

УДК 629.113.014

О. С. ЛИХОДІЙ, асистент кафедри ЕРМ ДВНЗ «ПДАБА», Дніпропетровськ;**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОЇ ОСІ НАПІВПРИЧЕПА**

В статті скомпоновані елементи керованої осі на базі існуючого напівпричепа Fliegl із подальшими рекомендаціями щодо переобладнання. Складені розрахункові схеми керованої осі та, як наслідок, її Simscare-модель.

Ключові слова: керована вісь, steer-by-wire, кермова трапеція.

Вступ. До теперішнього часу зберігається тенденція збільшення причіпної техніки з керованими осями за рахунок повороту коліс. Перехід до масового використання керованих осей як для причіпної техніки так і для вантажних автомобілів в якості керованих здійснюється не так давно і викликаний покращенням маневреності, безпеки руху, зменшенню енерговитрат, особливо для модульних автопоїздів із збільшеною кількістю ланок, де без підкерування дуже важко організувати маневрування. Вісі транспортних засобів у більшості випадків компонують виконуючими механізмами системи керування поворотом коліс (робочий циліндр, трапеція, блокувальний пристрій) з підвіскою типу MODUL, так як вона найбільш пристосована для реалізації цієї задачі, [1]. Але багато транспортних засобів використовують підвіску типу INTRA, в цьому випадку компонування обладнання для керування колесами ускладнюється.

Для віртуального дослідження руху автопоїзда на криволінійній траєкторії із максимальним врахуванням геометричних параметрів механізмів керування поворотом коліс напівпричепа необхідно скласти Simscare-модель цієї системи і приєднати її до Simulink-моделі автопоїзда. Надалі комплексна модель стане у нагоді при формуванні алгоритму для системи керування поворотом коліс. Першим кроком для вирішення цієї задачі є формування Simscare-моделі керованої осі.

Аналіз основних досягнень і літератури. Дослідженням динаміки руху автопоїздів з керованими колесами напівпричепів займалися такі вчені як Я.Є. Фаробін, А.І. Гришкевич, М.І. Лисов, D. Sebon, C. Cheng, B.A. Lujnovich, B.П. Сахно та ін. У роботі [1] розглянуті можливі компоновки сучасних керованих осей причіпної техніки, цей матеріал стане у нагоді при компонуванні керованих осей для заданого напівпричепа. У спеціалізованій літературі [4, 5] ці питання не розглянуті, зосереджуючись на системі керування осями у цілому.

Постановка задачі. У попередніх статтях, [2], за об'єкт модернізації прийнято напівпричеп Fliegl, у конструкції якого використовуються некеровані вісі фірми SAF з підвіскою типу INTRA. Тому, планується скомпонувати механізми керування колесами напівпричепа Fliegl із незначною зміною базового варіанту напівпричепа. Скласти Simscare-модель спроектованої осі, виконати тест на спроможність подальшого використання у комплексній імітаційній моделі системи «steer-by-wire», [3].

Основний матеріал. На рис. 1 та 2 представлено відповідно базовий варіант напівпричепа та перетворений у напівпричеп з керованими осями. Для перетворення необхідно зробити наступні зміни базового варіанту: - лонжерони рами (1) на ділянці

переміщення коліс при повороті звзугити з 1417 мм до 900 мм (на 517 мм); - у кронштейні кріплення подовжного важеля (2) перенести місце кріплення амортизатора (4); - до подовжного важеля додати місця кріплення амортизатора та блокувального циліндру (7); - змінити конструкцію балки моста (9) на керовану, відповідно виготовити поворотні цапфи (10) з можливістю кріплення до них поперечної тяги трапеції (8) через кулькові опори; - на балку моста прикріпити кронштейни кріплення робочого циліндру (6) та блокувальних циліндрів; - змінити кут розташування кронштейнів кріплення супортів (5) гальмівних механізмів до балки моста.

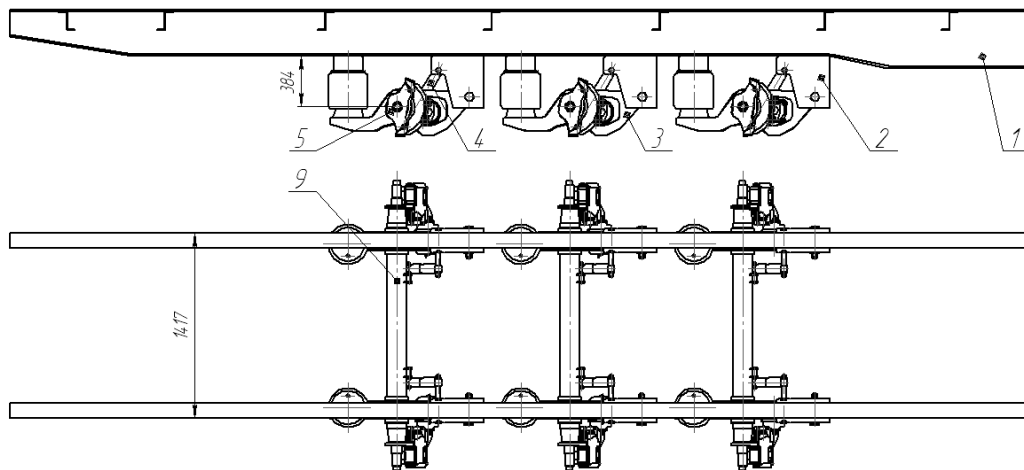


Рисунок 1 – Базовий варіант напівпричепи.

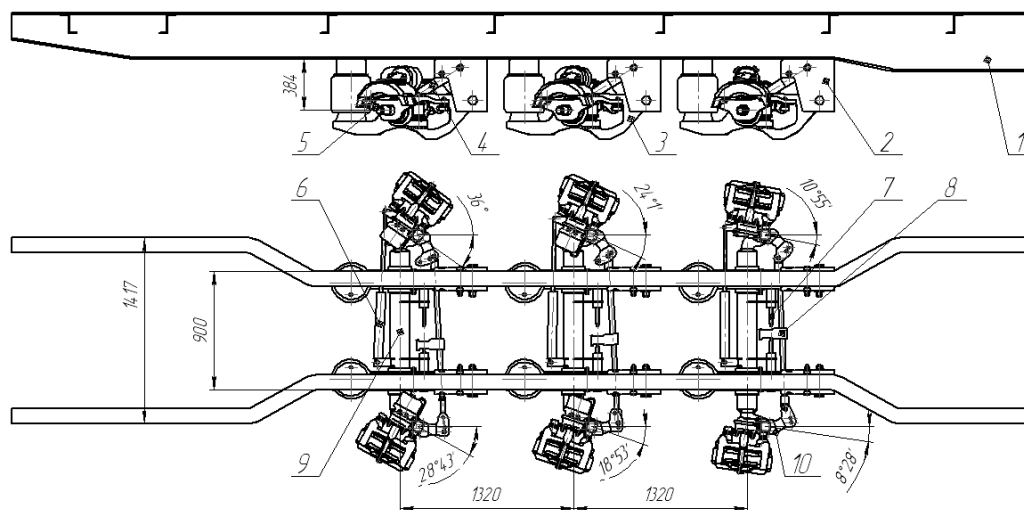


Рисунок 2 – Компонування керованих осей напівпричепи.

Наступним етапом визначимо кінематичні та динамічні параметри елементів керованої осі.

Під час розкладання гідроциліндру змінюється довжина сторони трикутника L_C (рис. 3) на величину ходу штоку h_p та кути α і γ , тобто можна записати наступні вирази для швидкостей вузла O_2 :

Equation Chapter 1 Section 1

$$V_R = \sqrt{V_{Rx}^2 + V_{Ry}^2}; \quad V_R = V_{Rx} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{d\gamma}{dL_c} \cdot L_c\right)^2}. \quad (1)$$

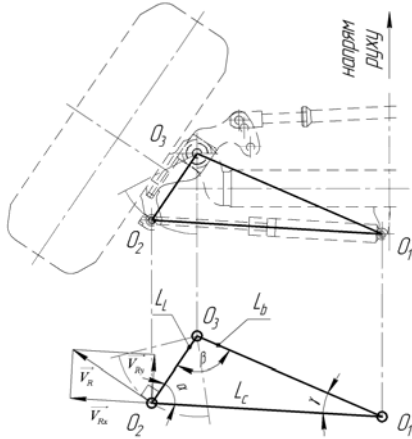


Рисунок 3 – Розрахункова схема кінематичних параметрів системи робочий гідроциліндр-поворотна цапфа.

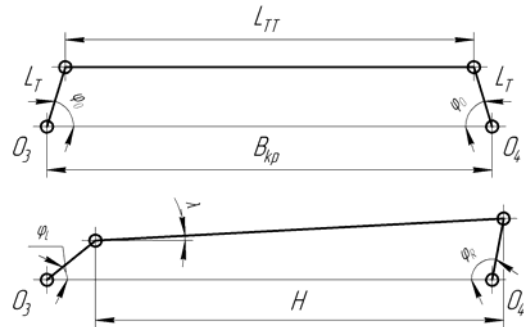


Рисунок 4 – Розрахункова схема кінематичних параметрів кермової трапеції.

Із теореми косинусів виведемо вираз для визначення кута γ :

$$\gamma = \arccos\left(\frac{L_b^2 + L_c^2 - L_L^2}{2 \cdot L_b \cdot L_c}\right). \quad (2)$$

Остаточно отримуємо вираз для визначення швидкості переміщення вузла O_2 :

$$V_R = V_{Rx} \cdot kv = V_{Rx} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{L_b^2 - L_c^2 - L_L^2}{\sqrt{(L_L^2 - (L_b - L_c)^2) \cdot ((L_b + L_c)^2 - L_L^2)}}\right)^2}. \quad (3)$$

Кутова швидкість повороту лівого керованого колеса:

$$\omega_k = \frac{V_R}{L_L}.$$

Кінематичні параметри для правого керованого колеса визначаються через поліноміальну залежність, отриману при оптимізації геометричних параметрів кермової трапеції відповідної осі напівпричепа ($\Delta\varphi_R = f(\Delta\varphi_L)$), [2].

Початкові кути установки бокових важелів трапеції визначаються за формулою:

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{B_{kp} - L_{TT}}{2 \cdot L_T}\right), \quad (4)$$

де: $B_{кр}$ – відстань між шворнями поворотних цапф;
 L_{TT} – довжина поперечної тяги трапеції;
 L_T – довжина бокового важеля трапеції.

При повороті коліс поперечна тяга повертається на кут λ :

$$\lambda = \arccos\left(\frac{H}{L_{TT}}\right) = \arccos\left(\frac{B_{кр} - L_T \cdot (\cos(\varphi_L) + \cos(\varphi_R))}{L_{TT}}\right). \quad (5)$$

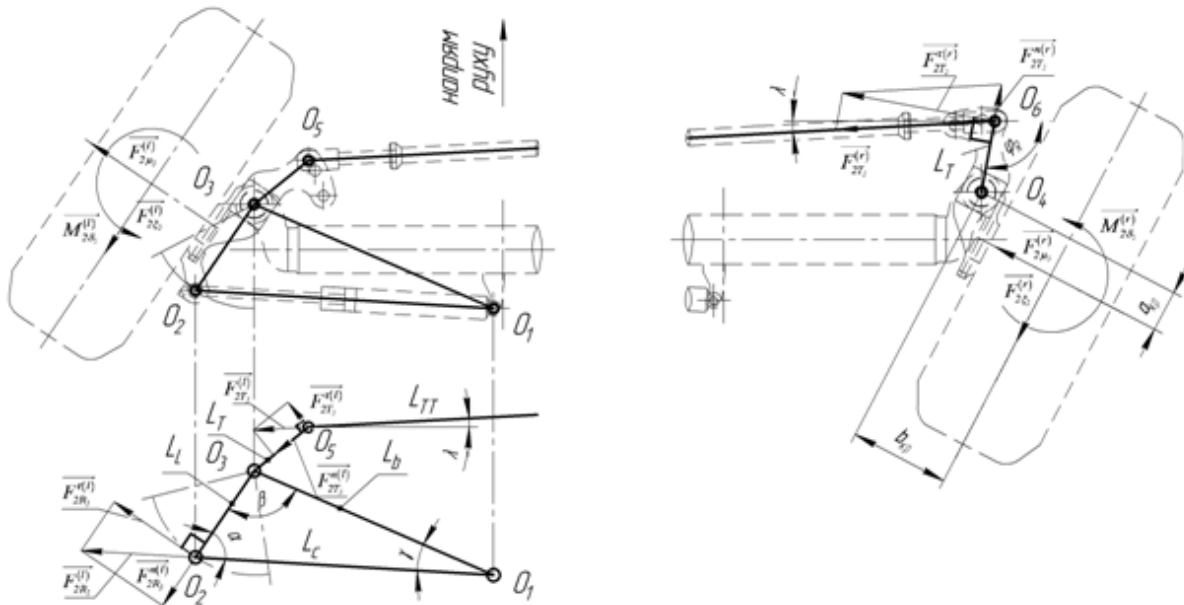


Рисунок 5 – Сили, що діють на керове керування осі напівпричепа.

Приведемо усі моменти, що діють на керове керування при повороті керованих коліс напівпричепа до точки O_3 , (рис. 5):

$$\overline{M_{2\xi}^{(l)}} + \overline{M_{2\mu_s}^{(l)}} + \overline{M_{2\delta_s}^{(l)}} + \overline{M_{2R_s}^{(l)}} + \overline{M_{2T_s}^{(l)}} = I_k \frac{d\omega_k}{dt}, \quad (6)$$

де: $M_{2\xi_s} = F_{2\xi_s} \cdot b_{кр}$ – крутний момент, що утворюється у наслідок дії подовжніх сил у плямі контакту шини з дорогою відносно шворня лівої цапфи;

$M_{2\mu_s} = F_{2\mu_s} \cdot a_{кр}$ – крутний момент, що утворюється у наслідок дії поперечних сил у плямі контакту шини з дорогою відносно шворня лівої цапфи;

$M_{2\delta_s}$ – крутний момент, що утворюється у наслідок повороту шини за рахунок її пружних властивостей приведенного до шворня лівої цапфи;

M_{2R_s} , M_{2T_s} – крутні моменти, що утворюються у наслідок дії відповідно сили на штоковій робочого циліндру та сумарної сили опору повороту правого колеса відносно шворня лівої цапфи;

I_k – момент інерції повороту колеса.

Далі отримаємо вирази для визначення $M_{2R_s}^{(l)}$ та $M_{2T_s}^{(l)}$.

$$M_{2R_5}^{(l)} = F_{2R_5}^{\tau(l)} \cdot L_L = F_{2R_5}^{(l)} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot L_L, \quad (7)$$

де α – кут між векторами сил $\overline{F_{2R_5}^{(l)}}$ та $\overline{F_{2R_5}^{n(l)}}$, використовуючи теорему синусів визначимо з виразу:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{L_B \cdot \sin(\gamma)}{L_L}\right) = \arcsin\left(\frac{L_B}{L_L} \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{L_b^2 + L_c^2 - L_L^2}{2 \cdot L_b \cdot L_c}\right)\right)\right). \quad (8)$$

Приведемо крутні моменти, що виникають при повороті правого колеса через елементи кермової трапеції до шворня лівої цапфи:

$$M_{2T_5}^{(l)} = F_{2T_5}^{\tau(l)} \cdot L_T = F_{2T_5}^{(l)} \cdot L_T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - (\varphi_L - \lambda)\right) = \frac{F_{2T_5}^{\tau(r)} \cdot L_T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - (\varphi_L - \lambda)\right)}{\cos\left(\lambda + \varphi_R - \frac{\pi}{2}\right)}, \quad (9)$$

Використовуючи отримані залежності складемо Simscape-модель першої керованої осі напівпричепа (рис. 6). Ця модель складається із блоків формування моментів опору повороту керованих коліс відносно шворнів (блоки 1-3, 28-30); блоків похідних параметрів (блоки 12, 13, 32) та блоку визначення кінематичних та динамічних параметрів системи (блок 14). Параметри робочого гідроциліндра та гідросистеми у цілому прийняті відповідно до рекомендацій [6]: тиск рідини у гідросистемі – 10 МПа, діаметр поршня – 63 мм, діаметр штока – 28 мм, максимальний кут повороту колеса – $10^\circ 55'$.

При збільшенні тиску у відповідному об'ємі гідроциліндра шток починає рух тоді, коли сила на штокові перевищить сумарну силу опору, що приведена від лівого та правого коліс до штоку. За цих умов визначається кут повороту лівого колеса, а кут повороту правого колеса визначається з використанням поліному, отриманого у [2]. Рух штоку продовжується до моменту забезпечення максимального кута повороту внутрішнього колеса.

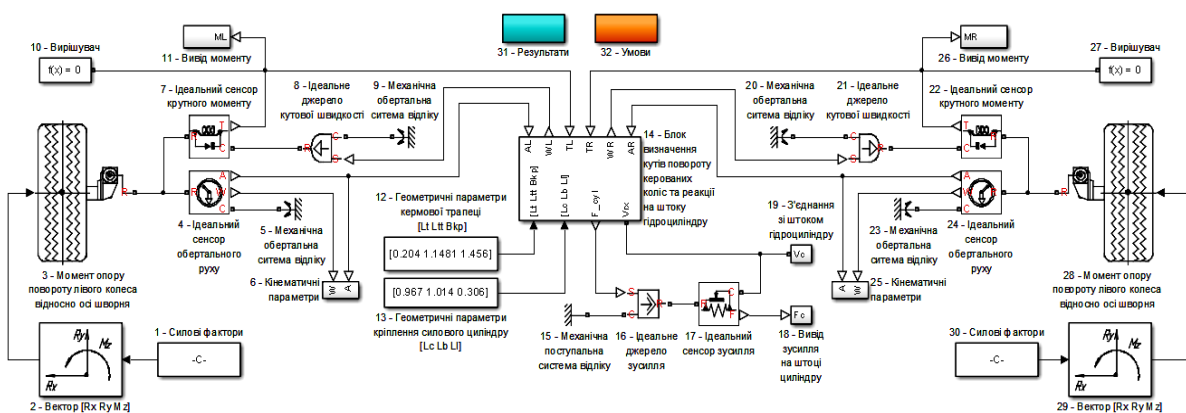


Рисунок 6 – Simscape-модель керованої осі напівпричепа.

Для тестування складеної моделі керованої осі на вході системи задамо закон

переміщення штоку робочого циліндра з нейтрального положення до крайнього положення при його розкладанні з наступним переміщенням штоку у крайнє положення при його складуванні з поверненням штоку у нейтральне положення. Отримані результати кутів повороту коліс керованої осі представлені на рис. 7.

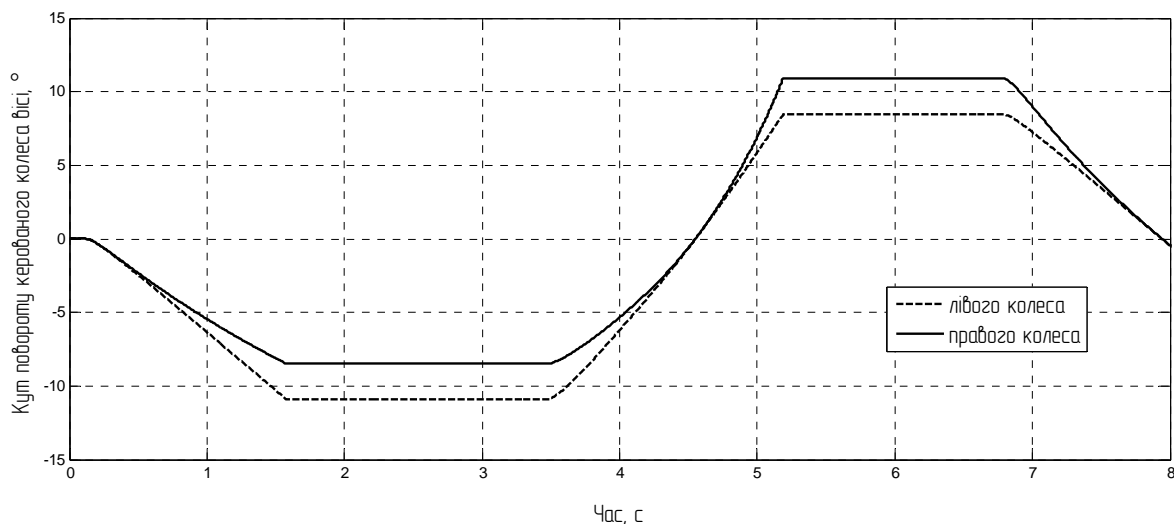


Рисунок 7 – Результати повороту коліс керованої вісі напівпричепа.

Висновки. Заходи щодо змін у конструкції рами та підвіски базового напівпричепа дозволили залишити незмінною колію коліс та міжосьову відстань, а також конструкцію не зазначених вище елементів базового напівпричепа. Суттєвого перетворення набули балка вісі та цапфи, до конструкції осей добавлені гідравлічні циліндри та поперечна тяга трапеції. До того ж усі заново спроектовані вузли є уніфікованими для всіх осей напівпричепа. Загальна маса напівпричепа при здійсненні зазначених змін збільшиться на 500 кг у порівнянні з базовим варіантом.

Тестування складеної Simscape-моделі (рис. 7) показало відповідність отриманих результатів попереднім, [2]. Тобто, цю модель можна надалі використовувати разом із Simscape-моделлю гідроприводу управління керованими осями напівпричепа, [3] для формування комплексної Simscape-моделі автопоїзда з керованими осями напівпричепа.

Список літератури: 1. Продукція компанії V.S.E. Vehicle Systems Engineering B.V. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.v-s-e.nl>. – Назва з екрану. 2. Лиходій О. С. Визначення оптимальних параметрів кермових трапецій керованих осей напівпричепа // «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – №30 (1003). – С. 49-54. 3. Лиходій О.С. Імітаційне моделювання гідроприводу управління поворотом керованих коліс причіпної техніки [Текст] // Вісник СевНТУ. – Севастополь : СевНТУ, 2013. – №143. – С. 134-138. 4. Бурков М. С. Специализированный подвижной состав автомобильного транспорта. Учеб. пособие для студентов вузов, – 3-е изд., перераб. и доп. – М., «Транспорт», 1979, 296 с. 5. Автомобили: Специализированный подвижной состав: Учеб. Пособие / М. С. Высоцкий, А. И. Гришкевич, Л. Х. Гилелес и др.; Под ред. М. С. Высоцкого, А. И. Гришкевича. – Мн.: Выш. шк., 1989. – 240с.: ил. – ISBN 5-339-00156-3. 6. Васильченко В. А. Гидравлическое оборудование для гидроприводов строительных, дорожных и

коммунальных машин. Каталог-справочник / В. А. Васильченко, С. А. Житкова, Л. С. Акользина. – М: ЦНИИТЭстроймаш, 1978. – 476с.

Bibliography (transliterated): 1. The company's products V.S.E. Vehicle Systems Engineering B.V. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://www.vse.nl>. - The name of the screen. 2. *Lyhodyi O.S.* Defining the optimal parameters of steering trapezoid driven axle semitrailer // "KPI". Series: Automotive and tractor. - H.: NTU "KPI", 2013. - № 30 (1003). - P. 49-54. 3. *Lyhodyi O.S.* Simulation of hydraulic drive control by turning the steering wheels of trailers [Text] // Bulletin SevNTU. - Sevastopol SevNTU, 2013. - № 143. - P. 134-138. 4. *Burkov M.S.* Specialized rolling road transport. Textbook. manual for students - 3rd ed. , rev . and add. - M., "Transport", 1979, 296 p. 5. Cars: Specialized rolling : Proc . Manual / *M.S. Vysotsky, A.I. Grishkevich, L.H. Gileles etc.*; Ed. *M.S. Vysotsky, A.I. Grishkevich.* - Mn.: Your. wk., 1989. – 240p.: Il. - ISBN 5-339-00156-3. 6. *Vasilchenko V.A.* Hydraulic equipment hydraulic drives for road building and utility vehicles. Katolog Directory / *V.A. Vasilchenko, S.A. Zhitkova, L.S. Akolzina.* - M: TsNIITEstroy mash, 1978. – 476p.

Надійшла (received) 05.03.2014