

УДК 683.03

Р. В. ЗІНЬКО, канд. техн. наук, доц. НУ «Львівська політехніка»*І. С. ЛОЗОВИЙ*, канд. техн. наук, доц.*О. М. БАДЕЙНОВ*, інж. Львівський НДІСЕ**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗЧІПНИХ ПРИСТРОЇВ РОЗЧЛЕНОВАНИХ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ**

Запропоновано використання графів для побудови математичної моделі роботи розчленованих транспортних засобів із зчіпними пристроями різної конструкції. Розрахункова схема формується на основі графа структури конструктивної схеми розчленованої транспортної машини. Далі записується граф структури рівнів узагальнених координат математичної моделі. Це дозволяє побудувати математичну модель відповідної складності залежно до поставлених завдань досліджень.

Ключові слова: розчленовані транспортні засоби, зчіпні пристрої.

Вступ. Частка витрат, пов'язаних з транспортуванням вантажів, складає 25-40 % від загальної суми витрат на вироблювану продукцію. Ефективність транспортування можна покращити, використовуючи додаткові причіпні ланки.

Проте в процесі руху автопоїздів та технологічних машин спостерігається ряд небажаних явищ, зокрема, виникнення в точці зчеплення тягача і причепа змінного ударного навантаження, яке приводить до погіршення динамічних процесів руху транспортних засобів. До того ж при зростанні швидкостей руху погіршуються показники стійкості, керованості. Характеристики маневреності та надійності також залежать від конструкції зчіпних пристроїв (ЗП).

Тому актуальним є створення таких ТЗП, які б забезпечували оптимальні режими руху розчленованих транспортних засобів (РТЗ) в різних умовах експлуатації.

Аналіз основних досягнень і літератури. Дослідження РТЗ проводяться в напрямку покращення маневреності [1-3], курсової стійкості [4], надійності [5], керованості [6].

Математичні моделі функціонування РТЗ з ЗП їх основних елементів повинні відображати як основні характеристики РТЗ, так і чинники, що пов'язані з ефективністю їх функціонування. Поздовжні динамічні навантаження на основні елементи РТЗ з ЗП та їх вантажі залежать не тільки від зміни швидкості та траєкторії руху, а й від радіальної і тангенціальної жорсткості ведучих коліс [7], жорсткості підвіски мостів РТЗ [8], пружно-демпфувальних властивостей ЗП [9], профілю дороги [10].

При виборі розрахункової схеми необхідно враховувати конструктивні особливості машини, її умови функціонування, задачі дослідження тощо [11]. Тому можна стверджувати, що існує мінімальний рівень спрощення розрахункової схеми, після якого вона вже не буде відображати конструкцію машини. Рівень складності таких розрахункових схем можна задавати різними засобами, наприклад, розгалуженими структурами [12], графами [13], кінематичними парами [14].

Для полегшення праці конструкторів та дослідників розроблюються програмні середовища, які дозволяють швидше та ефективніше розв'язувати типові задачі проектування нових машин та обладнання. Разом з тим, у програмних середовищах можна досліджувати типові режими чи процеси. У випадку розробки нових зразків

техніки чи модернізації існуючих зразків не рідко виникає необхідність розв'язувати задачі, що не передбачено цими програмними середовищами. Ця проблема, як правило, вирішується за допомогою нових програм, написання яких потребує розробки нових математичних моделей здатних з необхідним та достатнім рівнем якості розв'язувати саме ці задачі. Розробка методів побудови таких математичних моделей залишається актуальною проблемою.

Мета дослідження. Показати можливість використання графів, що описують конструкцію розчленованих транспортних засобів і відповідним їм математичним моделям при дослідженні роботи зчепних пристроїв.

Матеріали досліджень. Побудуємо кінематичну схему РТЗ (рис. 1) з використанням графів його структури [13] (рис. 4). Під графом структури конструктивної схеми машини розуміємо такий граф, який показує зв'язки елементів машини з урахуванням її будови і зовнішніх впливів. Елемент схеми – жорстке інерційне тіло різноманітного конструктивного змісту – відображається кружком; жорсткий кінематичний зв'язок між двома елементами – прямою лінією, пружний зв'язок – хвилястою.

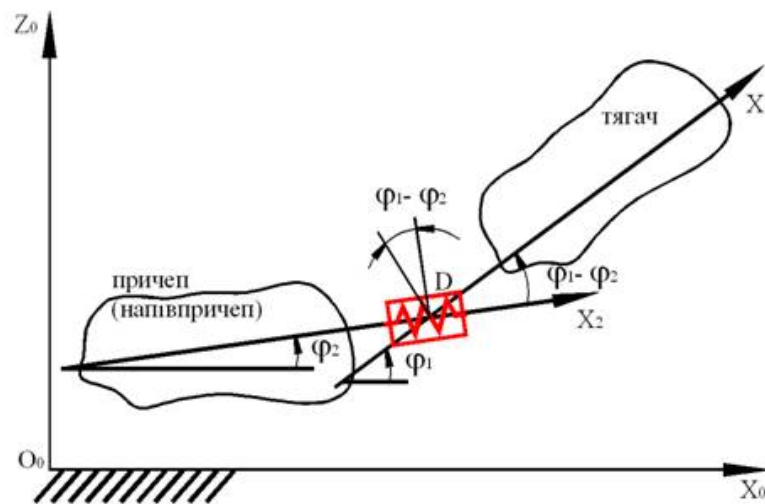


Рисунок 1 – Приклад КРТЗ «Автотягач - причеп (напівпричеп)» з ТЗП, що рухається у нерухомій вертикальній площині: $X_0O_0Z_0$ – нерухома вертикальна поздовжня площина руху РТЗ; D – тягово-зчепний пристрій.

Для формування математичної моделі роботи РТЗ ТЗП саме такою, яка максимально пристосована для виконання поставлених завдань конкретного дослідження скористаємося графом структури рівнів узагальнених координат математичної моделі [13]. Під графом структури рівнів узагальнених координат математичної моделі розуміємо такий граф, який показує перелік узагальнених координат у математичній моделі і структуру їх рівнів. Для відображення структури рівнів узагальнених координат їх розміщують за рівнями і позначають ці рівні послідовно знизу вгору, починаючи з нульового; на одному рівні розташовані узагальнені координати однакового фізичного змісту.

Графи структури рівнів узагальнених координат, що наведені на рис. 5,

дозволяють побудувати математичні моделі роботи РТЗ, які мають заданий вид ТЗП з врахуванням зовнішніх механічних характеристик їх силових агрегатів, трансмісії, якості покриття та профілів доріг, якими вони рухаються.

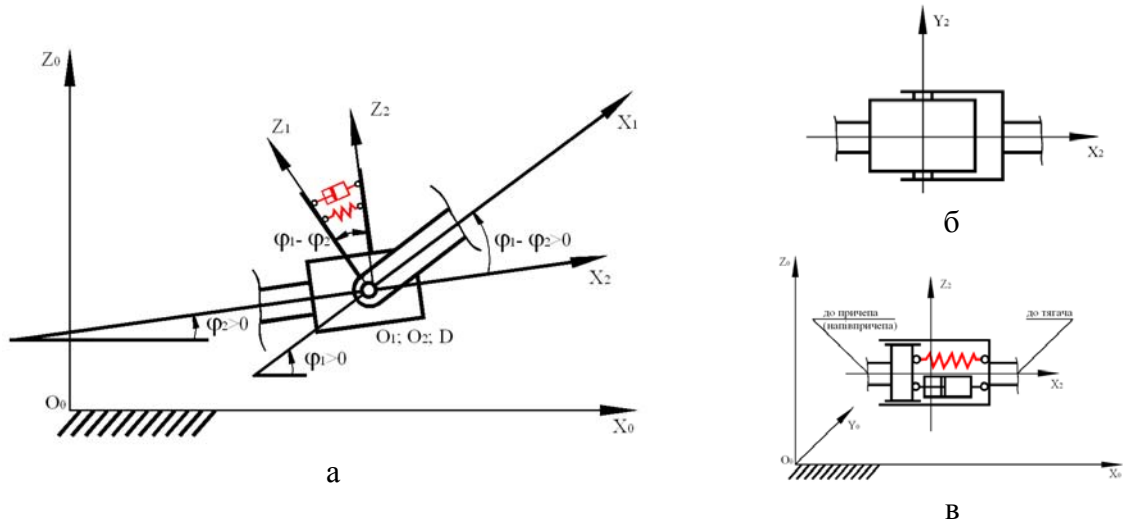


Рисунок 2 – Конструктивна схема загального випадку ТЗП при русі РТЗ у вертикальній поздовжній площині: а, б – проєкції ТЗП; в – повздовжнє січення ТЗП.

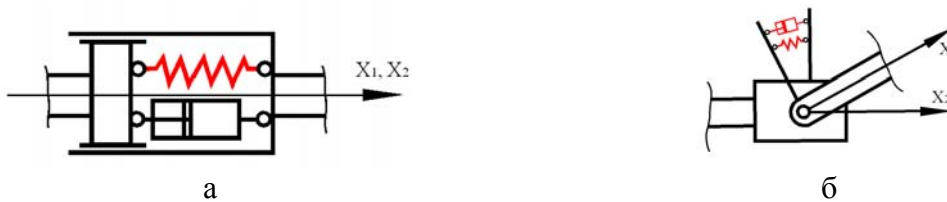


Рисунок 3 – Конструктивні схеми часткових випадків ТЗП при русі РТЗ у вертикальній поздовжній площині: а – поступальна пара; б – обертальна пара.

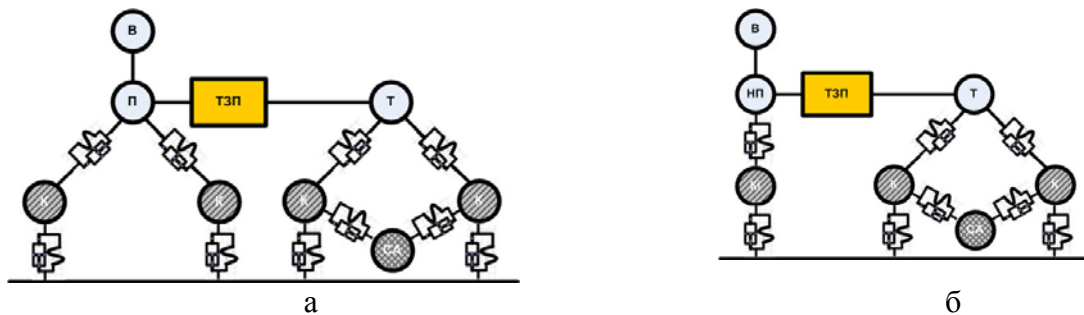
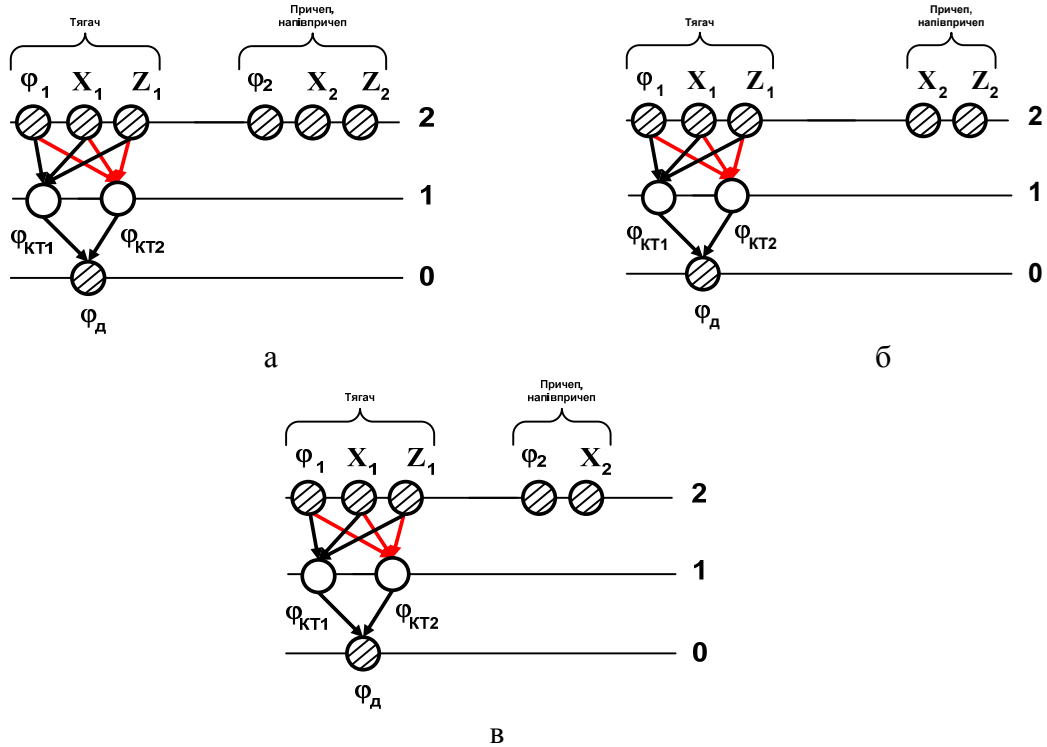


Рисунок 4 – Граф структури конструктивних схем РТЗ з причепом (а) і напівпричепом (б): Т – тягач; П – причеп; НП – напівпричеп; СА – силовий агрегат з трансмісією;

- пасивний жорсткий кінематичний зв'язок між елементами РТЗ;
- пасивний пружно-дисипативний кінематичний зв'язок між елементами РТЗ;
- елемент, на який діє зовнішнє кінематичне збурення (від профілю дорogi);
- елемент, на який діє зовнішнє силове збурення (крутний момент, що діє на колінчастий вал двигуна).



$\varphi_{\text{д}}$ – кут повороту вихідного валу силового агрегату приведенного до півосі ведучого колеса тягача; $\varphi_{\text{КТ1}}$, $\varphi_{\text{КТ2}}$ – кути повороту півосей ведучих коліс тягача; X_i , φ_i , Z_i , $i = 1, 2$ – координати початків O_i систем координат $X_i O_i Z_i$, що жорстко пов’язані з корпусом тягача ($i=1$) і рамою напівпричепа ($i=2$); 0, 1, 2 - номери рівнів узагальнених координат математичної моделі РТЗ.

Рисунок 5 – Графи структури рівнів узагальнених координат математичної моделі роботи РТЗ з різними ТЗП у русі на певній, незмінній передачі коробки передач: а – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 2; б – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 3, а; в – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 3, б.

На основі загального рівняння динаміки механічної системи інерційних жорстких тіл записаного в узагальнених координатах [15] для РТЗ з графами структури конструктивних схем (рис.4), в яких використано ТЗП загального випадку (рис. 2) і яким відповідає граф структури рівнів узагальнених координат математичної моделі роботи цих РТЗ (рис. 5,а), можна побудувати саму математичну модель, яка у матричному запису має вигляд:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{91} & \dots & a_{99} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{Z}_1 \\ \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{X}_2 \\ \ddot{Z}_2 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{\varphi}_{\text{КТ1}} \\ \ddot{\varphi}_{\text{КТ2}} \\ \ddot{\varphi}_{\text{д}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_9 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Тобто математична модель роботи РТЗ, що побудована з використанням графів рис. 5,а, має дев'ять звичайних диференціальних рівнянь другого порядку. За допомогою цієї математичної моделі можна досліджувати вплив на ефективність роботи РТЗ:

- 1 – зовнішньої швидкісної характеристики двигуна, параметрів трансмісії.
- 2 – характеристик складових трансмісії, якості покриття та профілю дороги.
- 3 – вплив вагових та геометричних характеристик вантажу.
- 4 – пружно-демпфуючих характеристик підвіски тягача та причепа (напівпричепа).
- 5 – характеристик ТЗП.
- 6 – чинників, що впливають на паливну ощадливість.

Як видно з перелічених можливостей математичної моделі, що будується на графах структури рівнів узагальнених координат рисунку 5, вона достатньо потужна і має багато можливостей моделювати реальні процеси експлуатації РТЗ. Недоліком такої математичної моделі є її багатопараметричність та громіздкість.

У випадку, коли необхідно дослідити окремі сторони роботи РТЗ або роботу їх окремих складових, доцільно будувати математичні моделі на базі часткових випадків графів структури конструктивних схем РТЗ (рис. 4) та графів структури рівнів узагальнених координат математичної моделі роботи РТЗ (рис. 5). Так, коли не досліджується вплив трансмісії і двигуна РТЗ на його роботу, доцільно будувати математичної моделі роботи РТЗ з різними ТЗП на базі часткових випадків графів структури рівнів узагальнених координат, які представлені на рис. 5. Ці математичні моделі не спроможні моделювати рушання РТЗ та переключення передач коробки передач під час їх руху, але максимально пристосовані до виконання поставлених завдань конкретного дослідження, тобто вони простіші у користуванні при дослідженні роботи РТЗ у русі на певній, незмінній передачі коробки передач.

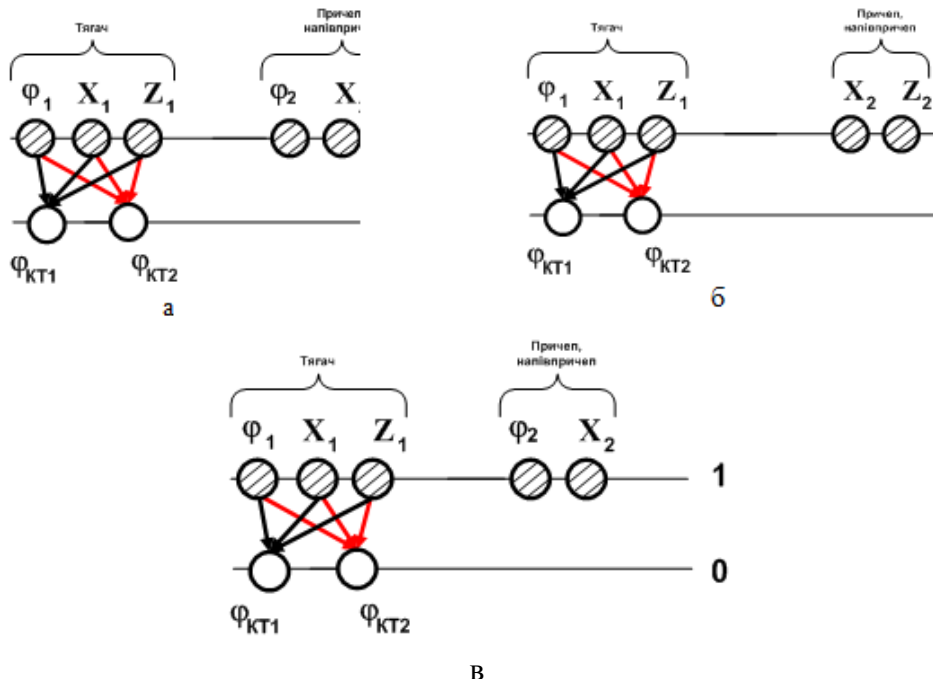


Рисунок 6 – Графи структури рівнів узагальнених координат математичної моделі роботи РТЗ з різними ТЗП у русі на певній, незмінній передачі коробки передач: а – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 2; б – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 3, а; в – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 3, б.

Дослідження роботи РТЗ з різними ТЗП при русі тягача з наперед заданою швидкістю доцільно проводити за допомогою математичних моделей, що побудовані на базі часткових випадків графів структури рівнів узагальнених координат, які представлені на рис. 6. Вони не спроможні моделювати вплив роботи двигуна та трансмісії тягача на рух РТЗ, але максимально пристосовані до виконання поставлених завдань конкретного дослідження.

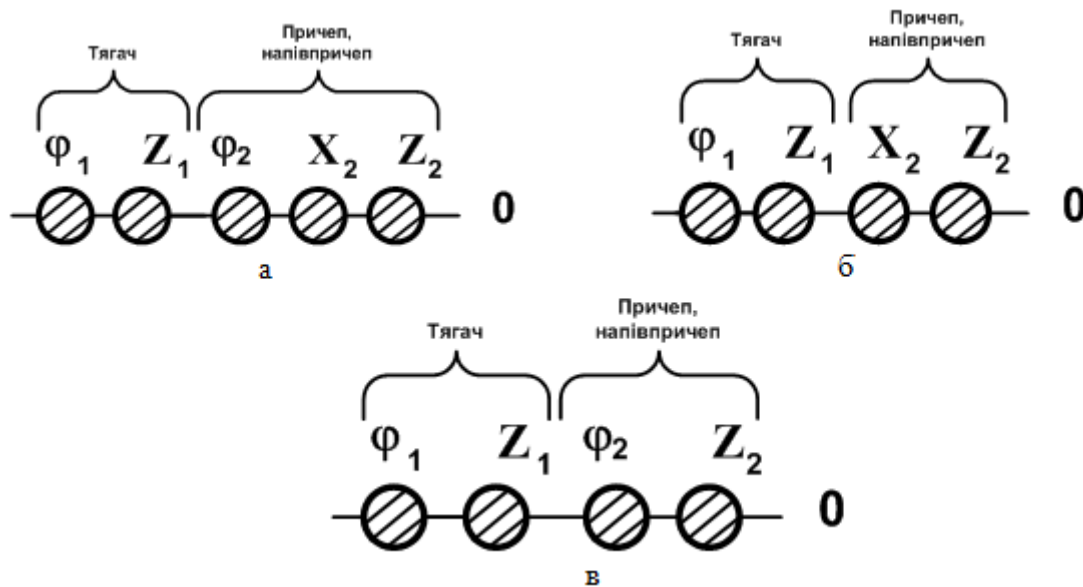


Рисунок 7 – Граф структури рівнів узагальнених координат математичної моделі роботи РТЗ з різними ТЗП при русі тягача з наперед заданою швидкістю : а – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 2; б – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 3,а; в – відповідно до конструктивної схеми ТЗП рис. 3,б

Математична модель роботи КРТЗ при русі тягача з наперед заданою швидкістю з ТЗП конструктивної схеми (рис. 3,б), на основі графа структури рівнів узагальнених координат (рис. 6,в) матиме вигляд:

$$\begin{pmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{25} & a_{26} \\ a_{32} & a_{33} & a_{35} & a_{36} \\ a_{52} & a_{53} & a_{55} & a_{56} \\ a_{62} & a_{63} & a_{63} & a_{66} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \ddot{Z}_1 \\ \ddot{\phi}_1 \\ \ddot{Z}_2 \\ \ddot{\phi}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_2 \\ Q_3 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Дослідження автономної роботи тягача РТЗ (рис. 8) доцільно проводити за допомогою математичної моделі (3), що побудована на базі часткового випадку графа структури рівнів узагальнених координат, які представлені на рис. 5.

Ілюстрацією використання графів при побудові математичної моделі роботи РТЗ, яка максимально пристосована до виконання поставлених завдань конкретного дослідження може бути приклад дослідження роботи легкового автомобіля з напівприцепом[16], які мають ТЗП, представлений на рис.2.

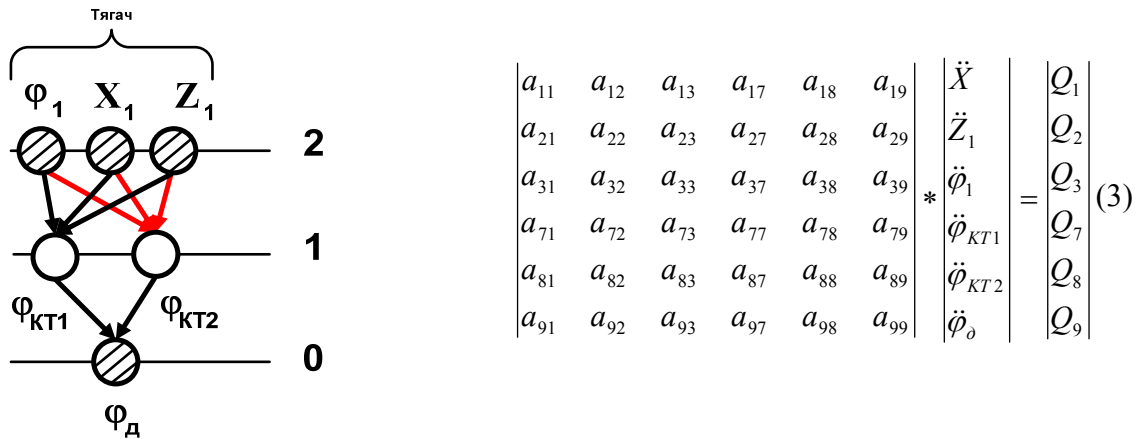


Рисунок 8 – Граф структури рівнів узагальнених координат та математична модель автономної роботи тягача РТЗ

Висновки. Запропонована методика створення математичних моделей з використанням графів необхідної складності дозволить швидко і якісно описувати фізичні процеси роботи розчленованих транспортних засобів із зчипними пристроями різної конструкції.

Список літератури: 1. Поляков В. М. Експериментальні дослідження маневреності автопоїзда з порушенням установки осей напівпричепа / В.М. Поляков, Г.М. Борисенко, М.І. Файчук // Вісник ЖДТУ. – 2011. – № 3 (58). – С.86–90. 2. Валекжанин А.И. Повышение маневренности движения мобильных машин / А.И. Валекжанин, В.И. Поддубный, А.С. Павлюк // Вестник Алтайского гос. аграр. ун-та. – 2009. – № 1 (51). – С. 52–55. 3. Лабзин В.А. Анализ криволинейного движения сочлененной гусеничной машины // В.А. Лабзин, В.Н. Невзоров, В.Н. Холопов // Вестник Красноярского гос. аграр. ун-та. – 2006. – №10. – С. 228–234. 4. Стельмащук В.В. Поліпшення показників керованості та стійкості триланкових автопоїздів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / Нац. трансп. ун-т – К., 2005. – 18 с. 5. Кравченко А.П. Влияние нарушений регулировки тормозных механизмов на эксплуатационную надежность автопоездов / А.П.Кравченко, А.В. Гогайзель, А.А. Глайборода // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля: Технічні науки. Серія Транспорт. Частина 2. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля. – 2003. – № 9 (67). – С. 131–135. 6. Кравченко А.П. Экспериментальные исследования управляемости автопоезда / А.П. Кравченко, В.М.Поляков // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля; Науковий журнал. Частина 2. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля. – 2004. – №8 (78). – С. 186–190. 7. Ясюкович Э. И. Моделирование курсового движения многозвеного автопоезда с жесткими колесами / Э. И.Ясюкович // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2010. – № 3(28). – С.24–32. 8. Дьяков И.Ф. АЧХ автомобиля с рессорной подвеской / И. Ф. Дьяков, Р. М. Садриев, С. Е. Миняков // Вестник Ульяновского гос. Техн. Ун-та. – 2002. – № 31. – С. 21–24. 9. Гамаюнов А. М. Улучшение динамики трогания и разгона тракторно-транспортного агрегата за счет совершенствования упруго-демпфирующего тягово-сцепного устройства. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.03 / СаратовГУ. – Саратов: 2008.– 16 с. 10. Шустов А. В. Математическое моделирование движения малотоннажного автопоезда по участку дороги со случайным профилем / А. В. Шустов, С. В. Ганзин, Ю. Я. Комаров, Е. Ю.Липатов // Известия ВОЛГГТУ. – 2003. – № 2. – С.64–68. 11. Пожбелко В.И. Структурный синтез и анализ механических систем произвольной структуры заданного уровня сложности / В.И.Пожбелко // Известия вузов. – М.: Машиностроение. – 2000. – №5-6. – С. 13–25. 12. Вульфсон И.И. Виброактивность приводов машин разветвленной и кольцевой структуры / И.И. Вульфсон. Под ред. К.М.

Рагульска // М: Машиноведение. – 1986. – 99с. **13.** Зінко Р.В. Графи структуры зв'язків узагальнених координат для автовантажотранспортувальних машин та методика побудови математичних моделей / Р.В. Зінко, І.С.Лозовий // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2001. – Випуск 1., – С. 29–33. **14.** Баженов Е. Е. Модульный принцип моделирования сочленённых машин двойного назначения. [Электронный ресурс] / Е. Е. Баженов // Наука и образование. – 2010. – №8. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/160532.html>. **15.** Лурье А. И. Аналитическая механика / Лурье А. И. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с. **16.** Lejda K. The research of functioning of dismembered transport vehicles / K. Lejda, R. Zinko, I. Lozovyj, A. Jaworski // Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska. – 2013, nr 4. – p. 105–116.

Bibliography (transliterated): **1.** Polyakov V.M. Experimental studies agility train in violation of the semtrailer axle setup / V.M. Polyakov, G.M. Borisenko, M.I. Faychuk // Bulletin ZSTU. - 2011. - № 3 (58). - P.86 -90. **2.** Valekzhanyan A.I. Povyshenye manevrennosti LVIV motion machines / A.I. Valekzhanyan, V.I. Poddubny, A.S. Pawluk // Journal of Altai State. agrarian. Zap. - 2009. - № 1 (51). - P. 52-55 . **3.** Labzyn VA Analysis kryvolynneynoho articulated motion husenychnoy mashyny // V.A. Labzyn, V.N. Nevzorov, V.N. Kholopov // Journal of Krasnoyarsk State. agrarian. Zap. - 2006. - № 10. - P. 228-234. **4.** Stelmaschuk V.V. Improvements in handling and stability of the three-tier trains: Author. di candidate. Sc. sciences: 05.22.02 / Nat. transp. Univ - K., 2005. - 18 p. **5.** Kravchenko A.P. Effect of violations tormoznyh Adjustment mechanisms for ekspluatatsyonnyu reliability of avtopoezdov / A.P. Kravchenko, A.V. Hohayzel, A.A. Hlayboroda // Journal of East-Ukrainian National University. Dal: Engineering. Transport Series. Part 2. - Lugansk: EUNU. Dal. - 2003. - № 9 (67). - P. 131-135. **6.** Kravchenko A.P. Experimental Studies upravlyaemosti avtopoezda / A.P. Kravchenko, V.M.mPolyakov // Journal of East-Ukrainian National University. Dal; Science magazine. Part 2. - Lugansk: EUNU. Dal. - 2004. - № 8 (78). - P. 186-190. **7.** Yasyukovych E.I. Modeling the course of motion mnohozvennoho avtopoezda with zhestkymy wheels / E.Y.Yasyukovych // Journal of Belarusian-Russian University. - 2010. - № 3 (28). - P.24 -32. **8.** Dyakov Y.F. АСНН cars with ressonoy pendant / I. F. Diakov, R.M. Sadryev, S.E. Mynyakov // Journal of Ulyanovsk State. Tekhnichna. Vestnik Moskov. - 2002. - № 31. - P. 21-24. **9.** Hamayunov A.M. Improvement speakers trohanyya and razhona tractor transport aggregate for Improvement Account elastic - dempfyruyusheho stepnoho traction device. Author. dicandidate. Sc. sciences: 05.20.03 / SaratovTU. - Saratov: 2008. - 16 p. **10.** Shustov A.V. Matematycheskoe modeling motion tonnage avtopoezda land on the road со sluchaunym Profiles / A. V. Shustov, S.V. Hanzyn , Y.Y. Komarov, E. Yu. Lypatov // Proceedings VOLHHTU . - 2003. - № 2. - P.64 -68. **11.** Pozhbelko V.I. Strukturnyy synthesis and analysis of an arbitrary structure mehanychnyh setting urovnja complexity / V.Y.Pozhbelko // Proceedings of universities. - Moscow: Mashinostroenie . - 2000. - № 5-6. - P. 13-25. **12.** Vulfson I.I. Vybroaktyvnost pryvodov machines razvetvlennoy and koltsevoy structure / II Vulfson . Ed. K.M. Rahulskysa // М: Mashynovedenye . - 1986. - 99s. **13.** Zinko R.V. Counts structure of relations of generalized coordinates for автовантажотранспортувальних machine and method of constructing mathematical models / RV Zinko , I.C.Lozyvy // Herald of the Technological University of skirts. - 2001. - Issue 1., - P. 29-33 . **14.** Bazhenov E.E. Modulnyy principle modeling sochlenённых cars double-purpose. [Electronic resource] / E.E. Bazhenov // Science and education. - 2010. - № 8. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/160532.html>. **15.** Lurie A.I. Analytycheskaya mechanics / A.I. Lurie - Moscow: Fyzmathyz , 1961. - 824 s. **16.** Lejda K. The research of functioning of dismembered transport vehicles / K. Lejda, R. Zinko, I. Lozovyj, A. Jaworski // Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport. - Rzeszow: Politechnika Rzeszowska. - 2013 , nr 4. - P. 105-116 .

Надійшла (received) 04.03.2014