

УДК 629.113

В. П. САХНО, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри «Автомобілі» НТУ, Київ;

В. М. ПОЛЯКОВ, канд. техн. наук, проф. НТУ, Київ;

В. М. ГЛІНЧУК, канд. техн. наук, доц. НУВГП, Рівне;

В. М. БОСЕНКО, асистент, НТУ, Київ

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ ТРИЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ У НЕУСТАЛЕНИХ РЕЖИМАХ РУХУ

Проведена порівняльна оцінка показників стійкості руху триланкових автопоїздів різних компоновальних схем у неусталених режимах руху. Пропонується розглядати питання стійкості триланкових автопоїздів у неусталених режимах руху на прикладі автопоїзда типу «B-Duble». Зроблено висновок про те, що на неусталених режимах руху триланковий автопоїзд типу „B-Double” має кращі показники стійкості у порівнянні з автопоїздами інших компоновальних схем – з напівпричепом на підкатному візку „Dolly”, сидельно-причіпним і причіпним з двома причепами.

Ключові слова: автопоїзд, напівпричіп, причіп, стійкість, маневр, кут відведення, прискорення, швидкість

Вступ. В умовах зростаючих щільностей транспортних потоків, збільшення кількості великовантажних і великогабаритних автомобілів і автопоїздів на дорогах країни можливість подальшого підвищення продуктивності автотранспортних засобів за рахунок росту середніх швидкостей руху істотно обмежена вимогами забезпечення безпеки. В зв'язку з цим перспективним є використання автопоїздів великої вантажопідйомності в складі сидельних тягачів, причепів і напівпричепів, зокрема триланкових, спроможних перевозити різноманітні вантажі як у міжміському, так і міжнародному сполученнях. Тому актуальною на сьогодні є проблема створення нових сучасних, більш надійних і довговічних причепів і напівпричепів та їх систем керування, які найбільш повно б задовольняли вимогам до автопоїздів, що рухаються як в загальному транспортному потоці, так і в специфічних дорожніх умовах. Експлуатаційні чинники, що мають місце при криволінійному русі автопоїзда в реальних дорожніх умовах, загострюють задачу вибору закону керування колесами напівпричепа і забезпечення стійкості руху автопоїзда, зокрема у неусталених режимах руху.

Аналіз основних досягнень і літератури. У роботах [1-7] розглянуто маневреність та стійкість руху автопоїздів, які сформовано за модульним принципом: автопоїзд представлено у вигляді трьох модулів – автомобіля-тягача і двох причіпних ланок. У свою чергу, автомобіль-тягач представлено або у вигляді одного модуля – кістяка з передніми керованими колесами, або у вигляді двох кінематично незалежних елементів – кістяка з двома (однією) задніми осями і керуючого колісного модуля. Причіпні ланки також представлена у вигляді або одного модуля – кістяка з поворотними колесами (осями) за прямого приводу управління на них, або із двох кінематично незалежних елементів – платформи і возика, із яких кожна несуча система напівпричепа (або причепа) спирається на свій возик, причому між ними існує шарнірний зв'язок, а керованими є колеса або осі напівпричепа і причепа за подвійного приводу управління до них. Таким чином, враховуючи те, що відмінності у конструкціях триланкових автопоїздів у більшості випадків визначаються відмінностями у конструкції причіпних ланок (конструкція автомобілів-тягачів залишається практично незмінною) то при розробці математичної моделі обрано в якості базової схеми автопоїзд типу «B-Duble».

Метою роботи є порівняльна оцінка показників стійкості руху триланкових автопоїздів різних компоновальних схем у неусталених режимах руху.

Матеріали досліджень. Складання диференціальних рівнянь руху для автопоїзда типу «B-Duble» виконано за таких вихідних даних. Автомобіль-тягач представлено у вигляді одного модуля - кістяка з передніми керованими колесами, кути повороту яких θ_1 і θ_1' (причому $\theta_1 > \theta_1'$). Дві задні осі тягача неповоротні і розташовані позаду центра мас тягача.

Обидва напівпричепи складаються із двох кінематично незалежних елементів – платформи і возика з усіма керованими осями за подвійного приводу управління до них. Кути повороту осей позначені через θ_{11} - для першого напівпричепи і θ_{12} - для другого напівпричепи.

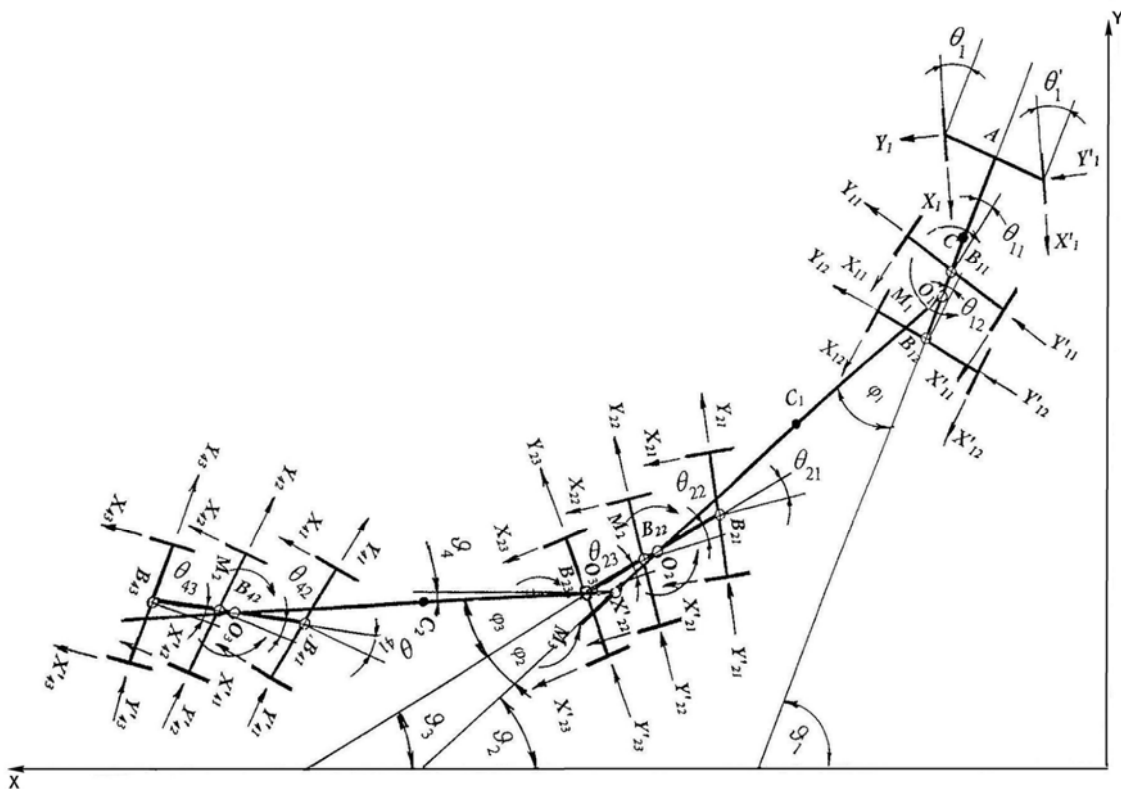


Рисунок 1 – Розрахункова схема автопоїзда типу «B-Duble»

Для такого автопоїзда у роботі [3] отримана система рівнянь, що описує рух автопоїзда у загальному випадку, проте її інтегрування за нелінійності бічних сил викликає певні труднощі навіть із застосуванням сучасної обчислювальної техніки.

За лінійності сил бічного відведення Y_{ij} у функції кута відведення δ_{ij} отримано:

$$Y_{ij} = k_{ij} \delta_{ij}; \quad \delta_{1i} = \theta_1 - \frac{U + a\omega}{V}; \quad \delta_{1i} = -\frac{U}{V} + \frac{\omega}{V} b_{1i}; \quad (i=1,2)$$

$$\delta_{21} = -\theta_{21} - \frac{U}{V} + \frac{\omega}{V} (c + l_1 + d_2 + b_{2j}) - \varphi_1 - \varphi_2;$$

$$\begin{aligned} \delta_{2j} &= -\theta_{2j} - \frac{U}{V} + \frac{\omega}{V}(c + l_1 + d_2 + b_{2j}) - \varphi_1 - \varphi_2; \\ \delta_{4\rho} &= -\frac{U}{V} + \frac{\omega}{V}(c + l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho}) - \varphi_1 - \varphi_3 - \varphi_4 \quad (j=1,2) \quad (\rho=1,3) \end{aligned} \quad (1)$$

З урахуванням виразів, що визначають бічні сили і кути відведення осей автопоїзда, вихідна система рівнянь записана у вигляді:

$$\left\{ \begin{aligned} (m + m_1 + m_2 + m_3 + m_4)\omega V &= k_1\theta_1 - k_{21}\theta_{21} - \frac{U}{V}(k_1 + \sum_{i=1}^2 k_{1i} + \sum_{\rho=1}^3 -\frac{\omega}{V}[k_1a - \sum_{i=1}^2 k_{1i}b_{1i} - \\ &- \sum_{j=1}^3 k_{2j}(c + l_1 + d_2 + b_{2j}) - \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(c + l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho})] - \varphi_1(\sum_{j=1}^3 k_{2j} + \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}) - \\ &- \varphi_2 \sum_{j=1}^3 k_{2j} - (\varphi_3 + \varphi_4) \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}; \\ -c(m + m_1 + m_2 + m_3 + m_4)\omega V &= ck_{21}\theta_{21} - \frac{U}{V}(k_1a - \sum_{i=1}^2 k_{1i}b_{1i} - \\ &- c(\sum_{j=1}^3 k_{2j} + \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}) - \frac{\omega}{V}[k_1a^2 + \sum_{i=1}^2 k_{1i}b_{1i}^2 + c \sum_{j=1}^3 k_{2j}(c + l_1 + d_2 + b_{2j}) + c \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(c + \\ &+ l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho}) + \varphi_1[c(\sum_{j=1}^3 k_{2j} + \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}) + q_1] + c[\varphi_2 \sum_{j=1}^3 k_{2j} + (\varphi_3 + \varphi_4) \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}]; \\ m_1d_1 + m_2l_1 + (m_3 + m_4)l_2 \omega V &= -l_1k_{21}\theta_{21} - \frac{U}{V}(l_1 \sum_{j=1}^3 k_{2j} + l_2 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}) + \\ &\frac{\omega}{V}[l_1 \sum_{j=1}^3 k_{2j}(c + l_1 + d_2 + b_{2j}) - l_2 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(c + l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho}) - \varphi_1[l_1(\sum_{j=1}^3 k_{2j} + \\ &l_2 - l_2 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(c + l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho}) - \varphi_1[l_1(\sum_{j=1}^3 k_{2j} + l_2 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}) - q_1] - \\ &\varphi_2(l_1 \sum_{j=1}^3 k_{2j} + q_2) - \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}l_2\varphi_4 + \varphi_3(l_2 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho} - q_1)]; \\ m_2d_2\omega V &= -\frac{U}{V} \sum_{j=1}^3 k_{2j}(d_2 + b_{2j}) + \frac{\omega}{V}[\sum_{j=1}^3 k_{2j}(d_2 + b_{2j})(c + l_1 + d_2 + b_{2j}) - \\ &- \varphi_1l_1 \sum_{j=1}^3 k_{2j} - \varphi_2(l_1 \sum_{j=1}^3 k_{2j} - q_2)]; \\ (m_3d_4 + m_4l_3)\omega V &= -\frac{U}{V}l_3 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho} + \frac{\omega}{V}l_3 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(c + l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho}) - \varphi_1l_3 \sum_{j=1}^3 k_{4\rho} - \\ &- \varphi_3(l_3 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho} - q_1) - \varphi_4(l_3 \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho} + q_4); \\ m_4d_4\omega V &= -\frac{U}{V} \sum_{j=1}^3 k_{4\rho}(d_4 + b_{4\rho}) + \frac{\omega}{V}[\sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(d_4 + b_{4\rho})(c + l_2 + l_3 + d_4 + b_{4\rho}) - \\ &- (\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4) \sum_{\rho=1}^3 k_{4\rho}(d_4 + b_{4\rho}) - \varphi_4q_2. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

У рівняннях (1-2) прийняті такі позначення:

v, u, ω - поздовжня, бічна і кутова швидкість центру мас автомобіля-тягача;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – відповідно кути складання тягача і першого напівпричепи (причепи), першого напівпричепи (причепи) і його возика (поворотної осі), першого і другого напівпричепи (причепи), другого напівпричепи і його возика;

q_1, q_2, q_3, q_4 – моменти опору повороту напівпричепи відносно тягача, напівпричепи (причепи) щодо напівпричепи, першого возика відносно напівпричепи (причепи), другого возика відносно напівпричепи, віднесені до мас, що припадають на окремі ланки автопоїзда;

k_{ij} – коефіцієнт опору відведення і-ого колеса j-ої осі автопоїзда;

$a, b, c, l, l_1, d_2, b_{2j}, b_{4\rho}$ - геометричні параметри автопоїзда;

m, m_1, m_2, m_3, m_4 – відповідно маса автомобіля-тягача, першого напівпричепи і його возика, другого напівпричепи і його возика.

Результати досліджень. Інтегрування системи рівнянь (2) виконано для автопоїздів у складі автомобіля-тягача Scania, напівпричепів Krone SD-27 і причепів Krone AZ-18, Krone-ZZ18 за таких вихідних даних: $m:=24000; m1:=15600; m2:=2400; m3:=15600; m4:=2400; k1:=160000; k1i:=220000; k2j:=220000; k4\rho:=240000; q1:=2600; q2:=1800; q3:=1800; q4:=1800; v:=5.0; \phi10:=0.; \theta0:=0.37; u1:=1.23; u2:=1,31$

На рис. 2 наведені траєкторії руху окремих ланок триланкових автопоїзда за подвійного приводу управління на передню вісь напівпричепи або причепи при виконанні маневру ISO. Характерною особливістю такого маневру є те, що автопоїзд типу «В-Duble» з керованим другим напівпричепом виконує цей маневр з більшою швидкістю (рис. 2,а) у порівнянні з сидельно-причіпним автопоїздом (рис. 2,б) і причіпним автопоїздом (рис. 2,в).

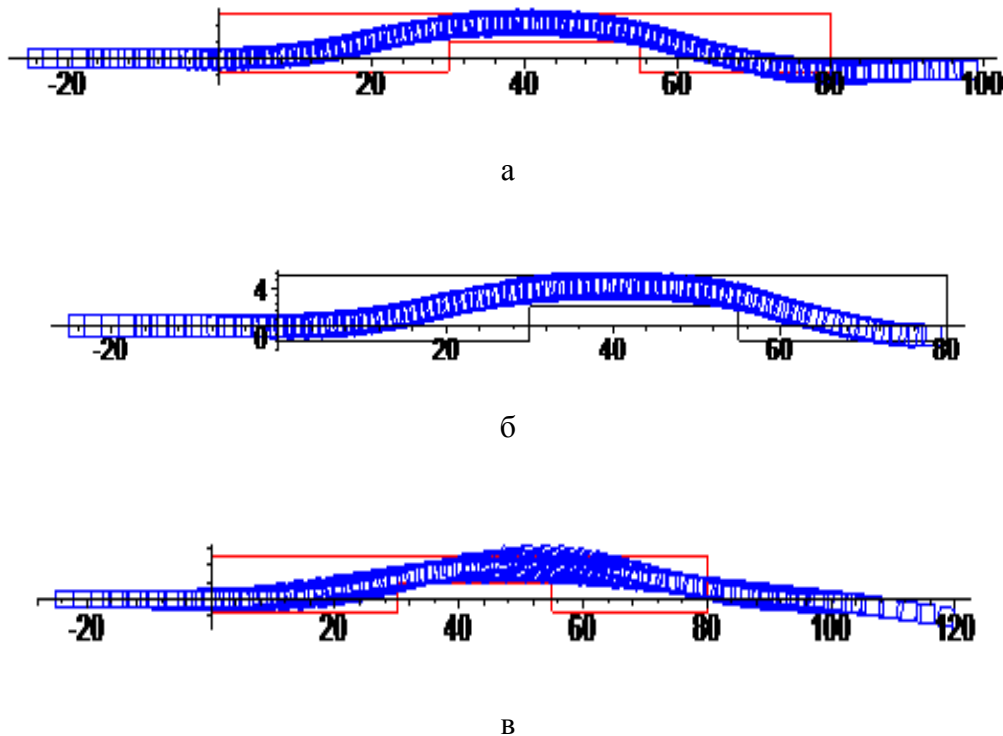


Рисунок 2 – Траєкторії руху триланкових автопоїздів при виконанні маневру ISO

Різні напрямки повороту керованих коліс автомобіля-тягача і керованої осі напівпричепа мають місце при вході автопоїзда в поворот, рис. 3,а. Це, поряд з кутами відведення коліс другої і третьої осі автомобіля-тягача (рис. 3,б), що направлені в одну сторону, забезпечує необхідні показники стійкості автопоїзду на вході в поворот, незважаючи на різні напрямки кутів відведення коліс першої і третьої осі як керованого, так і некерованого напівпричепів (рис. 4).

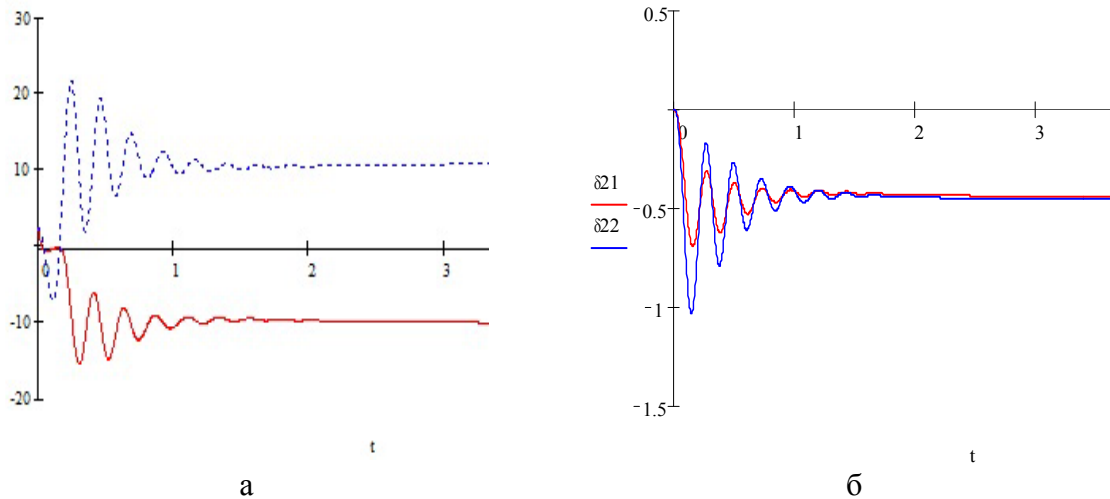


Рисунок 3 – Зміна кутів повороту керованих коліс тягача і поворотної осі напівпричепа а і кутів відведення коліс другої і третьої осі автомобіля-тягача б на вході в поворот

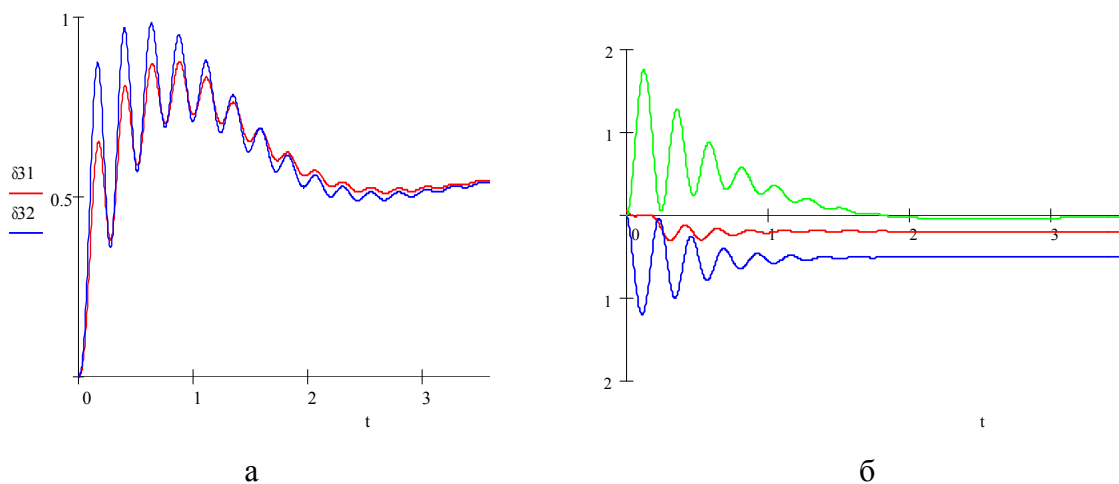


Рисунок 4 – Зміна кутів відведення коліс осей підкатного візка а і напівпричепа б

Про стійкий характер руху при вході автопоїздів в поворот $R=35$ м за швидкості 10 м/с свідчить загасаючий характер коливань кутової і бічної швидкості візка напівпричепа і причепа (рис. 5). Проте слід відзначити, що при збільшенні швидкості

руху збільшується розмах коливань напівпричепа на підкатному візку і причепа, що може призвести до порушення стійкості руху автопоїзда.

Порівняльну оцінку триланкових автопоїздів різних компоновальних схем доцільно провести за величиною коефіцієнта посилення бічного прискорення.

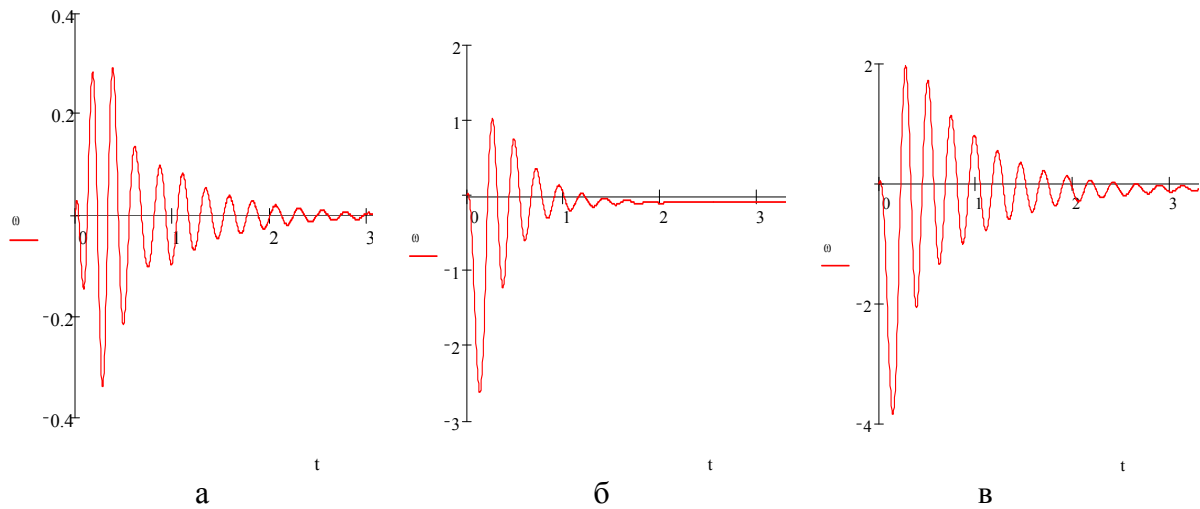


Рисунок 5 – Зміна кутової швидкості (с^{-1}) підкатного візка а, напівпричепа б і причепа в у часі перехідного процесу t , с

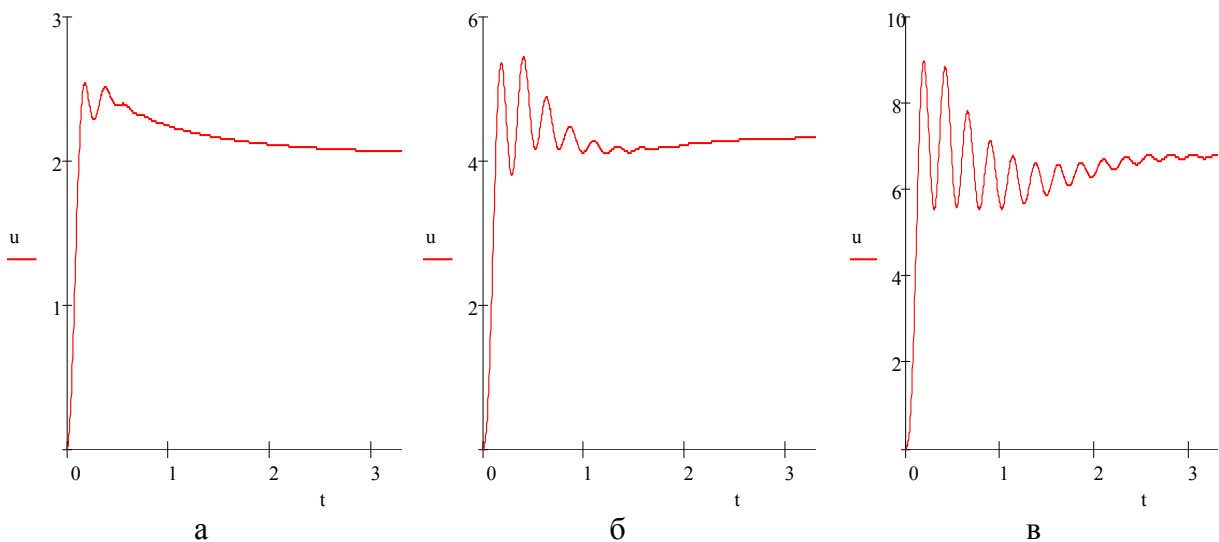


Рисунок 6 – Зміна бічної швидкості (м/с) підкатного візка а, напівпричепа б і причепа в у часі перехідного процесу t , с

За даними проведених розрахунків коефіцієнт посилення бічного прискорення останньої ланки склав: для автопоїзда типу „B-Double” 1,2; для автопоїзда з напівпричепом на підкатному візку „Dolly” - 1,31; для сидельно-причіпного автопоїзда - 1,42 і для причіпного автопоїзда з двома причепами - 1.64.

Висновки. Встановлено, що на неусталених режимах руху триланковий автопоїзд типу „B-Double” має кращі показники стійкості у порівнянні з автопоїздами з напівпричепом на підкатному візку „Dolly”, сідельно-причіпним і причіпним з двома причепами.

Список літератури: 1. Трехзвенные автопоезда / Я.Е.Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др. Под общ. ред. Я.Е. Фаробина – Машиностроение, 1993. –224 с. 2. Сахно В.П. Покращання показників стійкості триланкових автопоїздів / В.П.Сахно, І.Ф. Вороніна, А.Є. Бондаренко, В.М. Глінчук // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч. 1. –К.: НТУ, 2006. –Випуск 13. –С.35-41. 3. Сахно В.П. Рівняння руху моделі чотириланкового причіпного автопоїзда / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, А.Є. Бондаренко, О.А. Енглезі // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Північного наукового центру ТАУ. –2007. –Випуск 10. –С.117-120. 4. Сахно В.П. Стійкість триланкового сідельно-причіпного автопоїзда з керованим напівпричепом у криволінійному русі / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, О.А. Енглезі, А.Є. Бондаренко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. –Науковий журнал. –2008. –Випуск №7(125). –Частина 2. –С.10-13. 5. Сахно В.П. До визначення показників стійкості руху триланкового автопоїзда з напівпричепом на підкатному візку / В.П.Сахно, В.Г.Вербицький, О.А.Енглезі, А.Є.Бондаренко // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Північного наукового центру ТАУ. –2008. –Випуск 11. –С.140-146. 6. Сахно В.П. До визначення показників стійкості руху триланкового автопоїзда з напівпричепом на підкатному візку / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, О.А. Енглезі, А.Є. Бондаренко //Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Північного наукового центру ТАУ. –2008. –Випуск 11. –С.140-146. 7. Сахно В.П. До застосування подвійного приводу управління поворотними осями напівпричепа триланкового автопоїзда / В.П. Сахно, В.М. Глінчук, О.А. Енглезі, В.П. Онищук // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип.6. –К.: НТУ. –2008. –С. 106-114.

Надійшла до редколегії 03.03.2014

УДК 629.113

Порівняльна оцінка показників стійкості триланкових автопоїздів у неусталених режимах руху / В. П. Сахно, В. М. Поляков, В. М. Глінчук, В. М. Босенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 40-46. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-6840.

Предлагается рассматривать вопросы устойчивости трехзвенных автопоезда в неустановившихся режимах движения на примере автопоезда типа «B-Duble». Сделан вывод о том, что на неустановившихся режимах движения трехзвенный автопоезд типа „B-Double” обладает лучшими показателями устойчивости в сравнении с автопоездами других компоновочных схем – с полуприцепом на подкатной тележке „Dolly”, сідельно-прицепным и прицепным с двумя прицепами.

Ключевые слова: автопоезд, полуприцеп, прицеп, устойчивость, маневр, угол увода, ускорение, скорость,

Comparative estimation of the factors to stability for trimeric road-trains in unstable state of movement / V. P. Sakhno, V. M. Poljakov, V. N. Glinchuk, V. N. Bosenko // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 40-46. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2078-6840.

There have been suggested to consider the matters of stability for trimeric road-trains in unstable state of movement by the example of trimeric road-train “B-Duble” type. Have been drawn a conclusion that the trimeric road-train “B-Duble” type provide with best indicators of stability in unstable state of movement in comparison with road-trains – with semitrailer on movable truck “Dolly”, with saddle-trailed and trailed with two trailers.

Key words: road-train, semitrailer, trailer, equations, stability, manoeuvre, slip angle, speedup, speed.