1 (XD, YD, XF, YF, AXD, AYD, AXF, AYF, WXD,
1WXF, WYF, L4, L5, F4, F5, AF4, AF5, WF4, WF5, MJ2)

Далі (п. 2.4) наведена більш детальна програма для дослідження МЧВ1, яка дозволяє проводити синтез механізмів за заданим коефіцієнтом K і кутом розмаху β_m вихідної ланки, визначити максимальні значення кінематичних параметрів, що досліджуються. Ці задачі для кожного виду мають свою специфіку, проте для визначення кінематичних параметрів руху ланок цієї групи завжди може бути використана підпрограма KG1.

```

ПРОГРАММА PRIMER
IMPLICIT REAL(L,M)
NAMELIST/LIST/A,R,L2,L3,AD,GAD,L4,L5
1, XF, YF, N
READ(1,LIST)
WRITE(3,LIST)
PI=3.14159265
T=2.*PI/N
DO 4 J=1,N
F1=T*(J-1)
CALL KM1(A,Ø.,R,F1,XA,YA,AXA,AYA,WXA,
1WYA)
CALL KG1(Ø.,Ø.,XA,YA,Ø.,Ø.,AXA,AYA,
1Ø.,Ø.,WXA,WYA,L3,L2,F3,F2,AF3,AF2,
2WF3,WF2,MJ1)
CALL KDT(XA,YA,AXA,AYA,WXA,WYA,AD,GAD,
1F2,AF2,WF2,XD,YD,AXD,AYD,WXD,WYD)
CALL KG1(XF,YF,XD,YD,AXF,AYF,AXD,AYD,
1WXF,WYF,WXD,WYD,L5,L4,F5,F4,AF5,AF4,
2WF5,WF4,MJ2)
PRINT 2,F1,F2,F3,F4,F5,MJ1,MJ2
FORMAT(7(2X,E12.5))
PRINT 3,AF2,AF3,AF4,AF5,WF2,WF3,WF4,WF5
3 FORMAT(2X,8(2X,E12.5))
4 CONTINUE
STOP
END

```

Рис. 37. Приклад загальної програми для дослідження кінематики шестиланкового механізму I I класу

Структурна група II виду. Ланки цієї групи (рис. 38), приєднуючись до основного механізму, утворюють з його ланками обертову M і поступальну N пари. Напрямна повзуна N або центр шарніру M можуть бути рухомі або нерухомі (кожний окремо).

Для кінематичного дослідження цієї групи необхідно знати такі параметри:

а) координати x_M і y_M точки M шарнірного приєднання групи до основного механізму в системі координат xOy і їхні аналоги швидкостей та прискорень x'_M, y'_M, x''_M, y''_M ;

б) координати x_F і y_F будь-якої точки F (або F_1) у системі координат xOy , через яку проходить вісь напрямної повзуна N і кут нахилу ξ цієї напрямної до осі x , а також їхні аналоги швидкостей і прискорень $x'_F, y'_F, x''_F, y''_F, x', x''$;

в) лінійні та кутові розміри ланок MD і DN : $l_i, l_j, \varphi_{j_2}, l_{MS_i}, l_{NS_j}, \gamma_{S_i}, \gamma_{S_j}$, де S_i і S_j – будь-які точки, які належать відповідно шатуну MD і повзуну ND .

Залежності для визначення кінематичних параметрів тут зручно записувати у системі x_2Oy_2 , причому вісь x_2 направляти паралельно напрямній FF_1 у бік додатної проекції вектора \bar{l}_i на цю вісь. Всі вектори і кути відраховуємо так, як показано на рис. 38.

Координати точок M, F, N , кути φ_i, φ_j та їхні аналоги швидкостей і прискорень у системі координат x_2Oy_2 позначимо індексом 2.

Тоді, використовуючи рівняння перетворення координат для плоскої системи, записуємо координати точок M і F у другій системі координат:

$$x_{M_2} = x_M \cos \xi + y_M \sin \xi; \quad y_{M_2} = y_M \cos \xi - x_M \sin \xi; \quad (2.24)$$

$$x_{F_2} = x_F \cos \xi + y_F \sin \xi; \quad y_{F_2} = y_F \cos \xi - x_F \sin \xi. \quad (2.25)$$

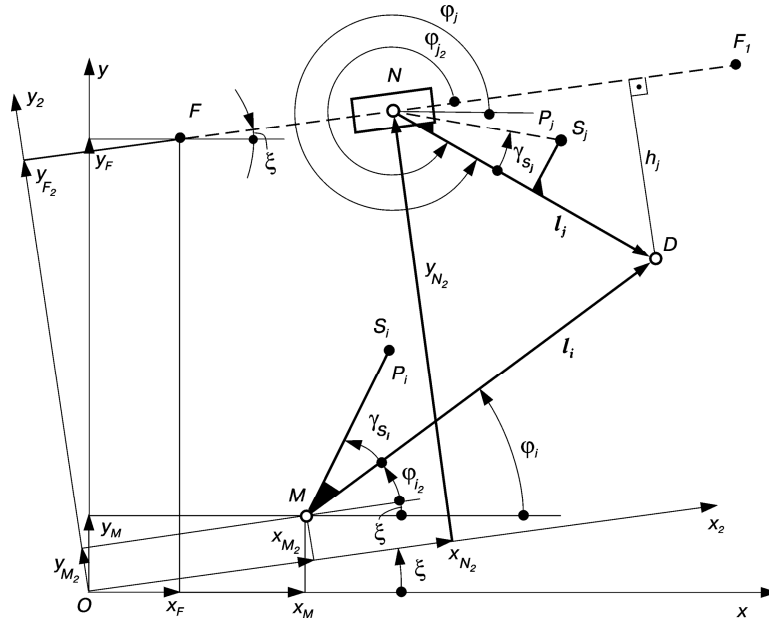


Рис. 38. Структурна група II виду.

Кут φ_{i2} , який визначає положення шатуна MD ,

$$\varphi_{i_2} = \arcsin \frac{y_{F_2} - y_{M_2} + h_j}{l_i}, \quad (2.26)$$

де $h_j = l_j \sin \varphi_{j_2}$ – відстань точки D від прямої FF_1 .

У системі координат xOy положення ланок групи визначається кутами

$$\varphi_i = \varphi_{i_2} + \xi; \quad \varphi_j = \varphi_{j_2} + \xi. \quad (2.27)$$

Основні залежності для визначення кінематичних параметрів ланок можна одержати, якщо записати векторне рівняння:

$$\bar{x}_{M_2} + \bar{y}_{M_2} + \bar{l}_i = \bar{x}_{N_2} + \bar{y}_{N_2} + \bar{l}_j. \quad (2.28)$$

Із рівнянь проєкцій на осі x_2 і y_2 знайдемо

$$x_{N_2} = x_{M_2} + l_i \cos \varphi_{i_2} - l_j \cos \varphi_{j_2}; \quad y_{N_2} = y_{M_2} + l_i \sin \varphi_{i_2} - l_j \sin \varphi_{j_2}. \quad (2.29)$$

Слід зазначити, що у цій групі $y_{N_2} = y_{F_2}$; $\varphi_{j_2} = \text{const}$.

Шляхом диференціювання рівнянь (2.29) за узагальненою координатою φ_1 визначаємо аналоги швидкостей і прискорень (або їхні проекції) для ланок групи:

$$x'_{N_2} = x'_{M_2} - l_i \varphi'_{i_2} \sin \varphi_{i_2}; \quad y'_{N_2} = y'_{M_2} + l_i \varphi'_{i_2} \cos \varphi_{i_2}; \quad (2.30)$$

Оскільки $y'_{N_2} = y'_{F_2}$, $y''_{N_2} = y''_{F_2}$, то

$$\varphi'_{i_2} = \frac{d\varphi_{i_2}}{d\varphi_1} = \frac{y'_{N_2} - y'_{M_2}}{l_i \cos \varphi_{i_2}}; \quad \varphi'_i = \varphi'_{i_2} + \xi'; \quad (2.31)$$

$$\left. \begin{aligned} x''_{N_2} &= x''_{M_2} - l_i \varphi''_{i_2} \sin \varphi_{i_2} - l_i (\varphi'_{i_2})^2 \cos \varphi_{i_2}; \\ y''_{N_2} &= y''_{M_2} + l_i \varphi''_{i_2} \cos \varphi_{i_2} - l_i (\varphi'_{i_2})^2 \sin \varphi_{i_2}; \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

$$\varphi''_{i_2} = \frac{d^2\varphi_{i_2}}{d\varphi_1^2} = \frac{y''_{N_2} - y''_{M_2} + l_i (\varphi'_{i_2})^2 \sin \varphi_{i_2}}{l_i \cos \varphi_{i_2}}; \quad \varphi''_i = \varphi''_{i_2} + \xi'', \quad (2.33)$$

де

$$\left. \begin{aligned} x'_{M_2} &= x'_M \cos \xi - x_M \xi' \sin \xi + y'_M \sin \xi + y_M \xi' \cos \xi; \\ y'_{M_2} &= y'_M \cos \xi - y_M \xi' \sin \xi - x'_M \sin \xi - x_M \xi' \cos \xi; \end{aligned} \right\} \quad (2.34)$$

$$\left. \begin{aligned} x''_{M_2} &= x''_M \cos \xi - 2x'_M \xi' \sin \xi - x_M \xi'' \sin \xi - x_M (\xi')^2 \cos \xi + \\ &+ y''_M \sin \xi + 2y'_M \xi' \cos \xi + y_M \xi'' \cos \xi - y_M (\xi')^2 \sin \xi; \\ y''_{M_2} &= y''_M \cos \xi + x''_M \sin \xi - y_M \xi'' \sin \xi - x_M \xi'' \cos \xi - \\ &- 2y'_M \xi' \sin \xi - 2x'_M \xi' \cos \xi - y_M (\xi')^2 \cos \xi + x_M (\xi')^2 \sin \xi; \end{aligned} \right\} \quad (2.35)$$

Координати будь-якої з точок S_i чи S_j або P_i, P_j , що належать ланкам групи, визначаються так само, як і групи I виду.

На рис. 39 наведена підпрограма $KG2$, яка призначена для визначення кінематичних параметрів ланок групи II виду $(\varphi_{i_2}, \varphi'_i, \varphi''_i, x_{N_2}, x'_{N_2}, x''_{N_2}, \mu)$. Вихідні дані – перші 18 параметрів, умовні позначення наведені в табл. 3. При складанні цієї підпрограми двічі використана підпрограма РКТ (рис. 40), яка дозволяє перетворити

кінематичні параметри точок M і F при повороті системи координат на кут ξ . Вихідні дані – перші 9 параметрів, умовні позначення наведені в табл. 3.

Розглянемо *приклад* складання програми для ЕОМ, яка дозволяє досліджувати кінематику шестиланкового механізму типу МЧВ2 (рис. 41, а, б). У склад механізму входить механізм I класу, група I виду (2–3) і група II виду (4–5). Задані кінематична схема механізму і закон руху вхідної ланки.

При дослідженні механізму I класу, групи I виду будемо використовувати систему координат x_1y_1 , групи II виду – x_2y_2 . Програма розрахунків на ЕОМ цього механізму має такий же вигляд, як і програма PRIMER (див. рис. 37), в якій необхідно змінити оператори вводу і виводу (2, 13...16). Замість оператора 12 ввести оператор

CFLL, KG2(XD, YD, AXD, AYD, WXD, WYD, XF, YF, AXF, AYF, WXF, WYF,
KSI, AKSI, WKSI, LI, LJ, FJ, F42, AF4, WF4, XE, YE, AXE, WXE, MJ2)

В цьому операторі – вихідні параметри перші 18 параметрів. Далі наведена більш детальна програма для дослідження та синтезу МЧВ2 (п. 2.4). Аналогічно складаються програми для інших типів механізмів (МЧВ3, МЧВ5).

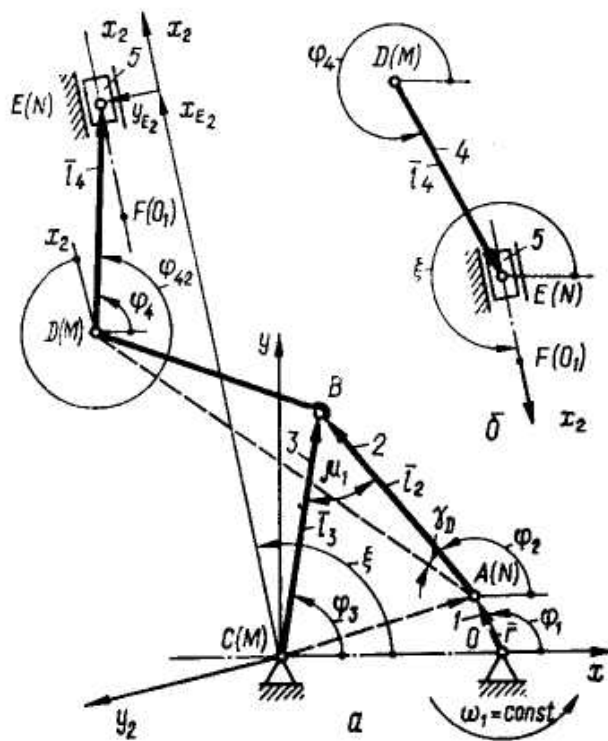


Рис. 41. Кінематична схема шестиланкового механізму типу МЧВ2

```

C КИНЕМАТИКА ГРУПИИ 2 ВИДА
SUBROUTINE KG2(XM, YM, AXM, AYM, WXM, WYM, XF,
1 YF, AXF, AYF, WXF, WYF, KSI, AKSI, WKSI, LI, LJ,
2 FJ2, FI2, AFI, WFI, XN2, AXN2, WXN2, MJ)
IMPLICIT REAL(K, L, M)
PI=3.14159265
CALL PKT(XM, YM, AXM, AYM, WXM, WYM, KSI, AKSI,
1 WKSI, XM2, YM2, AXM2, AYM2, WXM2, WYM2)
CALL PKT(XF, YF, AXF, AYF, WXF, WYF, KSI, AKSI,
1 WKSI, XF2, YF2, AXF2, AYF2, WXF2, WYF2)
FI2=ARSIN((YF2-YM2+LJ*SIN(FJ2))/LI)
XN2=XM2+LI*COS(FI2)-LJ*COS(FJ2)
AFI2=(AYF2-AYM2)/(LI*COS(FI2))
AFI=AFI2-AKSI
AXN2=AXM2-LI*AFI2*SIN(FI2)
WFI2=(WYF2-WYM2+LI*AFI2**2*SIN(FI2))/
1 (LI*COS(FI2))
WFI=WFI2-WKSI
WXN2=WXM2-LI*WFI2*SIN(FI2)-LI*AFI2**2*
1 COS(FI2)
MJ=PI/2.-ABS(FI2)
RETURN
END

```

Рис. 39. Підпрограма для дослідження кінематики
структурної групи II виду

```

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КООРДИНАТ ТОЧКИ
SUBROUTINE PKT(XM, YM, AXM, AYM, WXM, WYM, KSI
1 AKSI, WKSI, XM2, YM2, AXM2, AYM2, WXM2, WYM2)
IMPLICIT REAL(K)
XM2=XM*COS(KSI)+YM*SIN(KSI)
YM2=YM*COS(KSI)-XM*SIN(KSI)
AXM2=AXM*COS(KSI)-XM*AKSI*SIN(KSI)+AYM*
1 SIN(KSI)+YM*AKSI*COS(KSI)
AYM2=AYM*COS(KSI)-YM*AKSI*SIN(KSI)-AXM*
1 SIN(KSI)-XM*AKSI*COS(KSI)
WXM2=WXM*COS(KSI)-2.*AXM*AKSI*SIN(KSI)-
1 XM*WKSI*SIN(KSI)-XM*AKSI**2*COS(KSI)+WYM
2 *SIN(KSI)+2.*AYM*AKSI*COS(KSI)+YM*WKSI*
3 COS(KSI)-YM*AKSI**2*SIN(KSI)
WYM2=WYM*COS(KSI)-2.*AYM*AKSI*SIN(KSI)-
1 YM*WKSI*SIN(KSI)-YM*AKSI**2*COS(KSI)-WXM
2 *SIN(KSI)-2.*AXM*AKSI*COS(KSI)-XM*WKSI
3 *COS(KSI)+XM*AKSI**2*SIN(KSI)
RETURN
END

```

Рис. 40. Підпрограма для перетворення координат точки
та їхніх аналогів швидкостей та прискорень

Структурна група III виду складається з двох ланок, які утворюють між собою поступальну кінематичну пару, яка приєднуються до основного механізму обертовими парами (рис. 42).

Для кінематичного дослідження цієї групи необхідно задати такі параметри:

а) координати точок M і N , якими група приєднується до основного механізму, та їхні аналоги швидкостей і прискорень $-x'_M, y'_M, x'_N, y'_N, x''_M, y''_M, x''_N, y''_N$;

б) лінійні і кутові розміри ланки $MTD - e = l_{MT}, \gamma, l_{TSk}$ (тут прийнято $\angle DTM = \pi/2$); відрізок e слід вважати додатним, якщо порядок позначень ΔMTD за рухом годинникової стрілки буде таким, як це показано контурною лінією на рис. 42, тобто MTD , і від'ємним – MDT (показано штриховою лінією).

Для визначення положень ланок групи використаємо допоміжний вектор $\bar{\Delta} = \overline{MD}$, довжина і положення якого

$$\Delta = \sqrt{(x_N - x_M)^2 + (y_N - y_M)^2}; \quad \psi = \operatorname{arctg} \frac{y_N - y_M}{x_N - x_M}. \quad (2.36)$$

Тоді

$$l_k = \sqrt{\Delta^2 - e^2}; \quad \delta = \operatorname{arctg} \frac{e}{l_k}; \quad \varphi_k = \psi - \delta. \quad (2.37)$$

Складемо рівняння замкнутості векторного контуру, який утворений ланками групи, з урахуванням положення початку координат основного механізму:

$$\bar{x}_M + y_M + \bar{e} + \bar{l}_k = \bar{x}_N + \bar{y}_N. \quad (2.38)$$

Записавши рівняння (2.38) у проєкціях на координатні осі та продиференціювавши їх за узагальненою координатою φ_1 , визначимо аналоги лінійних і кутових швидкостей і прискорень ланок групи:

$$\varphi'_k = \frac{d\varphi_k}{d\varphi_1} = \frac{(x'_M - x'_N) \sin \varphi_k + (y'_N - y'_M) \cos \varphi_k}{l_k}; \quad (2.39)$$

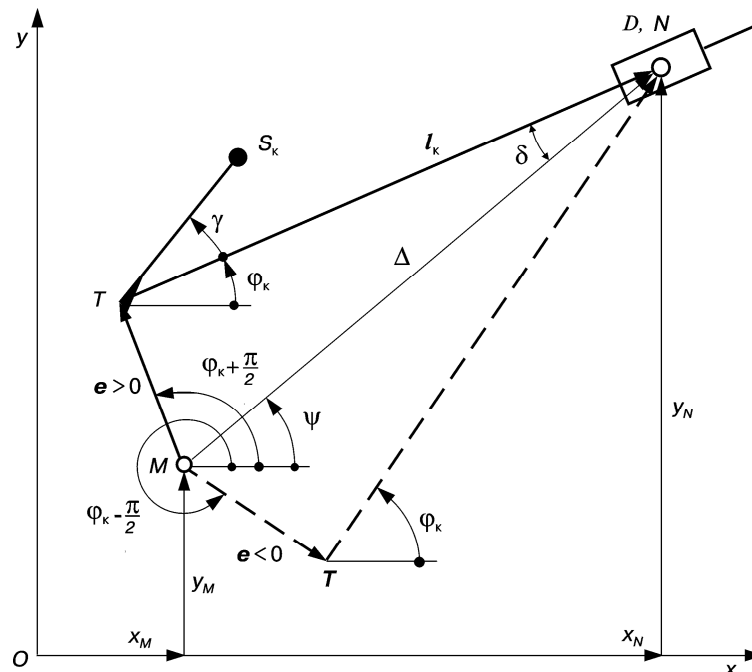


Рис. 42. Структурна група III виду

$$l'_k = \frac{dl_k}{d\varphi_1} = (x'_N - x'_M) \cos \varphi_k + (y'_N - y'_M) \sin \varphi_k + e\varphi'_k; \quad (2.40)$$

$$\varphi''_k = \frac{d^2\varphi_k}{d\varphi_1^2} = \frac{(y''_N - y''_M) \cos \varphi_k + (x''_N - x''_M) \sin \varphi_k + e(\varphi'_k)^2 - 2l'_k\varphi'_k}{l_k}; \quad (2.41)$$

$$l''_k = \frac{d^2l_k}{d\varphi_1^2} = (x''_N - x''_M) \cos \varphi_k + (y''_N - y''_M) \sin \varphi_k + e\varphi''_k + l_k(\varphi'_k)^2. \quad (2.42)$$

Координати та їхні похідні за узагальненою координатою φ_1 будь-якої точки, що належить кулісі або повзуну, можна визначити, якщо використати рівняння (2.12), (2.20), (2.22) або підпрограму KDT (див. рис. 33).

```

КИНЕМАТИКА ГРУППИ 3 ВИДА
SUBROUTINE KG3 (XM, YM, AXM, AYM, WXM, WYM, XN, YN,
1AXN, AYN, WXN, WYN, MT, FK, LK, AFK, ALK, WFK, WLK)
IMPLICIT REAL (L, M)
MN=SQRT((XN-XM)**2+(YN-YM)**2)
PSI=ATAN2((YN-YM), (XN-XM))
LK=SQRT(MN**2-MT**2)
FK=PSI-ATAN(MT/LK)
AFK=((AXM-AXN)*SIN(FK)+(AYN-AYM)*COS(FK)
)/LK
ALK=((AXN-AXM)*COS(FK)+(AYN-AYM)*SIN(FK)
1+MT*AFK
WFK=((WYN-WYM)*COS(FK)+(WXN-WXM)*SIN(FK)+
1MT*AFK**2-2.*ALK*AFK)/LK
WLK=((WXN-WXM)*COS(FK)+(WYN-WYM)*SIN(FK)
1+MT*WFK+LK*AFK**2
RETURN
END

```

Рис. 43. Підпрограма для дослідження кінематики структурної групи III виду

На рис. 43 наведена підпрограма KG3 для кінематичного аналізу структурної групи III виду. Вихідні дані – перші 13 параметрів, умовні позначення наведені в табл. 3.

Структурна група IV виду (рис. 44) складається з двох ланок, які утворюють між собою обертову пару D , і приєднується до основного механізму поступальними парами M і N . Для кінематичного дослідження цієї групи повинні бути задані:

а) кути нахилу до осі абсцис x напрямних повзунів M і N та їхні аналоги швидкостей та прискорень – $\xi_i, \xi_j, \xi'_i, \xi'_j, \xi''_i, \xi''_j$;

б) координати і аналоги швидкостей та прискорень будь-яких точок E і F , через які проходять осі напрямних повзунів M і N – $x_E, y_E, x_F, y_F, x'_E, y'_E, x'_F, y'_F, x''_E, y''_E, x''_F, y''_F$;

в) лінійні та кутові розміри ланок MD і ND – $l_i, l_j, \alpha_i, \alpha_j, l_{MS_i}, l_{NS_j}, \gamma_{S_i}, \gamma_{S_j}$,

де S_i і S_j – точки, які належать відповідно ланкам i та j (на рис. 44 показані лише точки S_i).

Залежності для визначення кінематичних параметрів у даному випадку можна записати так, як і для групи I виду, у системі координат xOy . Варіант складання ланок групи враховується напрямними кутами α_i і α_j .

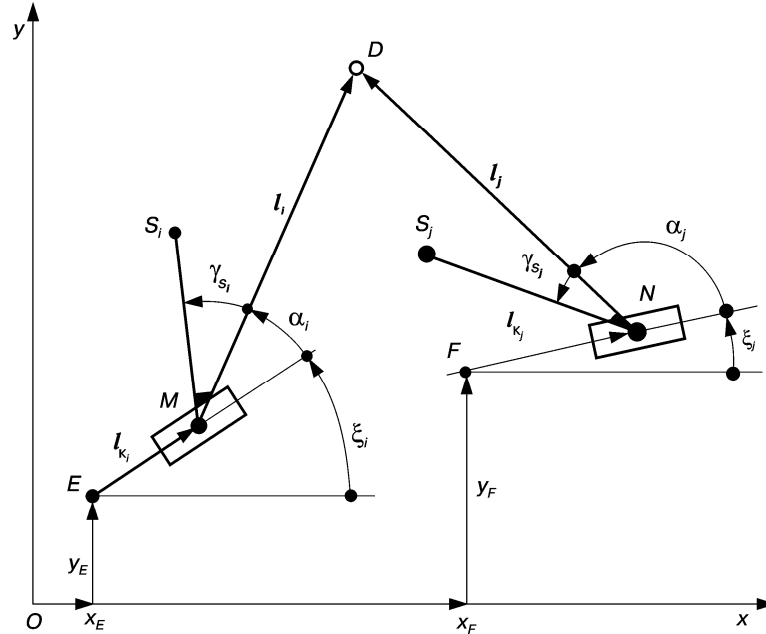


Рис. 44. Структурна група IV виду

Складемо векторне рівняння

$$\bar{x}_E + \bar{y}_E + \bar{l}_{ki} + \bar{l}_i = \bar{x}_F + \bar{y}_F + \bar{l}_j, \quad (2.43)$$

яке у проекціях на координатні осі x і y має вигляд

$$\left. \begin{aligned} x_E \cos 0 + y_E \cos \frac{\pi}{2} + l_{ki} \cos \xi_i + l_i \cos(\alpha_i + \xi_i) = \\ = x_F \cos 0 + y_F \cos \frac{\pi}{2} + l_{kj} \cos \xi_j + l_j \cos(\alpha_j + \xi_j); \\ x_E \sin 0 + y_E \sin \frac{\pi}{2} + l_{ki} \sin \xi_i + l_i \sin(\alpha_i + \xi_i) = \\ = x_F \sin 0 + y_F \sin \frac{\pi}{2} + l_{kj} \sin \xi_j + l_j \sin(\alpha_j + \xi_j). \end{aligned} \right\} \quad (2.44)$$

Із другого рівняння (2.44) знаходимо величини відрізків l_{ki} , l_{kj} , здійснивши поворот системи координат xOy відповідно на кут $(-\xi_j)$ і $(-\xi_i)$:

$$\left. \begin{aligned} l_{ki} = [(x_E - x_F) \sin \xi_j + (y_F - y_E) \cos \xi_j - l_i \sin(\alpha_i + \xi_i - \xi_j) + l_j \sin \alpha_j] / \sin(\xi_i - \xi_j); \\ l_{kj} = [(x_F - x_E) \sin \xi_i + (y_E - y_F) \cos \xi_i - l_j \sin(\alpha_j + \xi_j - \xi_i) + l_i \sin \alpha_i] / \sin(\xi_j - \xi_i). \end{aligned} \right\} \quad (2.45)$$

При $\xi_i = \xi_j$ група має зайвий ступінь вільності і в ній з'являється невизначеність у русі ланок.

Продиференціювавши рівняння (2.44) за узагальненою координатою φ_1 , після відповідних перетворень одержимо

$$\left. \begin{aligned} l'_{ki} &= [(x'_E - x'_F) \sin \xi_j + (y'_F - y'_E) \cos \xi_j - l_{ki} \xi'_i \cos(\xi_i - \xi_j) - l_i \xi'_i \cos(\alpha_i + \xi_i - \xi_j) + \\ &+ l \xi'_j - l_j \xi'_j \cos \alpha_j] / \sin(\xi_i - \xi_j); \\ l'_{kj} &= [(x'_F - x'_E) \sin \xi_i + (y'_E - y'_F) \cos \xi_i + l_{ki} \xi'_i + l_i \xi'_i \cos \alpha_i - l_{kj} \xi'_j \cos(\xi_j - \xi_i) - \\ &- l_j \xi'_j \cos(\alpha_i + \xi_j - \xi_i)] / \sin(\xi_j - \xi_i); \end{aligned} \right\} (2.46)$$

$$\left. \begin{aligned} l''_{ki} &= [(x''_E - x''_F) \sin \xi_j + (y''_F - y''_E) \cos \xi_j - 2l'_{ki} \xi'_i \cos(\xi_i - \xi_j) - l_{ki} \xi''_i \cos(\xi_i - \xi_j) + \\ &+ l_{ki} (\xi'_j)^2 \sin(\xi_i - \xi_j) - l_i \xi''_i \cos(\alpha_i + \xi_i - \xi_j) + l_i (\xi'_i)^2 \sin(\alpha_i + \xi_i - \xi_j) + 2l'_{kj} \xi'_j + l_{kj} \xi''_j + \\ &+ l_j \xi''_j \cos \alpha_j - l_j (\xi'_j)^2 \sin \alpha_j] / \sin(\xi_i - \xi_j); \\ l''_{kj} &= [(x''_F - x''_E) \sin \xi_i + (y''_E - y''_F) \cos \xi_i + 2l'_{ki} \xi'_i + l_{kj} \xi''_i + l_i \xi''_i \cos \alpha_i - l_i (\xi'_i)^2 \sin \alpha_i - \\ &- 2l_{kj} \xi'_j \cos(\xi_j - \xi_i) - l_{kj} \xi''_j \cos(\xi_j - \xi_i) + l_{kj} (\xi'_j)^2 \sin(\xi_j - \xi_i) - l_j \xi''_j \cos(\alpha_i + \xi_j - \xi_i) + \\ &+ l_j (\xi'_j)^2 \sin(\alpha_i + \xi_j - \xi_i)] / \sin(\xi_j - \xi_i). \end{aligned} \right\} (2.47)$$

де l_{ki} , l_{kj} – відносні переміщення ланок i та j ; $l'_{ki} = dl_{ki} / d\varphi_1$, $l'_{kj} = dl_{kj} / d\varphi_1$, – їхні аналоги швидкостей; $l''_{ki} = d^2 l_{ki} / d\varphi_1^2$, $l''_{kj} = d^2 l_{kj} / d\varphi_1^2$, – аналоги прискорень.

У тих випадках, коли довжина ланок i та j дорівнює нулю ($l_i = l_j = 0$) і одна з напрямних нерухома (наприклад, $\xi_j = \text{const}$), залежності (3.89)–(3.93) значно спрощуються.

Якщо відомі координати точки E або F та їхні аналоги швидкостей і прискорень, параметри руху точки D можна визначити, склавши векторне рівняння

$$\bar{x}_E + \bar{y}_E + \bar{l}_{ki} + \bar{l}_i = \bar{x}_D + \bar{y}_D. \quad (2.48)$$

На основі цього рівняння одержимо

$$\left. \begin{aligned} x_D &= x_E + l_{ki} \cos \xi_i + l_i \cos(\xi_i + \alpha_i); \quad y_D = y_E + l_{ki} \sin \xi_i + l_i \sin(\xi_i + \alpha_i); \\ x'_D &= x'_E + l'_{ki} \cos \xi_i - l_{ki} \xi'_i \sin \xi_i - l_i \xi'_i \sin(\xi_i + \alpha_i); \\ y'_D &= y'_E + l'_{ki} \sin \xi_i + l_{ki} \xi'_i \cos \xi_i + l_i \xi'_i \cos(\xi_i + \alpha_i); \\ x''_D &= x''_E + l''_{ki} \cos \xi_i - 2l'_{ki} \xi'_i \sin \xi_i - l_{ki} \xi''_i \sin \xi_i - l_{ki} (\xi'_i)^2 \cos \xi_i - \\ &- l_i \xi''_i \sin(\xi_i + \alpha_i) - l_i (\xi'_i)^2 \cos(\xi_i + \alpha_i); \\ y''_D &= y''_E + l''_{ki} \sin \xi_i + 2l'_{ki} \xi'_i \cos \xi_i + l_{ki} \xi''_i \cos \xi_i - l_{ki} (\xi'_i)^2 \sin \xi_i + \\ &+ l_i \xi''_i \cos(\xi_i + \alpha_i) - l_i (\xi'_i)^2 \sin(\xi_i + \alpha_i). \end{aligned} \right\} (2.49)$$

Для визначення кінематичних параметрів руху будь-якої точки S_i, S_j або P_i, P_j , що належать ланкам i або j , використовуємо залежності (2.12), (2.20), (2.22), в яких замість параметрів точки M підставляємо параметри точки D , замість кута φ_i – кут $\xi_i + \alpha_i + \gamma_{S_i}$. Аналогічно поступаємо при розгляді будь-якої точки: S_i, S_j, P_i, P_j тощо.

На рис. 45 наведена підпрограма KG4, яка призначена для визначення переміщень ланок i та j , їхніх аналогів швидкостей та прискорень, а також координат точки D . Вихідні дані – перші 22 параметрів, умовні позначення наведені в табл. 3.

Група IV виду в МЧВ не використовується.

Структурна група V виду. Ланки структурної групи цього виду (рис. 46) утворюють при їх приєднанні до основного механізму поступальну і обертову кінематичні пари, а між собою – поступальну.

Для виконання кінематичного дослідження руху ланок цієї групи повинні бути задані такі параметри:

а) координати точки M шарнірного приєднання групи та їхні похідні за узагальненою координатою φ_1 в системі координат xOy – $x_M, y_M, x'_M, y'_M, x''_M, y''_M$;

б) положення напрямної повзуна N у цій системі координат, яке можна задати координатами будь-якої точки $F(x_F, y_F)$, що лежить на осі цієї напрямної, і напрямним кутом ξ , а також їхніми похідними за узагальненою координатою φ_1 – $x'_F, y'_F, x''_F, y''_F, \xi', \xi''$;

в) розміри ланок – $l_j, \alpha_i, \alpha_j, l_{NS_i}, l_{MS_j}, \gamma_{S_i}, \gamma_{S_j}$, де S_i, S_j, P_i, P_j – точки, які визначають положення центрів мас ланок або інші точки ланок i або j .

Залежності для визначення кінематичних параметрів ланок тут зручно записати у системі координат x_2Oy_2 , причому вісь x_2 проводимо паралельно напрямній FN . Всі параметри у системі координат x_2Oy_2 позначимо індексом 2. Для перетворення координат точок та їхніх похідних із основної системи xOy в систему x_2Oy_2 використовуємо залежності (2.24), (2.34), (2.35) або підпрограму PKT (див. рис. 40).

Складемо векторне рівняння

$$\bar{x}_{F_2} + \bar{y}_{F_2} + \bar{l}_{xN} + \bar{l}_{ki} = \bar{x}_{M_2} + \bar{y}_{M_2} + \bar{l}_j, \quad (2.50)$$

яке у проєкціях на координатні осі x_2 і y_2 має вигляд

$$x_{F_2} + l_{xN} + l_{ki} \cos \alpha_i = x_{M_2} + l_j \cos(\alpha_i + \alpha_j); \quad y_{F_2} + l_{ki} \sin \alpha_i = y_{M_2} + l_j \sin(\alpha_i + \alpha_j). \quad (2.51)$$

```

C      КИНЕМАТИКА ГРУПИ 4 ВИДА
      SUBROUTINE KG4(XE, YE, XF, YF, AXE, AYE, AXF, AYF,
1 WXE, WYE, WXF, WYF, KSI, AKSI, WKSI, KSJ, AKSJ, WKSJ
2 ALI, ALJ, LI, LJ, LKI, LKJ, ALKI, ALKJ, WLKI, WLKJ,
3 XD, YD, AXD, AYD, WXD, WYD)
      IMPLICIT REAL(K, L, M)
      LKI=((XE-XF)*SIN(KSJ)+(YF-YE)*COS(KSJ)-LI*
1 SIN(ALI+KSI-KSJ)+LJ*SIN(ALJ))/SIN(KSI-KSJ)
      LKJ=((XF-XE)*SIN(KSI)+(YE-YF)*COS(KSI)+LI*
1 SIN(ALI)-LJ*SIN(KSJ-KSI+ALJ))/SIN(KSJ-KSI)
      ALKI=((AXE-AXF)*SIN(KSJ)+(AYF-AYE)*COS(KSJ)
1 -LKI*AKSI*COS(KSI-KSJ)-LI*AKSI*COS(ALI+KSI-
2 KSJ)+LKJ*AKSJ+LJ*AKSJ*COS(ALJ))/SIN(KSI-KSJ)
      ALKJ=((AXF-AXE)*SIN(KSI)+(AYE-AYF)*COS(KSI)
1 +LKI*AKSI+LI*AKSI*COS(ALI)-LKJ*AKSJ*COS(KSJ
2 -KSI)-LJ*AKSJ*COS(KSJ-KSI+ALJ))/SIN(KSJ-KSI)
      WLKI=((WXE-WXF)*SIN(KSJ)+(WYF-WYE)*COS(KSJ)
1 -2.*ALKI*AKSI*COS(KSI-KSJ)-LKI*WKSI*COS(KSI
2 -KSJ)+LKI*AKSI**2*SIN(KSI-KSJ)-LI*WKSI*COS
3 (ALI+KSI-KSJ)+LI*AKSI**2*SIN(ALI+KSI-KSJ)+
4 2.*ALKJ*AKSJ+LKJ*WKSJ+LJ*WKSJ*COS(ALJ)-LJ*
5 AKSJ**2*SIN(ALJ))/SIN(KSI-KSJ)
      WLKJ=((WXF-WXE)*SIN(KSI)+(WYE-WYF)*COS(KSI)
1 +2.*ALKI*AKSI+LKI*WKSI+LI*WKSI*COS(ALI)-LI*
2 AKSI**2*SIN(ALI)-2.*ALKJ*AKSJ**
3 COS(KSJ-KSI)-LKJ*WKSJ*COS(KSJ-KSI)+LKJ*AKSJ
4 **2*SIN(KSJ-KSI)-LJ*WKSJ*COS(ALJ+KSJ-KSI)+
5 LJ*AKLJ**2*SIN(KSJ+ALJ-KSI))/SIN(KSJ-KSI)
      XD=XE+LKI*COS(KSI)+LI*COS(KSI+ALI)
      YD=YE+LKI*SIN(KSI)+LI*SIN(KSI+ALI)
      AXD=AXE+ALKI*COS(KSI)-LKI*AKSI*SIN(KSI)-LI*
1 AKSI*SIN(KSI+ALI)
      AYD=AYE+ALKI*SIN(KSI)+LKI*AKSI*COS(KSI)+LI*
1 AKSI*COS(KSI+ALI)
      WXD=WXE+WLKI*COS(KSI)-2.*ALKI*AKSI*SIN(KSI)
1 -LKI*WKSI*SIN(KSI)-LKI*AKSI**2*COS(KSI)-LI*
2 *WKSI*SIN(KSI+ALI)-LI*AKSI**2*COS(KSI+ALI)
      WYD=WYE+WLKI*SIN(KSI)+2.*ALKI*AKSI*COS(KSI)
1 +LKI*WKSI*COS(KSI)-LKI*AKSI**2*SIN(KSI)+LI*
2 *WKSI*COS(KSI+ALI)-LI*AKSI**2*SIN(KSI+ALI)
      RETURN
      END

```

Рис. 45. Підпрограма для дослідження кінематики структурної групи IV виду

Тоді

$$l_{ki} = \frac{y_{M_2} - y_{F_2} + l_j \sin(\alpha_i - \alpha_j)}{\sin \alpha_i}; \quad (2.52)$$

$$l_{x_N} = x_{M_2} - x_{F_2} - l_{ki} \cos \alpha_i + l_j \cos(\alpha_i + \alpha_j). \quad (2.53)$$

Кут $\alpha_i \neq 0$ або π , оскільки у таких випадках ланки групи одержують додатковий ступінь вільності, тобто з'являється невизначеність у русі.

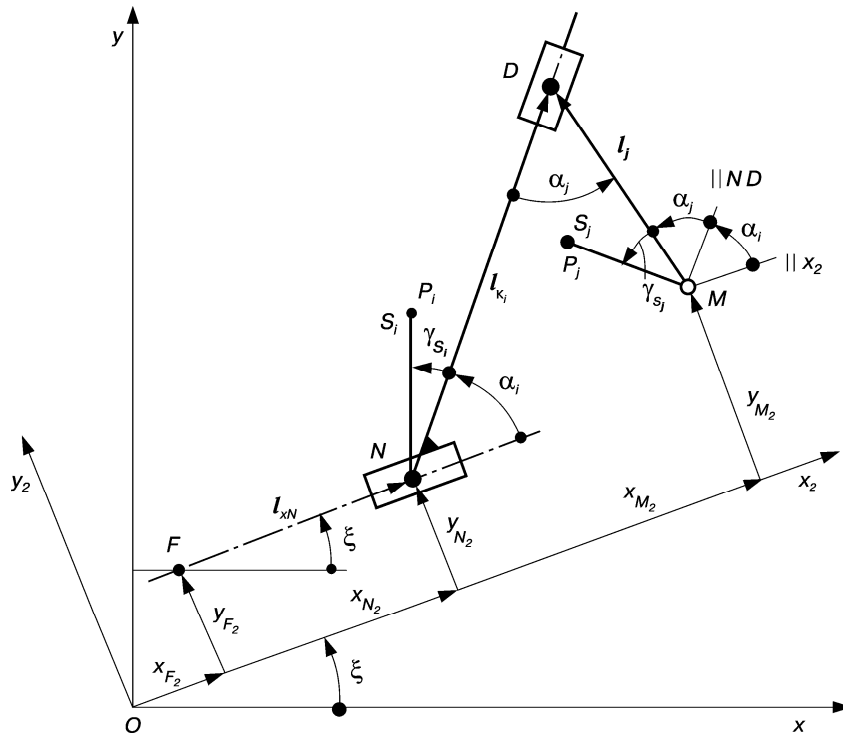


Рис. 46. Структурна група V виду

Шляхом диференціювання рівняння (2.51) одержимо аналоги швидкостей і прискорень:

$$l'_{ki} = \frac{y'_{M_2} - y'_{F_2}}{\sin \alpha_i}; \quad l''_{ki} = \frac{y''_{M_2} - y''_{F_2}}{\sin \alpha_i}; \quad (2.54)$$

$$l'_{xN} = x'_{M_2} - x'_{F_2} - l'_{ki} \cos \alpha_i; \quad l''_{xN} = x''_{M_2} - x''_{F_2} - l''_{ki} \cos \alpha_i. \quad (2.55)$$

Параметри руху точки N у системі координат x_2Oy_2 визначаються наступними залежностями

$$x_{N_2} = x_{F_2} + l_{xN}; \quad y_{N_2} = y_{F_2}; \quad (2.56)$$

$$x'_{N_2} = x'_{F_2} + l'_{xN}; \quad y'_{N_2} = y'_{F_2}; \quad (2.57)$$

$$x''_{N_2} = x''_{F_2} + l''_{xN}; \quad y''_{N_2} = y''_{F_2}. \quad (2.58)$$

Знаючи координати точок N і M та їхні похідні за узагальненою координатою ϕ_i , можна визначити у системі координат x_2Oy_2 координати будь-якої точки (D, S, P), які належить ланкам групи, та їхні похідні, використавши залежності (2.12), (2.20), (2.22) або підпрограми KDT (див. рис. 33).

```

С КИНЕМАТИКА ГРУППЫ 5 ВИДА
SUBROUTINE KG5(XF,YF, XM, YM, AXF, A YF, AXM, AYM
1, WXF, WYF, WXM, WYM, KSI, AKSI, WKSI, LJ, ALI, ALJ,
2LXN, LKI, ALXN, ALKI, WLXN, WLKI, XN2, AXN2, WXN2)
CALL PKT(XF, YF, AXF, A YF, WXF, WYF, KSI, AKSI,
1WKSI, XF2, YF2, AXF2, A YF2, WXF2, WYF2)
CALL PKT(XM, YM, AXM, A YM, WXM, WYM, KSI, AKSI,
1WKSI, XM2, YM2, AXM2, A YM2, WXM2, WYM2)
1XM2, YM2, AXM2, A YM2, WXM2, WYM2)
LKI=(YM2-YF2+LJ*SIN(ALI+ALJ))/SIN(ALI)
LXN=XM2-XF2-LKI*COS(ALI)+LJ*COS(ALI+ALJ)
ALKI=(AYM2-A YF2)/SIN(ALI)
ALXN=AXM2-AXF2-ALKI*COS(ALI)
WLKI=(WYM2-WYF2)/SIN(ALI)
WLXN=WXM2-WXF2-WLKI*COS(ALI)
XN2=XF2+LXN
AXN2=AXF2+ALXN
WXN2=WXF2+WLXN
RETURN
END

```

Рис. 47. Підпрограма для дослідження кінематики структурної групи V виду

На рис. 47 наведена підпрограма KG5, яка дозволяє визначити переміщення ланок i та j , їхні аналоги швидкостей та прискорень. Вихідні дані – перші 18 параметрів, умовні позначення наведені в табл. 3.

2.3. Застосування теорії подібності для порівняльної оцінки закону руху вихідної ланки

Аналоги швидкостей і прискорень ланок, методика визначення яких викладена в навчальній літературі, зручні для характеристики руху ланок передавальних механізмів (зубчастих, фрикційних, пасових і т.д., у тому числі шарнірних механізмів періодичного повороту). Для порівняння законів руху вихідних ланок циклових механізмів (кулачкових, шарнірних зі зворотно-поступальним або коливальним переміщеннями вихідної ланки) більше зручними характеристиками є *інваріанти переміщень* a_k , *швидкості* b_k , *прискорення* c_k , *кінетичної (динамічної) потужності* d_k та їхні *константи піків* (максимальні значення): швидкості $B = |b_k|_{\max}$, прискорення $C = |c_k|_{\max}$, кінетичної потужності $D = |d_k|_{\max}$ і т.д. [26; 52; 63]. У роботах [5; 6; 37; 50] інваріанти називають *безрозмірними коефіцієнтами* й відповідно позначають $a_k = \xi$, $b_k = \delta$, $c_k = \zeta$. Інваріанти a_k , b_k , c_k , d_k є безрозмірними числовими характеристиками механічних величин у функції узагальненої координати $k = t/T$, де k – *відносний час* або фаза циклу; T – період циклу однозначних переміщень; t – поточне значення часу ($0 \leq t \leq T$). У нашому випадку T – період прямого або зворотного ходу, тобто час повороту кривошипа на кут φ_{Π} або φ_3 (див. рис. 19, 21). Як відомо [52], константи піків B , C , D є об'єктивними *критеріями*

якісної оцінки законів періодичного руху. Так, константа піка швидкості B нерідко лімітує підвищення продуктивності машин за відповідними технологічними причинами, визначає найбільшу кінетичну енергію мас, що рухаються ($T \div B^2$), а при малих динамічних навантаженнях – сумарну *потужність* ($N_{\Sigma} \div B$) і т.д. Константа піка прискорення C визначає найбільші сили інерції $F_{\text{ін.макс}} \div C$. Константи піків кінетичної потужності D визначають максимальні значення відповідних складових розрахункових динамічних навантажень на всі ланки передавальних механізмів.

Перехід від аналогів швидкостей і прискорень до інваріантів a_k, b_k, c_k, d_k можна здійснити за допомогою залежностей [25, 49]:

$$a_k = \frac{\beta_5}{\beta_m}; \quad b_k = \frac{\varphi_{\text{п}}}{\beta_m} \varphi'_5; \quad c_k = \frac{\varphi_{\text{п}}^2}{\beta_m} \varphi''_5; \quad d_k = b_k c_k = \frac{\varphi_{\text{п}}^3}{\beta_m^2} N_{\text{к5}}, \quad (2.59)$$

де β_5 – поточне кутове переміщення вихідної ланки; β_m – його максимальний кут розмаху; $\varphi_{\text{п}}$ – кут повороту кривошипа за час прямого ходу (для періоду зворотного ходу замість $\varphi_{\text{п}}$ підставляємо φ_3); $N_{\text{к5}} = \varphi'_5 \varphi''_5$ – аналог кінетичної потужності.

Для розглянутих механізмів при $K=1$, нехтуючи переміщенням вихідної ланки в період вистою, тобто величиною E , залежності (2.59) можна записати в такому вигляді:

$$a_k = \frac{3\pi - \gamma - \beta_5 - \Omega/2}{\beta_m}; \quad b_k = \frac{\pi - \alpha}{\beta_m} \varphi'_5; \quad c_k = \frac{(\pi - \alpha)^2}{\beta_m} \varphi''_5; \quad d_k = \frac{(\pi - \alpha)^3}{\beta_m^2} N_{\text{к5}}. \quad (2.60)$$

Тут, відповідно до теорії подібності [52], модулями вимірів механічних величин є модулі: переміщень – максимальний кут розмаху β_m коромисла EF , часу – період T прямого (зворотного) ходу; маси – момент інерції J вихідної ланки. Позначимо цю систему вимірювання $[J, \beta_m, T]$.

При поступальному русі вихідної ланки залежності (2.59) приймають вигляд (див. рис. 21)

$$a_k = \frac{S_E}{S_m}; \quad b_k = \frac{v_E}{S_m T^{-1}}; \quad c_k = \frac{a_E}{S_m T^{-2}}; \quad d_k = b_k c_k, \quad (2.61)$$

де S_E – поточне переміщення повзуна E ; S_m – його максимальний хід; v_E, a_E – швидкість і прискорення повзуна E ; T – період прямого (зворотного) ходу.

Для розглянутих механізмів при $K = 1$ залежності (2.61) можна записати

$$a_k = \frac{S_E}{S - E}; \quad b_k = \frac{\pi - \alpha}{S - E} x'_{E2}; \quad c_k = \frac{(\pi - \alpha)^2}{S - E} x''_{E2}; \quad d_k = \frac{(\pi - \alpha)^3}{(S - E)^2} N_{\text{кE}}. \quad (2.62)$$

Тут модулями вимірювання механічних величин будуть модулі: переміщень – максимальний хід повзуна E $S_m=S_1$, при $K = 1$, $S_m= S - E$; часу – період T прямого (зворотного) ходу; маси – маса m повзуна E . Позначимо цю систему вимірювання $[m, S, T]$.

Застосування інваріантів a_k, b_k, c_k, d_k та їхніх констант піків дозволяє порівнювати закони руху вихідної ланки шарнірних механізмів з зупинкою із законами руху вихідної ланки кулачкових механізмів, для яких наводяться залежності $a_k(k), b_k(k), c_k(k)$ і $d_k(k)$ та їхні константи піків [5; 52]. Без таких даних важко говорити про місце МЧВ у численному сімействі законів руху вихідної ланки кулачкових механізмів.

Надалі методи теорії подібності будуть використані й при силовому розрахунку механізмів.

2.4. Аналітичне дослідження кінематики МЧВ за допомогою ЕОМ

На підставі викладеної раніше методики складені програми для ЕОМ, що дозволяють провести аналітичне дослідження кінематики розглянутих механізмів при будь-яких дійсних значеннях їхніх геометричних параметрів. Приклад найбільш простих програм показаний на рис. 37 (програма PRIMER). Однак така програма дозволяє при заданих розмірах механізму й положеннях кривошипа OA (див. рис. 36) визначити тільки переміщення, аналоги швидкостей і прискорень ланок, кути передачі μ_1 і μ_2 . Для виконання якісної (порівняльної) оцінки закону руху вихідної ланки, зіставлення даних досліджень різних кінематичних схем МЧВ і кулачкових механізмів програму PRIMER необхідно доповнити іншими обчислювальними операціями й тим самим розширити її можливості.

На рис. 48, 49 наведені приклади більш детальних програм для кінематичного дослідження МЧВ1 і МЧВ2. У програмі MTV1 (рис. 48) вихідними даними є параметри $\Omega, \alpha, a, r, Z, R, E, S, K, \beta_m$, вид зборки механізму (SB), кількість досліджуваних положень механізму N_b – для половини періоду вистою (це відповідає повороту кривошипа на кут a) і N_p – для періоду прямого або зворотнього руху, тобто сумарна кількість досліджуваних положень механізму $N = 2(N_b + N_p)$. Положення кривошипа задається кутом φ_1 , який змінюється із кроком $\Delta\varphi_1 = \alpha / N_b$ – період зупинки; $\Delta\varphi_1 = \varphi_n / N_p$ – період прямого ходу; $\Delta\varphi_1 = \varphi_3 / N_p$ – період зворотного ходу. Умовні позначення, які використовуються в програмі, наведені в табл. 3.

```

C      ПРОГРАММА MTV1
C      КИНЕМАТИКА МЧБ1
      IMPLICIT REAL(K,M)
      INTEGER SB
      DIMENSION F(4),DF(4),N(4)
      NAMELIST/LIST/OM,AL,A,R,Z,RT,E,S,K,BM,SB,
1 NV,ND
      READ(1,LIST)
      WRITE(3,LIST)
      PI=3.14159265
      PGR=PI/180.
      OMR=OM*PGR
      ALR=AL*PGR
      BMR=BM*PGR
      CALL SK1(OMR,ALR,A,R,Z,RT,K,BM,SB,
1 FP,FO,S1,XI1,XI2,GA,B,A1,A2,F6,XF,YF,B0)
      BKM=0.
      CKM=0.
      DKM=0.
      BKMO=0.
      CKMO=0.
      DKMO=0.
      MNM=PI
      MVM=0.
      AF5M=0.
      WF5M=0.
      AWF5M=0.
      MJ2N=0.
      MJ2V=PI
      AXF=0.
      AYF=0.
      WXF=0.
      WYF=0.
      RTA=ABS(RT)
      FP=2.*K*(PI-ALR)/(1.+K)
      FO=2.*(PI-ALR)-FP
      F(1)=0.
      F(2)=A/R
      F(3)=ALR+FP
      F(4)=2.*PI-ALR
      DF(1)=ALR/NV
      DF(2)=FP/ND
      DF(3)=FO/ND
      DF(4)=ALR/NV
      N(1)=NV
      N(2)=ND
      N(3)=ND
      N(4)=NV
      DO 27 J=i,4
      JF=N(J)

      DO 27 I=1,JF
      F1=F(J)+DF(J)*(I-1)
      F1G=F1/PGR
      PRINT 3,F1G
3  FORMAT(3X,'F1G=',F7.3)
      CALL KM1(A,0.,R,F1,XA,YA,AXA,AYA,WXA,WYA)
      CALL KG1(0.,0.,XA,YA,0.,0.,AXA,AYA,0.,0.,
1 WXA,WYA,1.,1.,F3,F2,AF3,A2,WF3,WF2,MJ1)
      F2G=F2/PGR
      F3G=F3/PGR
      PRINT 4,F2G,F3G,AF2,AF3,WF2,WF3
4  FORMAT(5X,'F2=',F7.3,2X,'F3=',
1 F7.3,2X,'AF2=',E12.5,2X,'AF3=',E12.5,2X,
2 'WF2=',E12.5,2X,'WF3=',E12.5)
      AD=SQRT(2.-2.*COS(2.*PI-OMR))
      GD=(PI-OMR)/2.
8  CALL KDT(XA,YA,AXA,AYA,WXA,WYA,AD,GD,F2,
1 AF2,WF2,XD,YD,AXD,AYD,WXD,WYD)
      IF(RT.GT.0.) GOTO 22
      IF(SB.EQ.1) GOTO 23

```

```

9 CALL KG1(XF,YF,XD,YD,AXF,AYF,AXD,AYD,WXF,
1 WYF,WXD,WYD,B,RTA,F5,F4,AF5,AF4,WF5,WF4,MJ2)
10 B5=F5-B0
   AWF5=AF5*WF5
   IF(AF5M.GE.ABS(AF5)) GOTO 11
   AF5M=ABS(AF5)
11 IF(WF5M.GE.ABS(WF5)) GOTO 12
   WF5M=ABS(WF5)
12 IF(AWF5M.GE.ABS(AWF5)) GOTO 13
   AWF5M=ABS(AWF5)
13 IF(MJ2N.GE.MJ2) GOTO 14
   MJ2N=MJ2
14 IF(MJ2V.LE.MJ2) GOTO 15
   MJ2V=MJ2
15 AK=B5/BMR
   IF(F1.LT.ALR) GOTO 24
   IF(ALR.LE.F1.AND.F1.LE.F(3)) GOTO 19
   IF(F(3).LE.F1.AND.F1.LE.F(4)) GOTO 16
   GOTO 24
16 BK=FO*AF5/BMR
   IF(BKMO.GE.ABS(BK)) GOTO 17
   BKMO=ABS(BK)
17 CK=FO**2*WF5/BMR
   IF(CKMO.GE.ABS(CK)) GOTO 18
   CKMO=ABS(CK)
18 DK=BK*CK
   IF(DKMO.GE.ABS(DK)) GOTO 19
   DKMO=ABS(DK)
   GOTO 24
19 BK=FP*AF5/BMR
   IF(BKM.GE.ABS(BK)) GOTO 20
   BKM=ABS(BK)
20 CK=FP**2*WF5/BMR
   IF(CKM.GE.ABS(CK)) GOTO 21
   CKM=ABS(CK)
23 CALL KG1(XD,YD,XF,YF,AXD,AYD,AXF,AYF,WXD,
   WYD,WXF,WYF,RTA,B,F4,F5,AF4,AF5,WF4,
   WF5,MJ2)
   DKM=ABS(DK)
   GOTO 24
22 IF(SB.EQ.1) GOTO 9
23 CALL KG1(XD,YD,XF,YF,AXD,AYD,AXF,AYF,WXD,WYD,
1,WXF,WYF,RTA,B,F4,F5,AF4,AF5,WF4,WF5,MJ2)
   GOTO 10
24 B5G=B5/PGR
   MJ2G=MJ2/PGR
   PRINT 25,B5G,MJ2G,AF5,WF5,AWF5
25 FORMAT(2X,'B5=',E12.5,2X,'MJ2=',F7.3,2X,
1'AF5=',E12.5,2X,'WF5=',E12.5,2X,'AWF5=',
2E12.5)
   IF(ALR.GT.F1.OR.F1.GT.F(4)) GOTO 27
   PRINT 26,AK,BK,CK,DK
26 FORMAT(5X,'AK=',F8.5,5X,'BK=',E12.5,5X,
1'CK=',E12.5,5X,'DK=',E12.5)
27 CONTINUE
   MJ2NG=MJ2N/PGR
   MJ2VG=MJ2V/PGR
   PRINT 28,MJ2NG,MJ2VG,AF5M,WF5M,AWF5M,
1BKM,CKM,DKM
28 FORMAT(2X,'MJ2=',F7.3,2X,F7.3,2X,'AF5M=',
1E12.5,2X,'WF5M=',E12.5,2X,'AW5M=',E12.5/10X,
2'B=',F8.5,2X,'C=',E12.5,2X,'D=',E12.5)
   PRINT 29,BKMO,CKMO,DKMO
29 FORMAT(10X,'BO=',F8.5,2X,'CO=',E12.5,2X,
1'DO=',E12.5)
   STOP
   END

```

48. Загальна програма для дослідження кінематики МЧВ1

Програма MTV1 дозволяє визначити не тільки зазначені в програмі PRIMER кінематичні пари метри, але й зробити синтез механізму за заданим коефіцієнтом K і кутом розмаху вихідної ланки (підпрограми SK1 і SK2), знайти значення позиційних

інваріантів a_k , b_k , c_k і d_k для обох періодів руху вихідної ланки, а також визначити максимальні значення (константи піків) аналогів й інваріантів швидкостей φ'_{5m} , B , прискорень φ''_{5m} , C і кінетичної потужності $N_{к5m}$, D . Константи піків інваріантів для періоду зворотного руху вихідної ланки позначені B_3 , C_3 , D_3 , допустимі кути передачі – $[\mu_{1min}]$, $[\mu_{2max}]$.

У програмі MTV2 (рис. 49) вихідними даними є параметри Ω , α , a , r , Z , R , E , S , K , N_b і N_p . Для синтезу механізмів за заданим коефіцієнтом K використана підпрограма SK2, що дозволяє знайти кут χ_1 (див. рис. 21). Можливості програми такі ж, як і програми MTV1, умовні позначення фактичних параметрів наведені в табл. 3, де S_E – переміщення, x'_E – аналог швидкості, x''_E – аналог прискорення, $N_{кE}$ – аналог кінетичної потужності повзуна E .

Нижче будуть розглянуті основні результати кінематичного дослідження всіх 4 видів МЧВ. Але перш ніж перейти до цього питання, умовимося для стислості викладу позначати кінематичні схеми досліджуваних механізмів тільки цифровими значеннями незалежних кутових (у градусах) і лінійних параметрів, дотримуючись такого порядку запису (для МЧВ1): $\Omega - \alpha - a - b - \gamma$. Якщо $b=3(S - E)$ і $K = 1$, то позначення включає тільки три параметри: $\Omega - \alpha - a$ при $K=1$, а $b \neq 3(S - E)$ – чотири: $\Omega - \alpha - a - b$. Аналогічно можна позначити кінематичні схеми інших видів МЧВ (у даній роботі ці позначення не використовуються).

2.5. Вплив геометричних параметрів базисного механізму на кінематичні характеристики руху вихідної ланки

Для того щоб встановити вплив розмірів ланок базисного механізму й виключити вплив розмірів ланок приєднаної групи на досліджувані параметри, була проведена серія досліджень, при яких кут розмаху β_m вихідної ланки прийнятий сталим, а коефіцієнт $K = 1$.

На рис. 50 показані характерні діаграми зміни кутових переміщень β_5 вихідної ланки EF , його аналогів швидкостей φ'_5 , прискорень φ''_5 і кінетичної потужності $N_{к5}$ залежно від кута повороту кривошипа OA за умови, що $\omega_1 = \text{const}$, $K = 1$, $b=3(S - E)$. Як видно із цих діаграм, всі кінематичні параметри змінюються плавно, причому в період зупинки їхня величина залежить, насамперед, від відхилення E шатунної кривої на ділянці

наближення від дуги кола радіуса R .

При $K=1$ досліджувані параметри β_5 , φ'_5 , φ''_5 , N_{k5} за абсолютним значенням у відповідних фазах прямого й зворотного ходів незначно відрізняються між собою. Причому, якщо центр шарніра F розміщений ліворуч від осі CO_1 (див. рис. 19), константи піків для періоду прямого ходу (віддалення) дещо більші, ніж для періоду зворотного ходу (наближення) (для аналогів прискорень це видно по піках їхніх позитивних значень). Ці розбіжності між константами піків будуть тим більше, чим менше довжина b коромисла BF , тобто чим більше його кут розмаху β_m . Якщо центр шарніра F розмістити праворуч від осі симетрії CO_1 то – константи піків у період віддалення будуть менші, ніж у період наближення.

```

C      ПРОГРАММА МТВ2
C      КИНЕМАТИКА МЧВ2
      IMPLICIT REAL(K,M)
      DIMENSION F(4),DF(4),N(4)
      NAMELIST/LIST/OM,AL,A,R,Z,RT,E,S,K,NV,ND
      READ(1,LIST)
      WRITE(3,LIST)
      PI=3.14159265
      PGR=PI/180.
      OMR=OM*PGR
      ALR=AL*PGR
      CALL SK2(OMR,ALR,A,R,Z,RT,K,FP,FO,S1,
1 XI1,XI2)
      X1=Z*COS(PI-OMR/2.)
      Y1=Z*SIN(PI-OMR/2.)
      X2=X1*COS(XI2)+Y1*SIN(XI2)
      AEM=0.
      WEM=0.
      AWEM=0.
      BKM=0.
      CKM=0.
      DKM=0.
      BKMO=0.
      CKMO=0.
      DKMO=0.
      MJ2V=PI/2.
      RTA=ABS(RT)
      F(1)=0.
      F(2)=ALR
      F(3)=ALR+FP
      F(4)=2.*PI-ALR
      DF(1)=ALR/NV
      DF(2)=FP/ND
      DF(3)=FO/ND
      DF(4)=ALR/NV
      N(1)=NV
      N(2)=ND
      N(3)=ND
      N(4)=NV
      DO 18 J=1,4
      JF=N(J)
      DO 18 I=1,JF
      F1=F(J)+DF(J)*(I-1)
      F1G=F1/PGR
      PRINT 3,F1G
3  FORMAT(3X,'F1G=',F7.3)
      CALL KM1(A,0.,R,F1,XA,YA,AXA,AYA,WXA,WYA)
      CALL KG1(0.,0.,XA,YA,0.,0.,AXA,AYA,0.,0.

```

```

1, WXA, WYA, 1., 1., F3, F2, AF3, AF2, WF3, WF2, MJ1)
  F2G=F2/PGR
  F3G=F3/PGR
  PRINT 4, F2G, F3G, AF2, AF3, WF2, WF3
4 FORMAT(5X, 'F2=', F7.3, 2X, 'F3=', F7.3, 2X,
1 'AF2=', E12.5, 2X, 'AF3=', E12.5, 2X, 'WF2=',
2E12.5, 2X, 'WF3=', E12.5)
  AD=SQRT(2.-2.*COS(2.*PI-OMR))
  GD=(PI-OMR)/2.
  CALL KDT(XA, YA, AXA, AYA, WXA, WYA, AD,
1GD, F2, AF2, WF2, YD, YD, AXD, AYD, WXD, WYD)
  CALL KG2(XD, YD, AXD, AYD, WXD, WYD, X1, Y1, 0., 0.
1, 0., 0., XI2, 0., 0., RTA, 0., 0., F42, AF4, WF4, XE,
2AXE, WXE, MJ2,)
  SE=XE-X2
  AK=SE/S1
  AWXE=AXE*WXE
  IF(AEM.GE.ABS(AXE)) GOTO 5
  AEM=ABS(AXE)
5 IF(WEM.GE.ABS(WXE)) GOTO 6
  WEM=ABS(WXE)
6 IF(AWEM.GE.ABS(AWXE)) GOTO 7.
  AWEM=ABS(AWXE)
7 IF(F1.LT.ALOR) GOTO 14
  IF(ALR.LE.F1.AND.F1.LE.F(3)) GOTO 8
  IF(F(3).LE.F1.AND.F1.LE.F(4)) GOTO 11
8 BK=FP*AXE/S1
  IF(BKM.GE.ABS(BK)) GOTO 9
  BKM=ABS(BK)
9 CK=FP**2*WXE/S1
  IF(CKM.GE.ABS(CK)) GOTO 10
  CKM=ABS(CK)
10 DK=BK*CK
  IF(DKM.GE.ABS(DK)) GOTO 14
  DKM=ABS(DK)
  GOTO 14
11 BK=FO*AXE/S1
  IF(BKMO.GE.ABS(BK)) GOTO 12
  BKMO=ABS(BK)
12 CK=FO**2*WXE/S1
  IF(CKMO.GE.ABS(CK)) GOTO 13
  CKMO=ABS(CK)
13 DK=BK*CK
  IF(DKMO.GE.ABS(DK)) GOTO 14
  DKMO=ABS(DK)
14 IF(MJ2V.LE.MJ2) GOTO 15
  MJ2V=MJ2
15 F42G=F42/PGR
  MJ2G=MJ2/PGR
  PRINT 16, F42G, AF4, WF4, SE, AXE, WXE, MJ2G

16 FORMAT(5X, 'F4=', F8.3, 2X, 'AF4=', E13.5, 2X,
1 'WF4=', E12.5, 2X, 'SE=', F8.5, 2X, 'AXE=', E12.5
2, 2X, 'WXE=', E12.5, 'MJ2=', F8.3)
  IF(ALR.GT.F1.OR.F1.GT.F(4)) GOTO 18
  PRINT 17, AK, BK, CK, DK
17 FORMAT(5X, 'AK=', F8.5, 5X, 'BK=', E12.5, 5X,
1 'CK=', E12.5, 5X, 'DK=', E12.5)
18 CONTINUE
  MJ2VG=MJ2V/PGR
  PRINT 19, MJ2VG, AEM, WEM, AWEM, BKM, CKM, DKM
19 FORMAT(5X, 'MJ2=', F8.5, 2X, 'AEM=', E12.5, 2X,
1 'WEM=', E12.5, 2X, 'AW=', E12.5, 2X, 'B=', E12.5
2, 2X, 'C=', E12.5, 2X, 'D=', E12.5)
  PRINT 20, BKM, CKM, DKM
20 FORMAT(25X, 'BO=', E12.5, 5X, 'CO=', E12.5,
15X, 'DO=', E12.5)
  STOP
  END

```

49. Загальна програма для дослідження кінематики МЧВ2

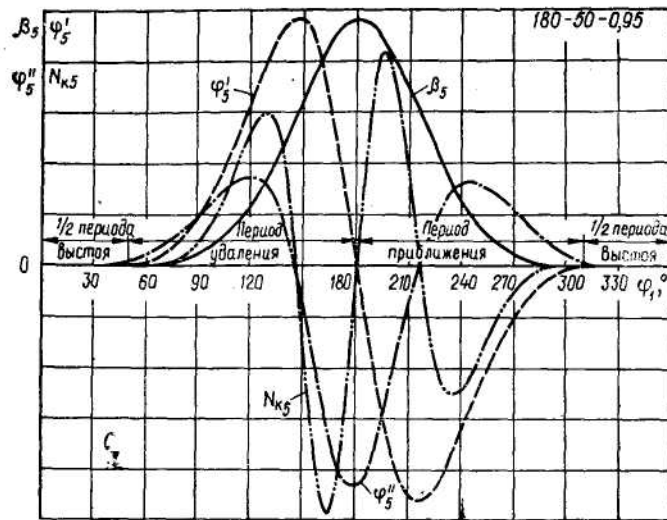


Рис. 50. Пример кинематических диаграмм движения выходного звена МЧВ1

Рис. 50. Приклад кінематичних діаграм руху вихідної ланки МЧВ1

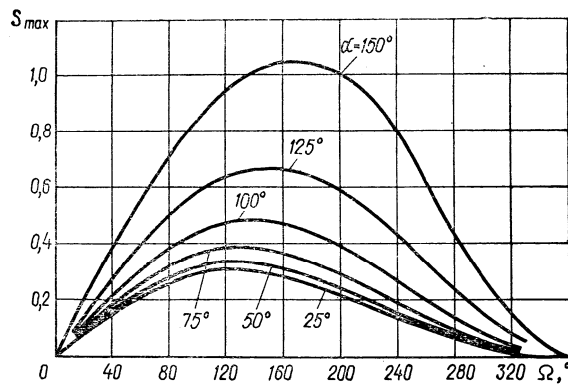


Рис. 51. Залежність максимального ходу вихідної ланки МЧВ2 від кута злому шатуна ABD при $K=1$

При приєднанні до базисного механізму групи II виду (див. рис. 21) залежності переміщень S_E , аналогів швидкості x'_E , прискорення x''_E і кінетичної потужності N_{KE} у функції від φ_1 виражаються діаграмами, подібними до зображених на рис. 50, з тією лише різницею, що при $K=1$ криві тут розміщені симетрично або дзеркально-симетрично щодо ординати $\varphi_1 = 180^\circ$, тобто величина й характер зміни цих параметрів у періоди прямого й зворотного ходів повзуна E не залежать від напрямку обертання кривошипа OA . Це пояснюється тим, що траєкторія точки D симетрична щодо осі CO_1 і при $K=1$ напрям руху повзуна E збігається із CO_1 (кут $\chi_1 = 0$).

Переміщення вихідної ланки. У тому випадку, якщо період віддалення вихідної ланки дорівнює періоду наближення ($K=1$), максимальне кутове відхилення коромисла EF від лінії FO_1 (див. рис. 19), тобто кут розмаху β_m , визначається його довжиною b і відрізком $S-E$. Якщо знехтувати відхиленням E , то кут β_m визначається тільки відрізком

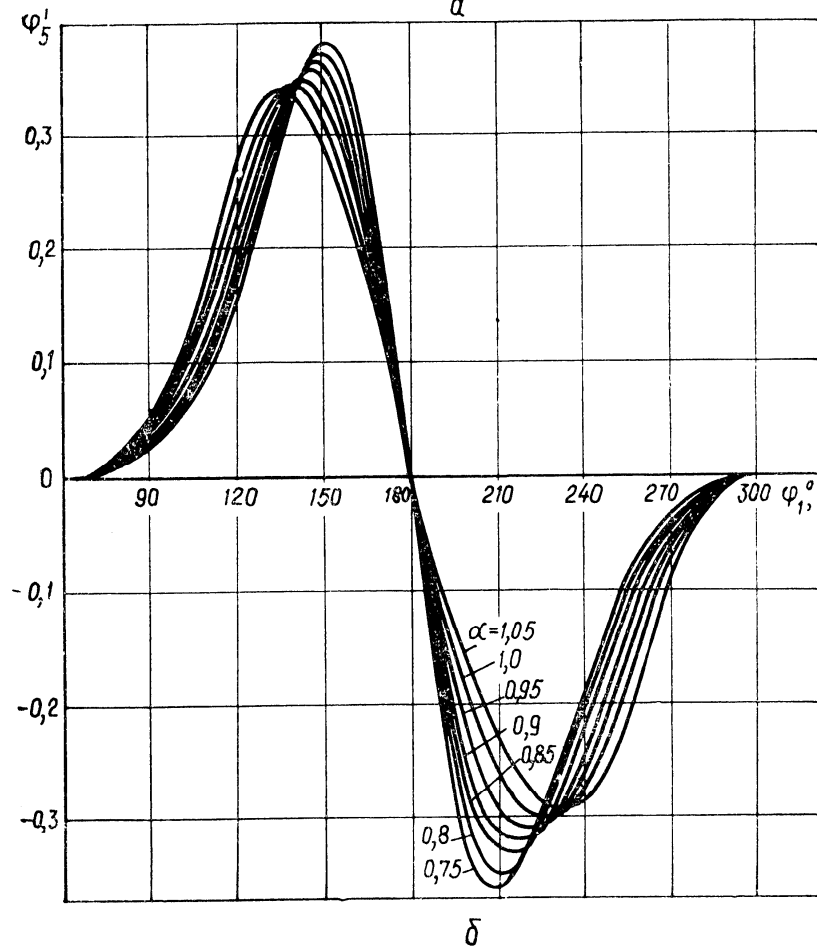
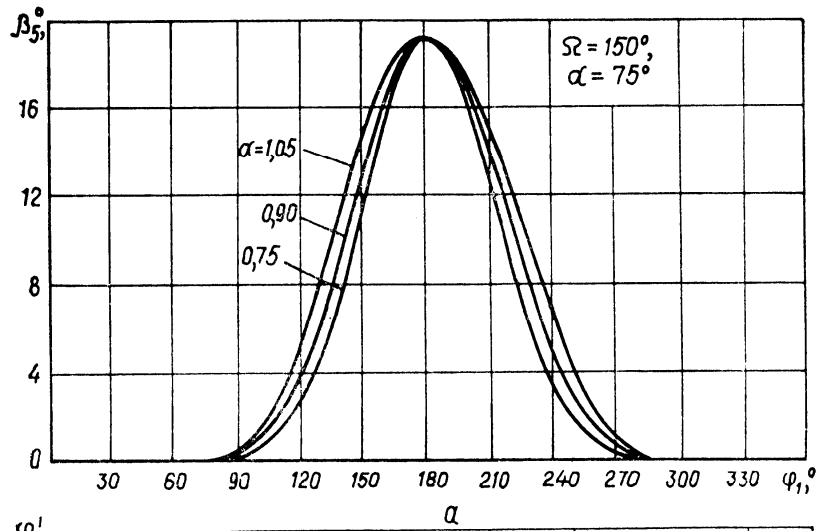
S. У дод. 1 наведені діаграми $S = S(a)$, з яких видно, що залежність $S=S(a)$ має такий же характер зміни, як і $r=r(a)$, тільки їхні максимуми трохи зміщені. Максимально допустимі кути розмаху β_m коромисла EF можна визначити при $K = 1$ (див. рис. 20), а при $K \neq 1$ в дод. 6.

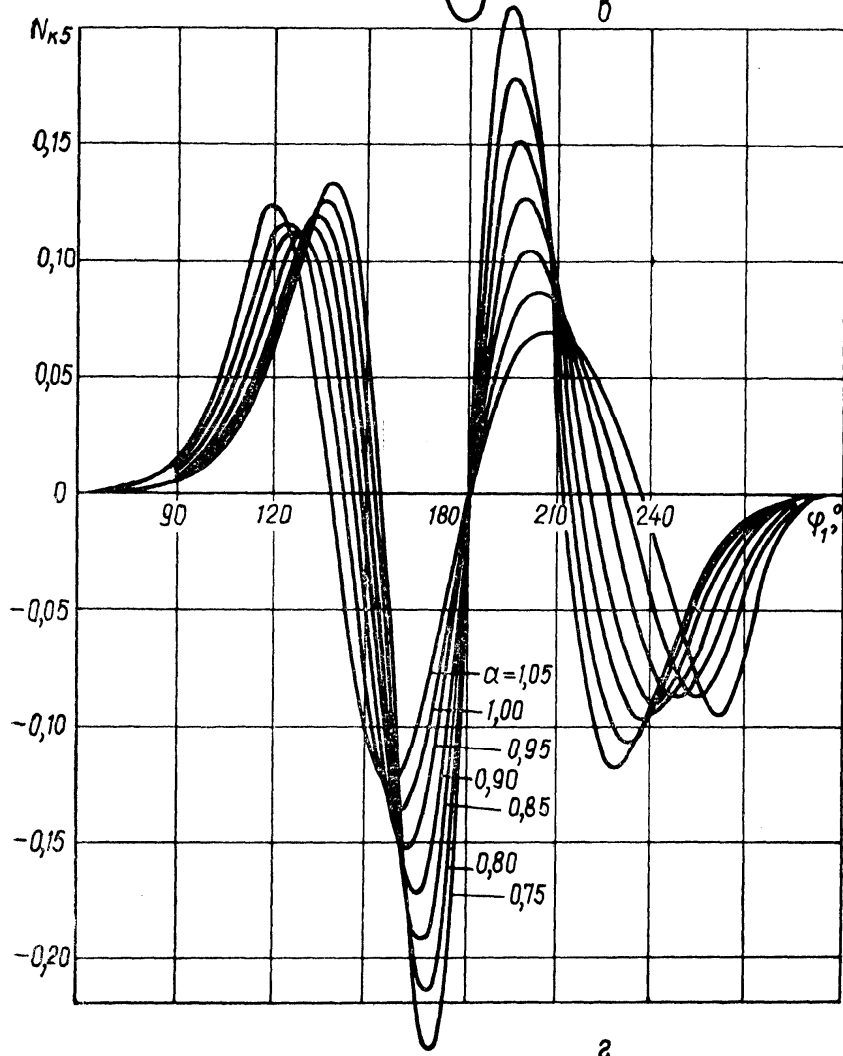
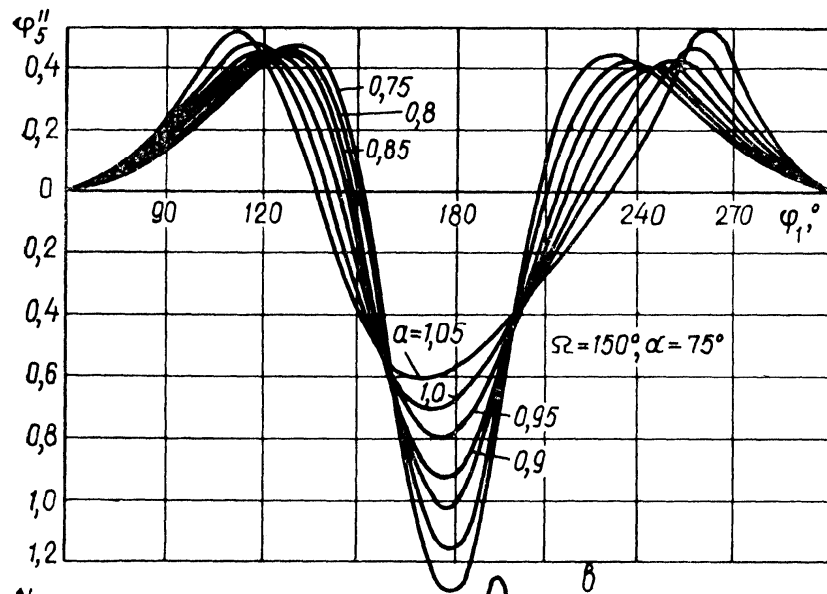
Для механізмів із приєднаною групою II виду при $K = 1$ максимальне віддалення повзуна E від точки O_1 (див. рис. 21) також визначається відрізком $S - E$. Вплив параметрів Ω і α на максимально можливі значення відрізка S можна простежити, розглянувши сімейство діаграм $S_{\max} = S_{\max}(\Omega)$, побудованих для шести значень α (рис. 51), де S_{\max} – максимальний відрізок S (пік), узятий з діаграм $S = S(a)$ (дод. 1) для відповідних значень Ω і α . З діаграм $S_{\max} = S_{\max}(\Omega)$ видно, що при $K = 1$ максимальний відносний хід повзуна E може бути забезпечений при куті злому шатуна $\Omega = 120 \dots 170^\circ$, причому зі збільшенням α положення максимальних значень S_{\max} зміщуються до верхньої межі ($\Omega = 170^\circ$).

Вплив міжосьової відстані a на закони руху ланок приєднаної групи видно із сімейства діаграм (рис. 52) кутових переміщень β_5 , аналогів швидкостей φ'_4, φ'_5 , прискорень φ''_4, φ''_5 , кінетичної потужності $N_{к5}$, побудованих для механізмів, що мають $\Omega = 150^\circ, \alpha = 75^\circ$ (рис. 52, б, в).

Для цих механізмів збільшення міжосьової відстані a призводить до зменшення максимальних значень аналогів $\varphi'_5, \varphi''_5, N_{к5}$. Це пояснюється тим, що при малих значеннях a дуже повільно нарастають переміщення вихідної ланки (рис. 52, а), тобто має місце вповільнений перехід від періоду зупинки до періоду руху й навпаки. У межах робочої області існування МЧВ (дод. 1) така картина спостерігається майже при всіх значеннях Ω і $\alpha < 75^\circ$.

В період зупинки вихідної ланки аналоги швидкостей φ'_4 майже не змінюються (рис. 52,5) і відповідно аналоги прискорень $\varphi''_4 \rightarrow 0$ (рис. 52, з, е). Це говорить про те, що в цей період шатун DE обертається рівномірно навколо точки O_1 (див. рис. 19), а точка D рухається уздовж ділянки наближення зі сталою швидкістю. Період рівномірного руху шатуна DE становить приблизно $2/3$ періоду зупинки. Наявність у ЛМЧ ділянки шатунної кривої з рівномірним переміщенням точки D може бути використане при проектуванні приладів, пристроїв, у яких при рівномірному обертотому русі вхідної ланки необхідно одержати рівномірне переміщення точки по дузі кола або по прямій лінії.





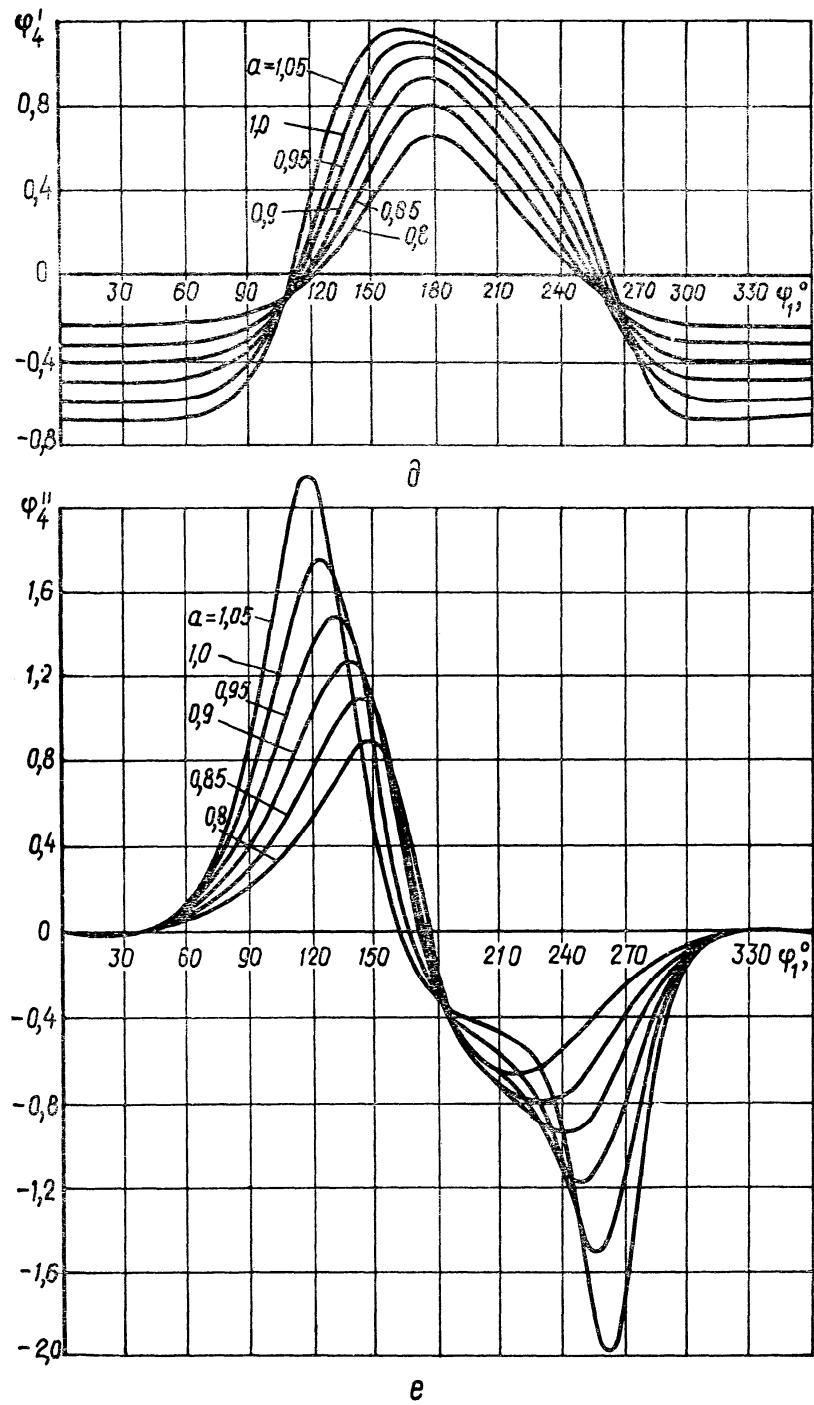


Рис. 52. Вплив міжосьової відстані a на характер зміни кінематичних параметрів руху ланок приєднаної групи

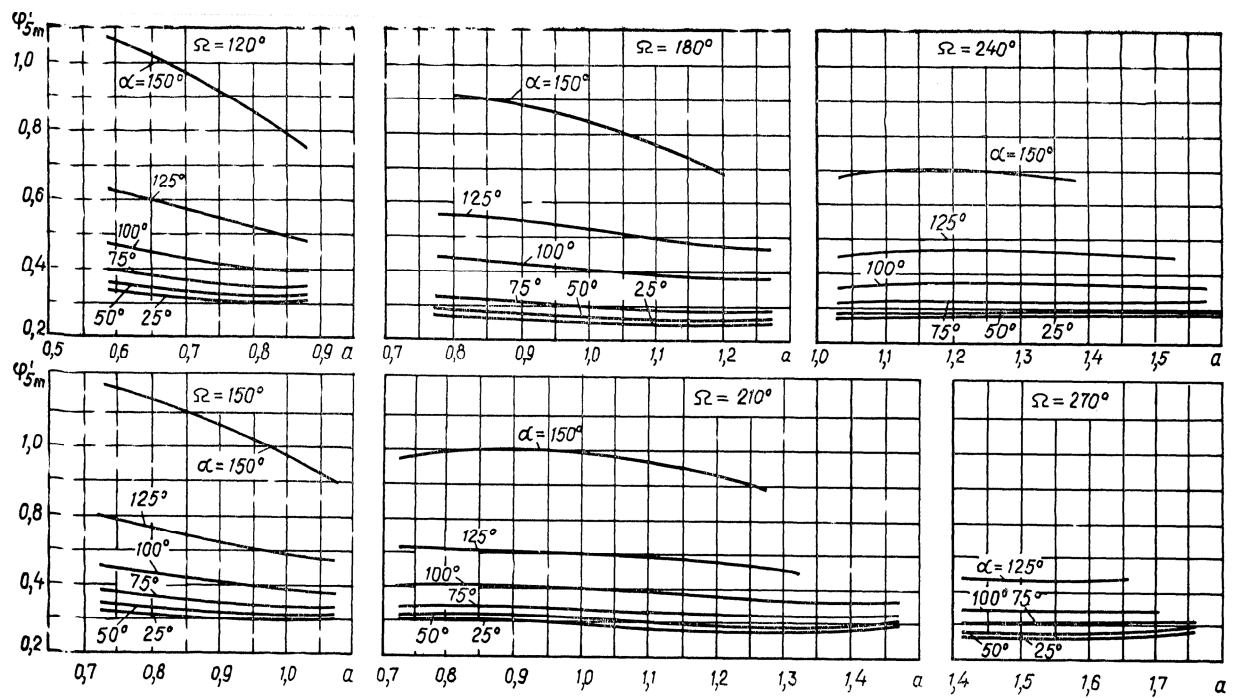


Рис.53. Вплив геометричних параметрів базисного механізму на максимальні значення аналогів швидкостей вихідної ланки МЧВ1

Більш детально вплив міжосьової відстані a на досліджувані параметри ілюструється діаграмами констант піків аналогів кутових швидкостей φ'_{5m} , (рис. 53), прискорень φ''_{5m} (рис. 54) і кінетичної потужності N_{k5m} . (рис. 55), побудованих для шести значень Ω і α . Для всіх механізмів, у яких $\Omega \leq 180^\circ$ або $\Omega \geq 270^\circ$, збільшення a , як це спостерігалось раніше (див. рис. 52), призводить до зменшення констант піків досліджуваних величин. Причому для механізмів з невеликою тривалістю зупинки вихідної ланки ($\alpha \leq 75^\circ$) вплив a на ці параметри порівняно невеликий, особливо це стосується констант піків аналогів швидкості φ'_{5m} , які при значеннях $\Omega \geq 210^\circ$, майже не змінюються зі зміною a . Для механізмів, у яких діапазон значень a в межах робочої області існування МЧВ великий ($\Omega = 210 \dots 240$), характер зміни φ'_{5m} , φ''_{5m} , N_{k5m} залежно від a більше складний: спочатку має місце збільшення цих параметрів зі збільшенням a , а потім – зменшення; при $\alpha \leq 75^\circ$ наближення значень a до верхньої межі знову призводить до деякого збільшення максимальних значень аналогів і насамперед φ'_{5m} . Останнє спостерігається при всіх значеннях Ω . Встановлено, що зі зменшенням радіуса R константи піків аналогів φ'_{5m} , φ''_{5m} , N_{k5m} в основному зменшуються (це не відноситься до випадку, коли a наближається до своєї верхньої межі та $\alpha \leq 75^\circ$). Однак слід зазначити, що зменшення R призводить до погіршення кутів передачі μ_2 (дод. 1).

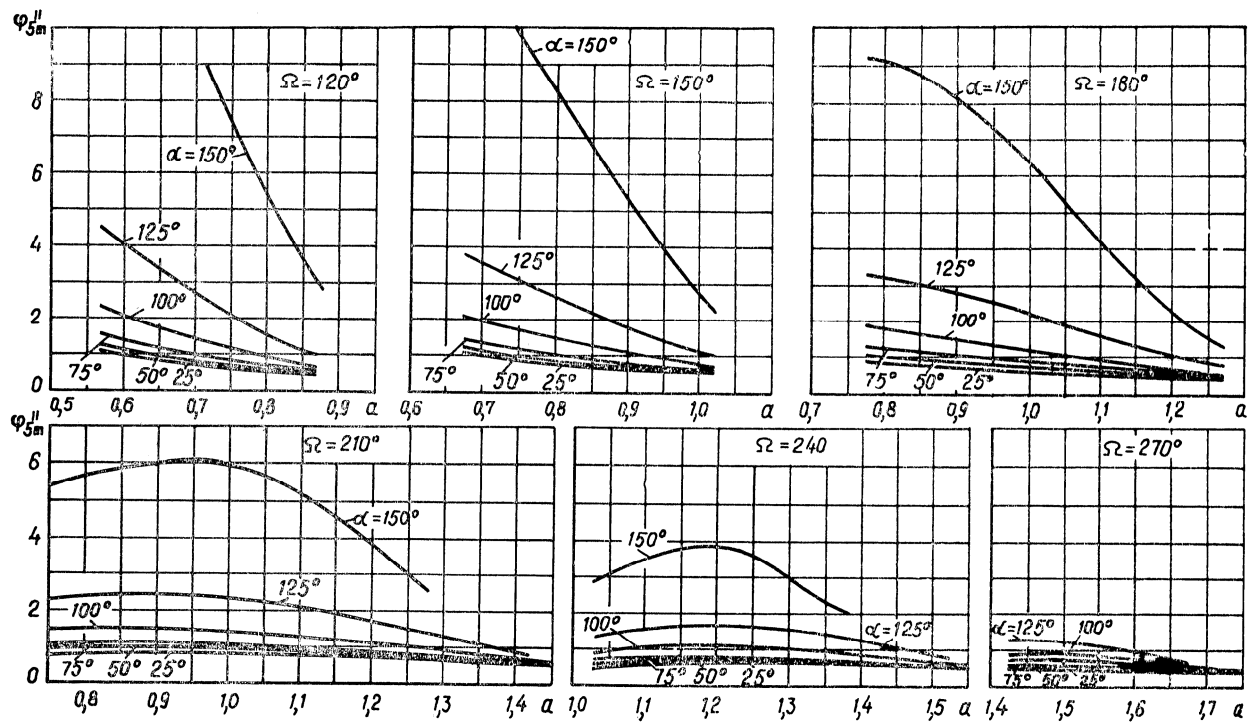


Рис.54. Вплив геометричних параметрів базисного механізму на максимальні значення аналогів прискорень вихідної ланки МЧВ1

Збільшення тривалості зупинки вихідної ланки, тобто збільшення кута α , призводить до скорочення часу, затрачуваного на прямий і зворотний хід вихідної ланки, у зв'язку з чим константи φ'_{5m} , φ''_{5m} , $N_{к5m}$ збільшуються, характер їхньої зміни залежно від кутів α видно з діаграм, показаних на рис. 56. Разом з тим константи піків B , C і D (дод. 7), незважаючи на збільшення φ'_{5m} , φ''_{5m} , $N_{к5m}$, зменшуються. Аналіз діаграм кутових переміщень β_5 у функції відносного часу $k = t_i/t_n$ (рис. 57), побудованих для різних значень α , дає можливість пояснити причини суперечливості зміни аналогів й інваріантів, які виражають ті самі фізичні величини в різних системах виміру. При $\alpha \leq 75^\circ$ спостерігається повільний розбіг вихідної ланки, а при $\alpha > 75^\circ$ через значне його кутове відхилення $\Delta\beta_5$ у період зупинки фактичний період руху вихідної ланки більше розрахункового φ_n або φ_3 (див. рис. 19). Причому чим більше α , тим помітніше відхилення $\Delta\beta_5 \approx E/b$, де b – довжина коромисла EF .

Збільшення кута злому шатуна ABD , як це впливає із співставлення даних досліджень, узагальнених на діаграмах (див. рис. 53...55), призводить в основному до загального поліпшення законів руху вихідної ланки. Особливо це помітно для механізмів із тривалою зупинкою. На рис. 58 нанесені діаграми $\varphi''_{5m}(a)$ при Ω і α , рівних 25° , 125° й 150° , з яких видно, що при $\alpha = 150^\circ$ вплив Ω на φ''_{5m} суттєве, а при $\alpha = 25^\circ$ – майже зникає. Такий же вплив має Ω на константи піків прискорень φ''_{5m} і кінетичної

потужності $N_{к5m}$. Однак варто мати на увазі, що із приближенням кута Ω до верхньої межі ($\Omega > 270^\circ$) максимальний хід повзуна E сильно зменшується, що обмежує застосування таких механізмів.

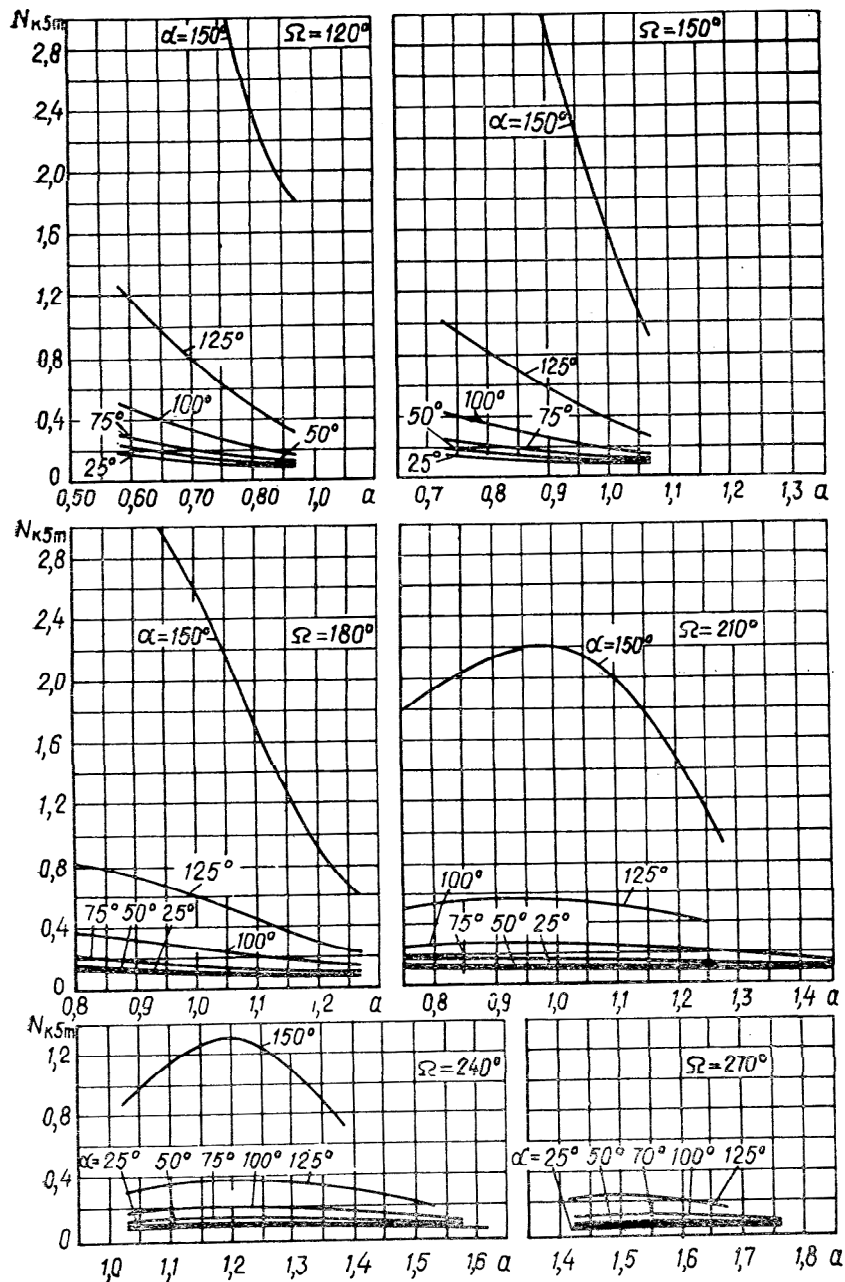


Рис. 55. Вплив геометричних параметрів базисного механізму на максимальні значення аналогів кінетичної потужності вихідної ланки МЧВ1

Тому, виходячи з отриманих даних, можна рекомендувати для одержання кращих кінематичних і кінетичних характеристик використати механізми, у яких Ω прагне до верхньої межі; для забезпечення ж менших відхилень E та кращих кутів передачі μ_1 і μ_2 , а також більшого ходу S_{Em} – механізми з меншими значеннями Ω ($150^\circ, \dots, 210^\circ$).

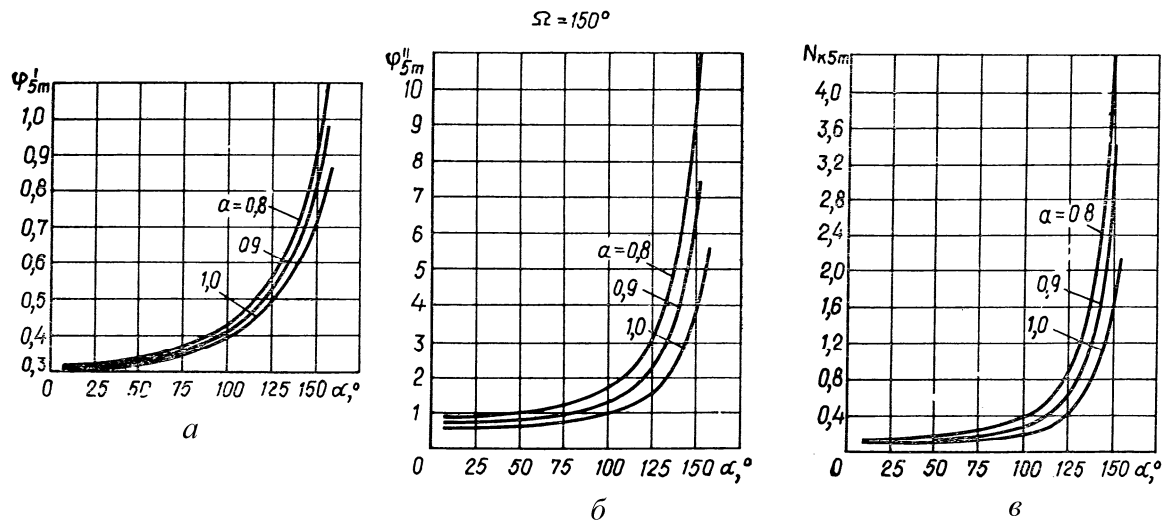


Рис.55. Вплив тривалості зупинки на максимальні значення аналогів швидкості, прискорення і кінетичної потужності вихідної ланки МЧВ1

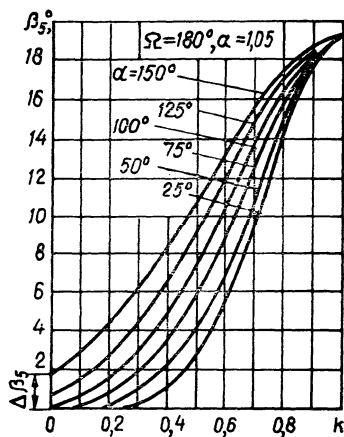


Рис.57. Діаграми кутових переміщень вихідної ланки МЧВ1 від відносного часу k

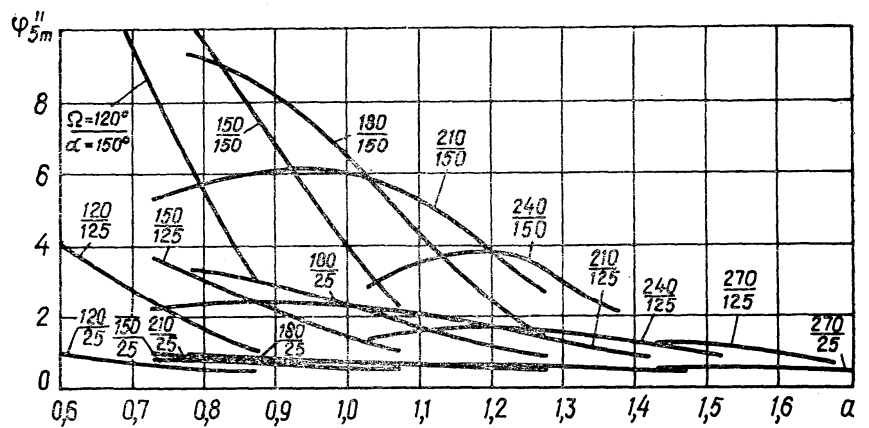


Рис.58. Суміщені діаграми максимальних значень аналогів прискорень вихідної ланки МЧВ1

Кінематика механізмів із приєднаною групою II виду. Ці механізми є окремим випадком МЧВ1. Якщо довжина коромисла (див. рис. 19) $b \rightarrow \infty$ або кут розмаху $\beta_m \rightarrow 0$, то МЧВ1 перетворюється в МЧВ2 (див. рис. 21). Тому основні закономірності руху вихідної ланки (зокрема, точки E), встановлені для перших механізмів, в основному зберігаються й для інших. Деякі відмінності в значеннях кінематичних параметрів руху точки E будуть викликані тільки тим, що в МЧВ1 вона рухається по дузі кола радіуса b , а в МЧВ2 – по прямій лінії O_1E .

У дод. 7 наведені максимальні значення аналогів й інваріантів швидкості x'_{Em} і B , прискорення x''_{Em} і C , кінетичної потужності N_{kEm} і D повзуна E при $K = 1$, з яких видно вплив геометричних параметрів Ω , α і a на основні кінематичні й кінетичні характеристики руху вихідної ланки ЛМЧ2. Вплив цих параметрів на кути передачі μ_1 і

μ_2 і відносне переміщення S_{Em} повзуна E розглянуті вище. Константи піків B, C і D , які дають якісну характеристику закону руху коромисла EF , тим менше відрізняються від відповідних параметрів B', C', D' ЛМЧ2, чим більша довжина коромисла EF (табл. 4).

4. Вплив довжини коромисла b на константи піків швидкості, прискорення й кінетичної потужності (180—110—1,10)

Константи піків	k_1					МЧВ2	Примітки: 1. Довжина коромисла $EF - b = k_1 (S - E)$, тобто $k_i = b/(S - E)$. 2. Для механізмів із приєднаною групою II виду (МЧВ2) константи піків інваріантів подібності в тексті та в дод. 7 позначені відповідно B', C' і D' .
	3	4	5	6	7		
B	1,64	1,62	1,61	1,60	1,58	1,56	
C	6,12	6,06	6,04	6,01	5,99	5,97	
D	5,37	5,14	5,00	4,93	4,85	4,51	

Отже, розміри базисного механізму істотно впливають на основні кінематичні й динамічні характеристики руху вихідної ланки, причому цей вплив тим більший, чим триваліший його вистій.

Порівняння констант піків B, C, D або B', C', D' з однойменними параметрами законів руху вихідної ланки кулачкових механізмів [52] підтверджує можливість застосування досліджуваних шарнірних механізмів для забезпечення зупинки. Причому основні кінематичні та кінетичні характеристики деяких МЧВ не уступають відповідним характеристикам найпоширеніших у машинобудуванні законів руху вихідної ланки кулачкових механізмів.

2.6. Вплив геометричних параметрів приєднаної групи на кінематичні характеристики руху вихідної ланки

Приєднана група може бути задана параметрами b і γ (див. рис. 19). Розглянемо вплив цих параметрів на величину й характер зміни аналогів та інваріантів швидкості, прискорення й кінетичної потужності вихідної ланки. Зміна аналогів φ'_5, φ''_5 і $N_{к5}$ при різних значеннях кута γ ($b = \text{const}$) відображено на діаграмах, наведених на рис. 59, *a, б, в*. Кожна з досліджуваних величин має певне значення кута γ , при якому її пік мінімізується. Така картина спостерігається й при інших значеннях довжини b коромисла EF . Залежності констант піків $\varphi'_{5m}, \varphi''_{5m}, N_{к5m}$, побудовані при різних значеннях b і γ , показані на рис. 60 (довжина b коромисла EF визначається величиною коефіцієнта k_1). Використовуючи ці залежності, можна вибрати значення геометричних параметрів приєднаної групи, що забезпечують оптимізацію синтезу розглянутих механізмів за

відповідними кінематичними параметрами.

Однак механізми з кутом γ , при якому забезпечуються мінімальні значення констант піків φ'_{5m} , φ''_{5m} або $N_{к5m}$, мають незадовільні значення кутів передачі μ_2 , тобто центр нерухомого шарніра F лежить за межами допустимих областей $L'_1G_2L'_2$ або $L_1G_1L_2$ (див. рис. 17). Тому, щоб забезпечити нормальну роботу механізму, необхідно йти на деяке збільшення параметрів φ'_{5m} , φ''_{5m} , $N_{к5m}$ і приймати таке значення кута γ , при якому шарнір F , якщо він перебуває ліворуч від осі симетрії CO_1 (див. рис. 19), не виходив би за межі лінії L'_2G_2 , або, якщо він перебуває праворуч від CO_1 , – за межі лінії L_1G_1 .

Для механізмів із приєднаною групою II виду найменші значення констант піків аналогів забезпечуються при $K = 1$.

У табл. 5 наведені основні критерії якісної оцінки закону руху вихідної ланки досліджуваних механізмів при різних значеннях кута γ , з яких видно, що збільшення цього кута призводить до погіршення закону руху вихідної ланки.

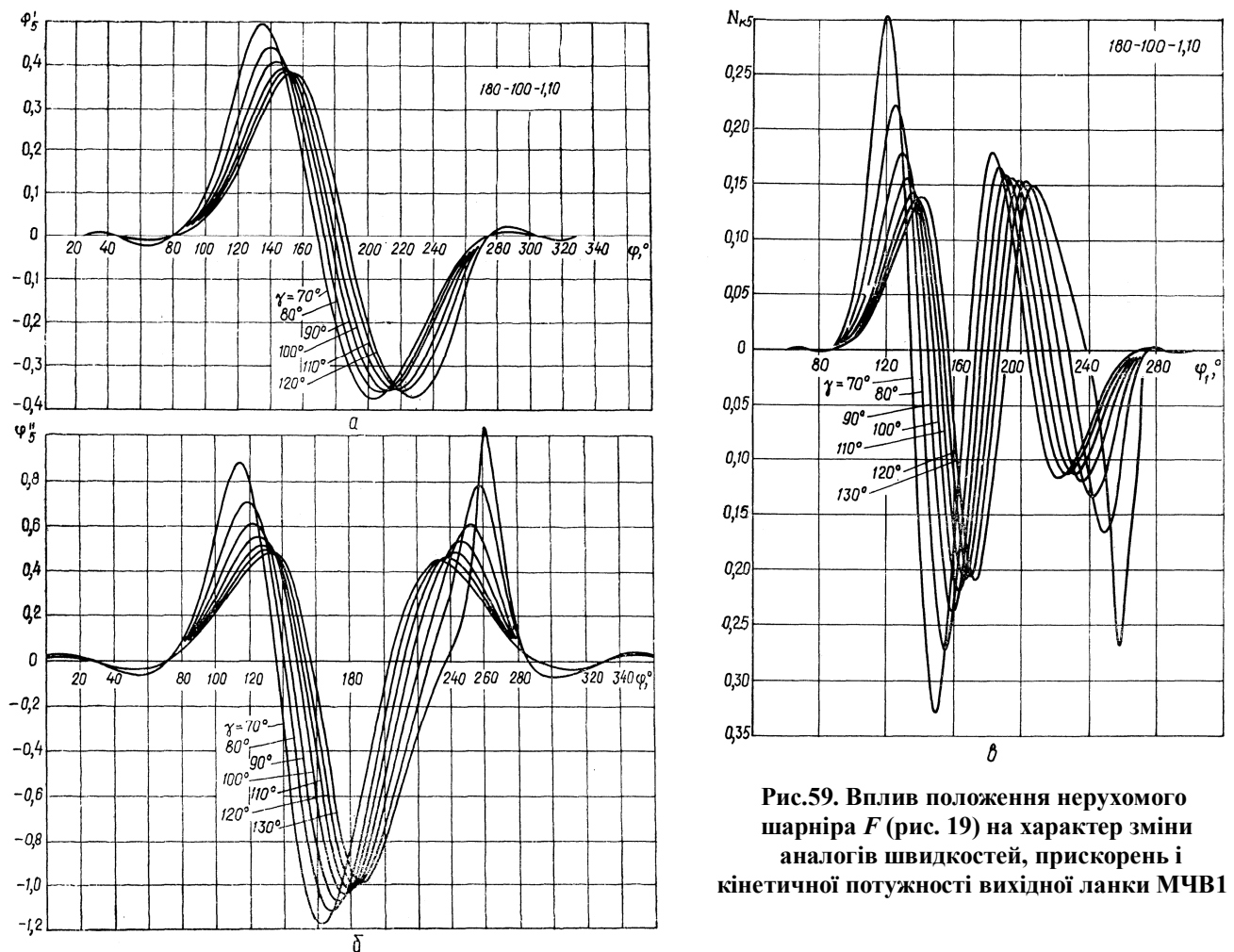


Рис.59. Вплив положення нерухомого шарніра F (рис. 19) на характер зміни аналогів швидкостей, прискорень і кінетичної потужності вихідної ланки МЧВ1

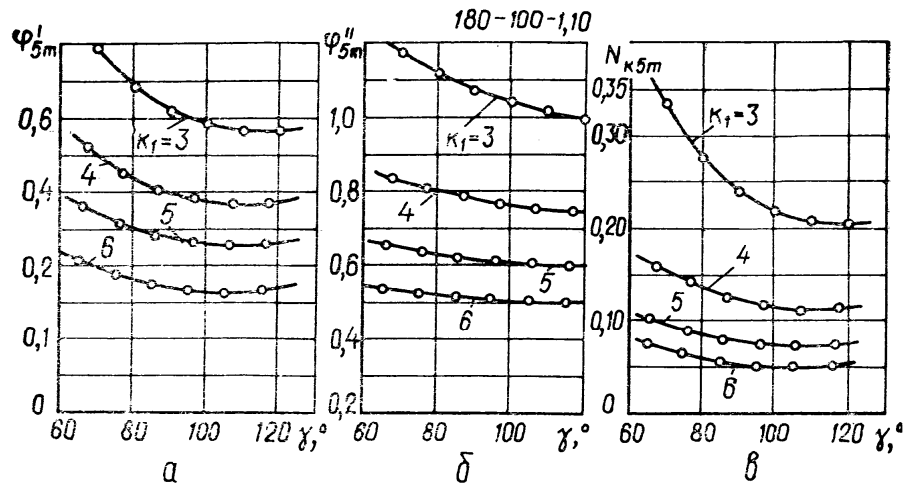


Рис.60. Вплив розмірів приєднаної групи (b і γ) на максимальні значення аналогів: a – швидкостей; b – прискорень; v – кінетичної потужності вихідної ланки МЧВ1

Вплив довжини b коромисла EF на константи піків показують діаграми, зображенні на рис. 60, а на B , C і D – у табл. 4.

5. Вплив кута γ на константи піків швидкості, прискорення та кінетичної потужності (180—110—1,10)

Константи піків	γ°					
	60	80	90	100	110	120
B	1,58	1,59	1,62	1,64	1,66	1,69
C	4,40	5,14	5,70	6,12	6,46	6,80
D	4,07	4,53	4,96	5,37	5,67	6,13

Збільшення b призводить до зменшення параметрів φ'_{5m} , φ''_{5m} , N_{k5m} , оскільки зменшується кут розмаху β_m коромисла EF . Разом з тим дещо поліпшуються критерії якісної оцінки закону руху вихідної ланки B , C і D . Причому якщо $b \rightarrow \infty$, тобто приєднана група I виду перетворюється в групу II виду, то B , C и D приймають свої мінімальні значення ($K = \text{const}$).

Для наближеної оцінки максимальних значень аналогів швидкостей φ'_{5m} , прискорень φ''_{5m} , і кінетичної потужності N_{k5m} , при різних значеннях довжини b коромисла EF і коефіцієнта $K = 1$ можуть бути використані значення відповідних параметрів, отриманих для механізмів, у яких $b = 3(S - E)$, тобто $k_1 = 3$ (див. рис. 53...55), при наступних допущеннях:

$$\varphi'_{5m}^* \approx \frac{3}{k_1} \varphi'_{5m}, \quad \varphi''_{5m}^* \approx \frac{3}{k_1} \varphi''_{5m}, \quad N_{k5m}^* = |\varphi'_{5m} \varphi''_{5m}|_{\max} \approx \frac{3}{k_1} N_{k5m}. \quad (2.63)$$

Для цієї мети можна використати й константи піків аналогів x'_{Em} , x''_{Em} , N_{kEm} , отримані для механізмів з приєднаною групою II виду (дод. 7), якщо в першому наближенні прийняти, що

$$\varphi_{5m}^* = \frac{b\varphi'_{5m}}{b} \approx \frac{x'_{Em}}{b}, \quad \varphi_{5m}^* = \frac{a_{Em}^\tau}{b} \approx \frac{x''_{Em}}{k_1}, \quad N_{k5m}^* \approx N_{kEm} / b^2, \dots \dots \dots (2.64)$$

де $b\varphi'_{5m} = x'_{Em}$ – максимальне значення аналога колової швидкості точки E коромисла EF ;

$a_{Em}^\tau = b\varphi''_{5m}$ – максимальне значення аналога тангенціального прискорення цієї ж точки.

Залежності (2.63) дають тим меншу похибку, чим ближче значення довжини b коромисла EF до розрахункового, тобто $k \rightarrow 3$, а залежності (2.64) – чим більша довжина коромисла EF .

Таким чином, на закон руху вихідної ланки МЧВ впливають розміри не тільки базисного механізму (ЛМЧ), але й приєднаної групи.

2.7. Кінематика механізмів, отриманих на базі прямолінійно напрямного механізму Чебишева

На рис. 61 наведені діаграми максимальних значень основних кінематичних характеристик руху вихідної ланки МЧВ5 залежно від тривалості зупинки при трьох різних значеннях кута Ω . Збільшення кута α супроводжується збільшенням аналогів швидкостей x'_{Em} , прискорень x''_{Em} і кінетичної потужності $N_{kEm} = |x'_{Em} x''_{Em}|_{\max}$ (на рис. 61 індекс m опущений) вихідної ланки (повзуна E , див. рис. 4, z). Максимальні значення інваріантів B , C і D , кутів передачі μ'_0 (1.9) зі збільшенням тривалості зупинки зменшуються. Причина зменшення параметрів B , C і D така ж, як й у МЧВ1 і МЧВ2 (п. 2.4, 2.5), і пояснюється, з одного боку, поліпшенням закону руху вихідної ланки завдяки скороченню періоду переходу ланки від зупинки до руху (див. рис. 57), а з іншого боку – збільшенням відхилення E шатунної кривої на ділянці наближення від прямої лінії, що не враховано залежностями для визначення параметрів B , C , D (2.62). Дані про кінематичні характеристики руху вихідної ланки МЧВ5 можна одержати із дод. 7, вибравши значення відповідних величин для випадку, якщо $R \rightarrow \infty$.

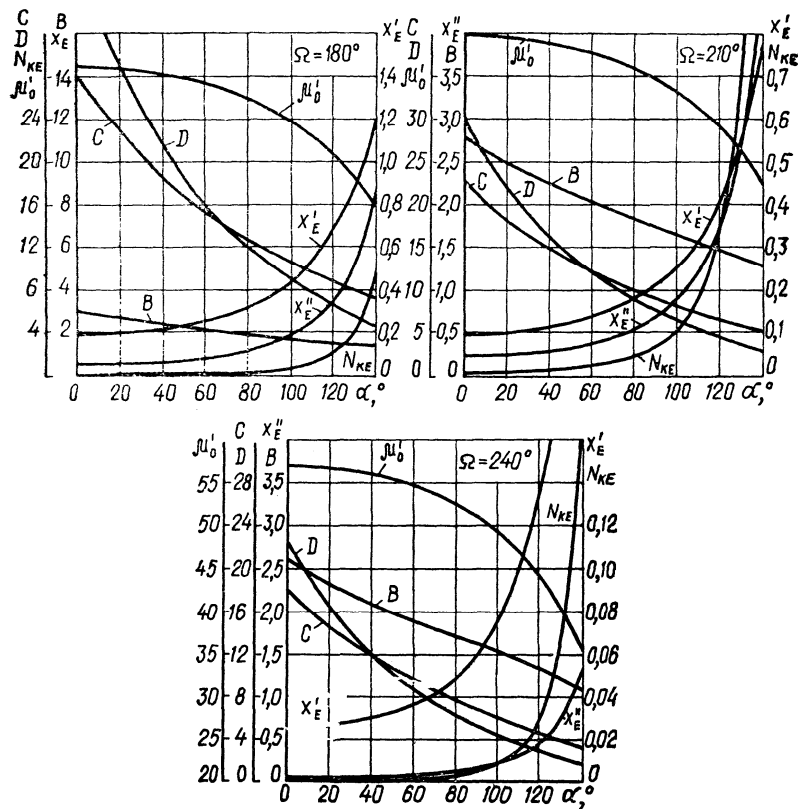


Рис. 61. Діаграми максимальних значень основних кінематичних параметрів руху вихідної ланки МЧВ5 залежно від тривалості зупинки

Необхідно відзначити, що в прямолінійно напрямних механізмах Чебишева, що мають $\Omega \leq 180^\circ$, кути передачі $\mu_1 < 30$. Зі збільшенням кута Ω значення кутів передачі стають більше сприятливими (див. рис. 61), але в той же час траєкторія точки D стає все більше витягнутої в боки від осі симетрії CO_1 (дод. 5), тобто зменшується максимальний хід вихідної ланки, збільшується швидкість ковзання в поступальній парі D .

Характер зміни кінематичних параметрів руху вихідної ланки (куліси ED) механізмів із приєднаною групою III виду (див. рис. 4, в) майже такий же, як й у МЧВ5, різниця лише в тім, що на його закон руху впливає кут розмаху куліси ED . У тому випадку, якщо $\beta_m \rightarrow 0$, такий механізм вироджується в МЧВ5. Вище (п. 1.1) розглянуті модифікації МЧВ3, показаний вплив положення шарніра E (див. рис. 7, 8) на закон руху вихідної ланки.