

Л.В. Крайник, В.В. Попович\*

ВАТ “Укравтобуспром”,

\*Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобілебудування

## АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС КІНЕМАТИКИ КЕРМОВОГО ПРИВОДУ АВТОБУСА ІЗ ЗАЛЕЖНОЮ ПЕРЕДНЬОЮ ПІДВІСКОЮ

© Крайник Л.В., Попович В.В., 2010

Наведено дві конструктивні схеми виконання поздовжньої тяги кермового приводу автобуса А074. Отримано основні залежності для розрахунку кутів повороту лівого поворотного кулака колеса від лінійних розмірів ланок кермового приводу, їх прив'язувальних розмірів до рами автобуса та кутів повороту сошки кермового механізму.

Two constructive schemes of execution of longitudinal pull-rod of a steering linkage of bus A074 are described. The basic dependences for calculation of angles of rotation of the left swivel member of a wheel from the linear sizes of links of a steering linkage, its connecting sizes to a bus and angle of rotation frame arm of steer are received.

**Постановка проблеми.** Розвиток конструкцій кузовів малих автобусів спричинив появу моделей зі зміщеним вперед на 600...700 мм силовим агрегатом. Це дає змогу розмістити пасажирські двері у передньому звісі кузова і значно покращити компонування салону через збільшення кількості місць для сидіння та підвищити пасажирообмін під час зупинок.

Таке компонування автобусів призвело до значного видовження поздовжньої тяги кермового приводу, кінематика якого часто не є узгодженою з кінематикою підвіски. У результаті гальмівні випробування автобуса А074, який має згадану компонувальну схему, показали негативні результати.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Кермове керування, яке складається із кермового механізму, кермового приводу, а також підсилювача, має безпосереднє відношення до безпеки руху автобуса. Воно повинно забезпечити узгодженість між кутами повороту кермового колеса й передніх (керованих) коліс автобуса, бути зручним у роботі й надійним в експлуатації [1–4].

**Постановка задачі.** Мета праці – розробити аналітичний опис кінематичних схем кермового приводу у тривимірному просторі й використати цей опис для оптимізації кінематичних параметрів приводу. Це дасть змогу максимально наблизити кінематичні характеристики кермового приводу до теоретично оптимальних.

**Основний матеріал** Нижче подано два варіанти кінематичної схеми кермового керування (рис.1) автобуса моделі А074, розробленої ВАТ “Укравтобуспром” [5]. В обох варіантах кермове керування є шарнірним багатоланковим механізмом з жорсткими ланками. Передні колеса повертаються від кермового механізму 1 (рис.1, а) через сошку UE, поздовжню тягу 2, лівий важіль поворотного кулака 5, поперечну тягу 6 й правий важіль поворотного кулака 7. У другому варіанті (рис.1, б) рух від сошки кермового механізму передається не через одну, а через дві поздовжні тяги 2, 4, які шарнірно з'єднані з маятниковим важелем 3. В цьому описі не врахований нахил осі шворня й вертикальні переміщення керованих коліс відносно рами автобуса.

Розглянемо кожен варіант.

**Варіант перший: кермовий привід з видовженою поздовжньою тягою.** З рис.1,а виокремимо триланковий кермовий привід і помістимо його в прямокутну систему координат  $Oxyz$  (рис.2). Ланка  $UE=l_1$  (сошка) обертається у вертикальній площині  $Oxz$ , паралельній площині симетрії автобуса навколо нерухої точки  $U$ , яка знаходиться на осі  $Oz$ . Положення цієї ланки визначається кутом  $\gamma$ , виміряним від осі  $Oz$ . Якщо вибрати початок координат у найнижчому положенні точки  $E$ , то її координати будуть:

$$x_E = -l_1 \cdot \sin \gamma; \quad y_E = 0; \quad z_E = l_1 \cdot (1 - \cos \gamma) \quad (1)$$

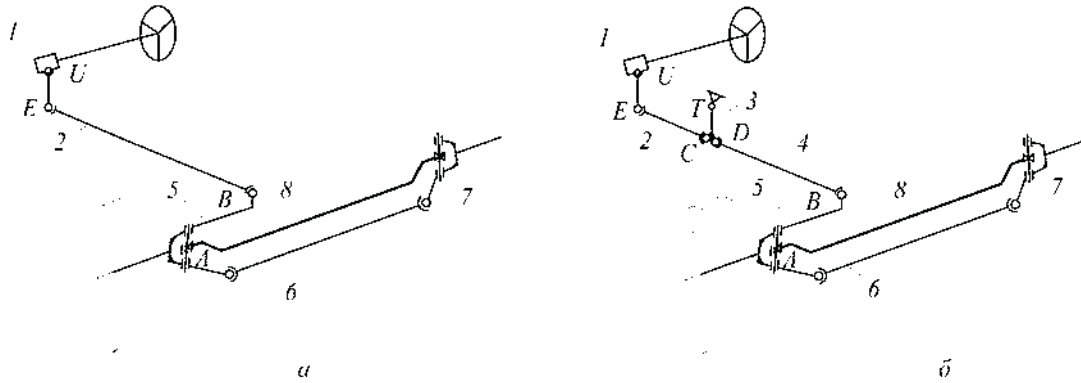


Рис.1. Кінематична схема кермового керування автобуса А074:  
 а - варіант із видовженою поздовжньою тягою; б - варіант із розрізною поздовжньою тягою:  
 1 - кермовий механізм; 2, 4 - поздовжня тяга; 3 - маятниковий важіль; 5 - лівий важіль поворотного кулака; 6 - поперечна тяга; 7 - правий важіль поворотного кулака; 8 - балка моста

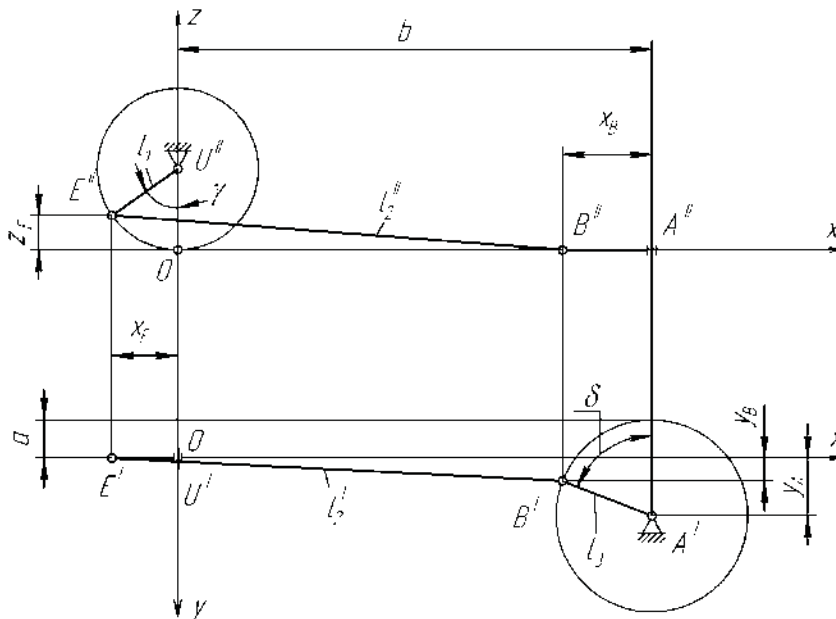


Рис.2. Кінематична схема кермового приводу з видовженою тягою автобуса А074

Ланка  $AB=l_3$  (лівий важіль поворотного кулака) обертається в горизонтальній площині  $xOy$  навколо нерухої точки  $A$ , положення якої визначається координатами:

$$x_A = b; \quad y_A = l_3 - a; \quad z_A = 0. \quad (2)$$

Змінне положення ланки  $AB$  характеризується кутом  $\delta$ , виміряним від прямої, паралельної осі  $Oy$ . Координати точки  $B$  такі:

$$x_B = b - l_3 \cdot \sin \delta; \quad y_B = l_3 \cdot (1 - \cos \delta) - a; \quad z_B = 0. \quad (3)$$

Довжина ланки  $EB = l_2$ :

$$l_2 = \sqrt{(x_B - x_E)^2 + (y_B - y_E)^2 + (z_B - z_E)^2}. \quad (4)$$

Підставивши до формули (4) координати точок  $E$  і  $B$  з (1) і (3), отримаємо:

$$\begin{aligned} l_2 &= \sqrt{[(b - l_3 \cdot \sin \delta) + l_1 \cdot \sin \gamma]^2 + [(l_3 - a) - l_3 \cdot \cos \delta]^2 + [l_1 \cdot \cos \gamma - l_1]^2} = \\ &= \left\{ a^2 + b^2 + 2(l_1^2 + l_3^2 - a \cdot l_3) + 2 \cdot l_1(b \cdot \sin \gamma - l_1 \cdot \cos \gamma) - \right. \\ &\quad \left. - 2l_3[(l_1 \cdot \sin \gamma + b) \cdot \sin \delta + (l_3 - a) \cdot \cos \delta] \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5)$$

Враховавши, що  $l_2 = \sqrt{a^2 + b^2}$ , матимемо:

$$l_1^2 + l_3^2 - l_3 \cdot (b + l_1 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \delta - l_3(l_3 - a) \cdot \cos \delta + l_1(b \cdot \sin \gamma - l_1 \cdot \cos \gamma) - a \cdot l_3 = 0. \quad (6)$$

Початкове положення ланок механізму повинно відповідати  $\gamma = \delta = 0^\circ$ . При цьому рівняння (6) матиме вигляд:

$$l_1^2 + l_3^2 - l_3^2 + a \cdot l_3 - l_1^2 - a \cdot l_3 = 0.$$

Отже, отримуємо тотожність  $0 \equiv 0$ .

Тобто, можна стверджувати, що рівняння (6) при  $\gamma = 0^\circ$  має корінь  $\delta = 0^\circ$ . Як тригонометричне рівняння воно повинно мати ще й другий корінь. При  $\gamma = 0^\circ$  рівняння (6) набуде вигляду:

$$l_3(l_3 - b \cdot \sin \delta - l_3 \cdot \cos \delta + a \cdot \cos \delta - a) = 0. \quad (7)$$

Оскільки  $l_3 \neq 0$ , то

$$l_3 - b \cdot \sin \delta - l_3 \cdot \cos \delta + a \cdot \cos \delta - a = 0. \quad (8)$$

Із рівняння (8) випливає:

$$\left[ (l_3 - a) \cdot \sin \frac{\delta}{2} - b \cdot \cos \frac{\delta}{2} \right] \cdot \sin \frac{\delta}{2} = 0. \quad (9)$$

$$\text{Звідси одержуємо} \quad \sin \frac{\delta}{2} = 0, \delta = 0^\circ \quad (10)$$

$$\text{або} \quad (l_3 - a) \cdot \sin \frac{\delta}{2} - b \cdot \cos \frac{\delta}{2} = 0; \quad \text{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{b}{l_3 - a}. \quad (11)$$

Запишемо рівняння (6) у вигляді

$$l_1^2 + l_3^2 - a \cdot l_3 + l_1(b \cdot \sin \gamma - l_1 \cos \gamma) - l_3[(b + l_1 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \delta + (l_3 - a) \cdot \cos \delta] = 0. \quad (6')$$

Введемо позначення:

$$b \cdot \sin \gamma - l_1 \cdot \cos \gamma = a_1; \quad (12)$$

$$b + l_1 \cdot \sin \gamma = b_1 \cdot \cos \alpha; \quad (13)$$

$$l_3 - a = b_1 \cdot \sin \alpha. \quad (14)$$

Із рівнянь (13), (14) отримаємо:

$$\alpha = \text{arctg} \frac{l_3 - a}{b + l_1 \cdot \sin \gamma}; \quad (15)$$

$$b_1 = \sqrt{(b + l_1 \cdot \sin \gamma)^2 + (l_3 - a)^2}. \quad (16)$$

Рівняння (6') з урахуванням формул (12) і (13) матиме вигляд

$$l_1^2 + l_3^2 - a \cdot l_3 + l_1 \cdot a_1 - l_3 \cdot b_1 \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \delta + \sin \alpha \cdot \cos \delta) = 0,$$

або

$$l_1^2 + l_3^2 + a \cdot l_3 + l_1 \cdot a_1 - l_3 \cdot b_1 \cdot \sin(\alpha + \delta) = 0. \quad (6'')$$

Звідси 
$$\sin(\alpha + \delta) = \frac{l_1^2 + l_3^2 - a \cdot l_3 + l_1 \cdot a_1}{l_3 \cdot b_1} \quad (17)$$

і 
$$\delta = \arcsin \frac{l_1^2 + l_3^2 - a \cdot l_3 + l_1 \cdot a_1}{l_3 \cdot b_1} - \alpha. \quad (18)$$

**Варіант другий: кермовий привід з розрізною поздовжньою тягою.** Початок прямокутної системи координат  $Oxyz$  (рис.3) помістимо в точці  $T$ . В цьому випадку координати точки  $T$  такі:

$$x_T = y_T = z_T = 0. \quad (19)$$

Центри обертання  $U$  ланки  $UE = l_1$  і  $T$  ланки  $TC = l_3$  лежать у двох вертикальних і паралельних площинах, відстань між якими становить  $a$ .

Координати точки  $U$ :

$$x_U = -b; \quad y_U = a; \quad z_U = -d. \quad (20)$$

У початковому положенні ланок механізму ( $\gamma = 0^\circ$ ) координати точки  $E$

$$x_{E_0} = -b; \quad y_{E_0} = a; \quad z_{E_0} = -(d + l_1) \quad (21)$$

і координати точки  $C$

$$x_{C_0} = -l_3 \cdot \sin \beta'; \quad y_{C_0} = 0; \quad z_{C_0} = -l_3 \cdot \cos \beta'. \quad (22)$$

Визначимо довжину ланки  $EC = l_2$ :

$$l_2 = \sqrt{(x_{C_0} - x_{E_0})^2 + (y_{C_0} - y_{E_0})^2 + (z_{C_0} - z_{E_0})^2};$$

$$l_2 = \sqrt{(-l_3 \cdot \sin \beta' + b)^2 + (-a)^2 + (-l_3 \cdot \cos \beta' + d + l_1)^2};$$

$$l_2 = \sqrt{a^2 + b^2 + l_3^2 + l_1^2 + d^2 + 2 \cdot d \cdot l_1 - 2 \cdot b \cdot l_3 \cdot \sin \beta' - 2 \cdot (d + l_1) \cdot l_3 \cdot \cos \beta'}. \quad (23)$$

Координати точки  $A$ , як центра обертання ланки  $AB = l_6$ , такі:

$$x_A = c; \quad y_A = n + l_6; \quad z_A = -l_4. \quad (24)$$

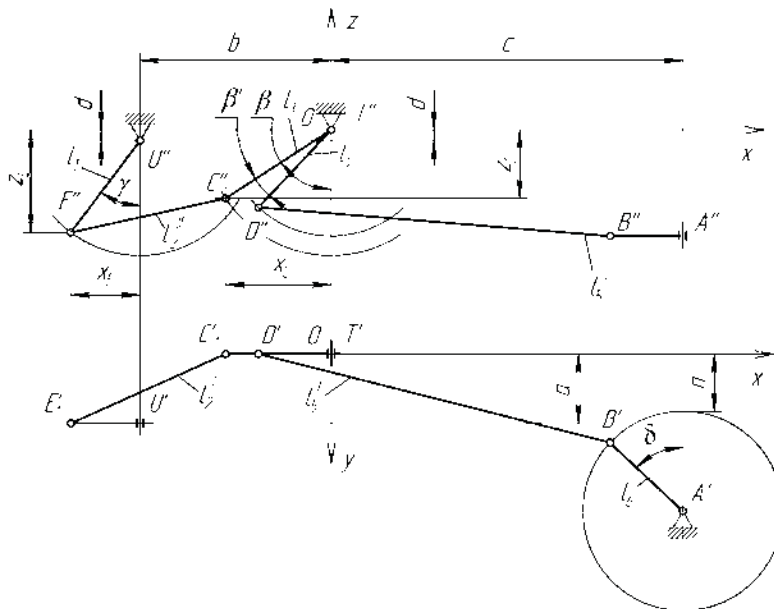


Рис.3. Кінематична схема кермового привіду з розрізною поздовжньою тягою

Рівність  $z_A = -l_4$  впливає з умови, що при вертикальному положенні ланки  $l_4$  точки  $D''$ ,  $B''$ ,  $A''$  розміщені на прямій, паралельній осі  $Ox$ . При вертикальному положенні ланки  $TD = l_4$  координати точки  $D$ :

$$x_{D_0} = 0; \quad y_{D_0} = 0; \quad z_{D_0} = -l_4, \quad (25)$$

а координати точки  $B$  ланки  $AB = l_6$  :

$$x_{B_0} = c; \quad y_{B_0} = n; \quad z_{B_0} = -l_4. \quad (26)$$

Довжина ланки  $DB = l_5$  :

$$l_5 = \sqrt{c^2 + n^2}. \quad (27)$$

Координати точки  $E$  для кута  $\gamma \neq 0^\circ$  записуємо так:

$$x_E = -(l_1 \cdot \sin \gamma + b); \quad y_E = a; \quad z_E = -(d + l_1 \cdot \cos \gamma). \quad (28)$$

Відповідно координати точки  $C$  :

$$x_C = -l_3 \cdot \sin \beta; \quad y_C = 0; \quad z_C = -l_3 \cdot \cos \beta. \quad (29)$$

А координати точки  $D$ :

$$x_D = -l_4 \cdot \sin(\beta - \beta'); \quad y_D = 0; \quad z_D = -l_4 \cdot \cos(\beta - \beta'). \quad (30)$$

Отже, при  $\gamma \neq 0^\circ$  вираз для  $l_2$  можна записати так:

$$l_2 = \sqrt{(x_C - x_E)^2 + (y_C - y_E)^2 + (z_C - z_E)^2}; \quad (23')$$

$$l_2 = \sqrt{[-l_3 \cdot \sin \beta + (b + l_1 \cdot \sin \gamma)]^2 + a^2 + [-l_3 \cdot \cos \beta + (d + l_1 \cdot \cos \gamma)]^2};$$

$$l_2 = \sqrt{a^2 + l_1^2 + l_3^2 + b^2 + d^2 + 2 \cdot \{b \cdot l_1 \cdot \sin \gamma + d \cdot l_1 \cdot \cos \gamma - l_3 \cdot [(b + l_1 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \beta + (d + l_1 \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \beta]\}}. \quad (31)$$

Оскільки при  $\gamma \neq 0^\circ$ , то координати точки  $B$  становлять:

$$x_B = c - l_6 \cdot \sin \delta; \quad y_B = n + l_6 \cdot (1 - \cos \delta); \quad z_B = -l_4. \quad (32)$$

Для  $l_5$  отримаємо:

$$l_5 = \sqrt{(x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2 + (z_B - z_D)^2}; \quad (33)$$

$$l_5 = \sqrt{[c - l_6 \cdot \sin \delta + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')]^2 + [n + l_6 \cdot (1 - \cos \delta)]^2 + [-l_4 + l_4 \cdot \cos(\beta - \beta')]^2};$$

$$l_5 = \{ d^2 + c^2 + 2 \cdot l_6(l_6 + d) + 2 \cdot l_4[l_4 + (c \cdot \sin(\beta - \beta') - l_4 \cdot \cos(\beta - \beta'))] - 2 \cdot l_6 \cdot [(l_6 + d) \cdot \cos \delta + (c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')) \cdot \sin \delta] \}^{1/2}.$$

Із рівнянь (23) і (31) випливає:

$$\begin{aligned} & 2 \cdot d \cdot l_1 - 2 \cdot b \cdot l_3 \cdot \sin \beta' - 2 \cdot (d + l_1) \cdot l_3 \cdot \cos \beta' = \\ & = 2 \cdot \{(b \cdot l_1 \cdot \sin \gamma + d \cdot l_1 \cdot \cos \gamma - l_3 [(b + l_1 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \beta + (d + l_1 \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \beta])\}, \end{aligned} \quad (34)$$

або надамо рівнянню (34) вигляду

$$\begin{aligned} & l_3 [(b + l_1 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \beta + (d + l_1 \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \beta] = \\ & = l_3 \cdot [(b \cdot \sin \beta' + (d + l_1) \cdot \cos \beta')] + l_1 \cdot (b \cdot \sin \gamma + d \cdot \cos \gamma) - d \cdot l_1. \end{aligned} \quad (34')$$

Поділимо рівняння (34') на  $l_3$  :

$$\begin{aligned} & (b + l_1 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \beta + (d + l_1 \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \beta = \\ & = b \cdot \sin \beta' + (d + l_1) \cdot \cos \beta' + \frac{l_1}{l_3} \cdot (b \cdot \sin \gamma + d \cdot \cos \gamma - d). \end{aligned} \quad (35)$$

Введемо позначення

$$b + l_1 \cdot \sin \gamma = A \cdot \cos \alpha; \quad d + l_1 \cdot \cos \gamma = A \cdot \sin \alpha. \quad (36)$$

Підставивши (36) в (35), отримаємо:

$$A \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta + A \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = b \cdot \sin \beta' + (d + l_1) \cdot \cos \beta' + \frac{l_1}{l_3} \cdot (b \cdot \sin \gamma + d \cdot \cos \gamma - d).$$

Звідси

$$\sin(\beta + \alpha) = \frac{b \cdot \sin \beta' + (d + l_1) \cdot \cos \beta' + \frac{l_1}{l_3} (b \cdot \sin \gamma + d \cdot \cos \gamma - d)}{\sqrt{(b + l_1 \cdot \sin \gamma)^2 + (d + l_1 \cdot \cos \gamma)^2}}. \quad (37)$$

Із рівняння (36) маємо

$$A = \sqrt{(b + l_1 \cdot \sin \gamma)^2 + (d + l_1 \cdot \cos \gamma)^2} \quad (38)$$

і

$$\alpha = \arctg \frac{d + l_1 \cdot \cos \gamma}{b + l_1 \cdot \sin \gamma}. \quad (39)$$

Якщо для заданого значення  $\gamma$  із рівняння (39) визначити  $\alpha$ , то з рівняння (37) можна знайти  $\beta$ .

Із рівнянь (27) і (33) отримаємо

$$l_6 \cdot (l_6 + n) + l_4 \cdot \{ l_4 + (c \cdot \sin(\beta - \beta') - l_4 \cdot \cos(\beta - \beta')) - l_6 [(l_6 + n) \cdot \cos \delta + (c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')) \cdot \sin \delta] \} = 0. \quad (40)$$

або

$$(l_6 + n) \cdot \cos \delta + [c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')] \cdot \sin \delta = (l_6 + n) + \frac{l_4}{l_6} [l_4 + c \cdot \sin(\beta - \beta') - l_4 \cdot \cos(\beta - \beta')] \quad (41)$$

Позначаємо

$$l_6 + n = B \cdot \sin \omega; \quad c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta') = B \cdot \cos \omega. \quad (42)$$

З формули (42) випливає:

$$B = \sqrt{(l_6 + n)^2 + [c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')]^2} \quad (43)$$

і

$$\omega = \arctg \frac{l_6 + n}{c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')}. \quad (44)$$

Тоді рівняння (41) з урахуванням формул (42), (43) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \sin(\delta + \omega) \cdot \sqrt{(l_6 + n)^2 + [c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')]^2} = \\ = (l_6 + n) + \frac{l_4}{l_6} \cdot [l_4 + c \cdot \sin(\beta - \beta') - l_4 \cdot \cos(\beta - \beta')]. \end{aligned} \quad (45)$$

Звідси одержуємо:

$$\sin(\delta + \omega) = \frac{(l_6 + n) + \frac{l_4}{l_6} [l_4 + c \cdot \sin(\beta - \beta') - l_4 \cdot \cos(\beta - \beta')]}{\sqrt{(l_6 + n)^2 + [c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')]^2}}; \quad (46)$$

$$\delta = \arcsin \frac{(l_6 + n) + \frac{l_4}{l_6} [l_4 + c \cdot \sin(\beta - \beta') - l_4 \cdot \cos(\beta - \beta')]}{\sqrt{(l_6 + n)^2 + [c + l_4 \cdot \sin(\beta - \beta')]^2}} - \omega. \quad (47)$$

## Висновки

1. Отримано формули (18) і (45), які пов'язують між собою кут повороту сошки  $\gamma$ , лінійні розміри ланок кермового приводу і його прив'язувальні розміри до рами автобуса з кутом повороту  $\delta$  лівого важеля поворотного кулака. Ці формули нескладно перевести в розрахункову програму.

2. Використовуючи розрахункову програму, можна вибрати оптимальні розміри ланок кермового приводу й проаналізувати вплив цих розмірів на значення й характер зміни передатного відношення кермового керування.

1. Чайковский И.П., Саломатин П.А. Рулевые управления автомобилей. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с. 2. Лысов М.И. Рулевые управления автомобилей. – М.: Машиностроение, 1972. – 334 с. 3. Родионов В.Ф., Фиттерман Б.М. Проектирование легковых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 479 с. 4. Осепчугов В.В., Фрумкин А.К. Автомобиль: анализ конструкций, элементы расчета: Учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с. 5. Крайник Л.В., Попович В.В. Оптимізація кінематики передньої підвіски та кермового керування шасі автобуса з дверми у передньому зв'язі // Вестник НТУ “ХПИ”. Тематический выпуск “Автомобиле- и тракторостроение”. – 2010. – № 1.

УДК 621.086.065

М.П. Мартинців, О.М. Удовицький\*, Б.В. Сологуб

\*Національний лісотехнічний університет України,  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра деталей машин

## ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРИВОДУ ТРАНСПОРТУВАЛЬНИХ ТА ВАНТАЖОПІДЙМАЛЬНИХ МАШИН З ВЕДУЧИМ БАРАБАНОМ

© Мартинців М.П., Удовицький О.М., Сологуб Б.В., 2010

**Розроблено динамічну модель приводу з ведучим барабаном. Отримано аналітичні залежності, які дають можливості оцінити характер коливань барабана і визначити максимальні динамічні зусилля, що виникають в елементах приводу. Встановлено характер коливань ведучого барабана для конкретної установки.**

**The dynamic model of drive with an anchorman drum is developed. Analytical dependences, which enable to estimate character of vibrations of drum and define maximal dynamic efforts which arise up in the elements of drive, are got. Character of vibrations of anchorman drum is set for the concrete plant.**

Приводні барабани використовують як тягові елементи в приводах стрічкових та скребкових конвеєрів, а також лижних канатних витягів, підвісних крісельних доріг та деяких видів вантажних канатних установок [1–4]. Коливання в механічній системі приводу розглянуто у роботах [5–7]. Однак, розрахункові схеми в наведених роботах відповідають реальним системам, що мають конкретні зовнішні навантаження. Це не дає можливості дослідити коливання барабана та вибрати режими експлуатації, які дають можливість уникнути явища резонансу, особливо в перехідних режимах роботи.

Під час роботи таких приводів виникають коливання як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Коливання у вертикальній площині викликаються коливаннями вантажів, що транспортуються. Коливання у горизонтальній площині виникають за рахунок сил тертя між направляючими та тягово-несучим елементом, а також через зміну швидкості обертання приводного барабана, особливо в неусталених режимах роботи. Розрахункову схему такого приводу наведено на рис. 1. Ця модель представлена у вигляді зосереджених мас, що з'єднані пружними зв'язками, а до тягового елемента прикладені зовнішні зусилля, які змінюються за певним законом, що визначається конструктивними особливостями і призначенням виконавчого робочого органа.