



Кузьо І. В.

Зінько Р. В.

Національний
університет
"Львівська
політехніка"

УДК 629.01

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РОЗЧЛЕНОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Предложено улучшить работу транспортных средств путем разчленения их основных масс тягово-цепными устройствами. В конструкции тягово-цепных устройств совмещено поступательная и вращательная кинематические пары. Проведен ограниченный натурный и расширенный компьютерный эксперименты, которые показали эффективность предложенного конструкторского решения.

It is suggested to improve work of transport vehicles the way of разчленування them basic the masses by hauling-couplings devices with the subsequent coarticulation of these masses. In the construction of hauling-couplings devices it is combined forward and rotatory kinematics pair. The limited model is conducted and the computer is extended experiments which led to efficiency of the offered designer solution.

Вступ. Підвищення ефективності використання машин вимагає більш раціонального підходу до їх роботи в технологічних циклах. Одним з напрямків реалізації такого підходу є розчленування основної маси машини на складові частини з подальшим зчепленням їх певними способами. Подібний підхід підвищення ефективності роботи використовується в залізничних перевезеннях. Тепловоз, перш ніж зрушити рухомий склад вагонів, рухається назад і ліквідує зазори в зчіпках вагонів в протилежному рухові напрямку. Далі тепловоз рушає в напрямку руху і послідовно приводить у рух кожен наступний вагон окремо завдяки наявності зазору зчіпки. При такому способі рушання тепловозу потрібна потужність для рушання одного вагона, а не цілого рухомого складу.

При створенні нових зразків машин доцільно використовувати математичні моделі роботи таких машин, що дозволяє ощадливо використовувати ресурси і час оскільки нема потреби виготовляти експериментальні зразки з метою перевірки роботи окремих елементів чи агрегатів нових машин. Проведення комп'ютерного експерименту дає можливість повніше дослідити особливості роботи проектованої машини. Разом з тим для проведення комп'ютерних експериментів потрібні відповідного рівня та якості

математичні моделі роботи машин, що проектується.

Аналіз останніх досліджень.

Програмне середовище CRUISE [1] дозволяє моделювати різні режими руху автомобілів з різним конструктивними схемами трансмісії. Для роботи таких програм достатньо процесора класу Pentium.

NEWEUL 83 [2] (для здійснення математичного моделювання зі змінами степенів вільності елементів системи і характеристик нелінійності); DYNA 3D [3], PAM-CRASH [4] і RADIOSS [5] (для дослідження коливань автомобіля, безпеки і структурної оптимізації); OPTIM [6] (для дослідження стійкості та керованості руху автомобіля чи автопоїзда); для вирішення різних питань динаміки та динамічного аналізу конструкції колісної системи використовують різноманітні програмні продукти – пакети завершеного елементного аналізу (Ansys, Nastran), або пакети аналізу кінематики механізмів (Adams), широко застосовують також продукти IMITA, COMPACT, Design Studio, Unigraphics, Most-7.2, EULER та інші [6-8].

Разом з тим, у програмних середовищах можна досліджувати типові режими чи процеси. У випадку нових зразків техніки знову ж таки потрібно в них закладати нові математичні моделі, що відповідають новому продукту. Вибір рівня точності та деталізації описуваних процесів залишається актуальною проблемою.



Мета статті. Дослідити роботу транспортної машини у випадку розчленування її основних мас.

Основний матеріал.

На основі проведеного огляду можливих варіантів розчленування основних мас транспортних машин [9] можна запропонувати такі способи покращення характеристик їх динаміки (рис. 1).

Прикладом розчленування обертових мас є механічна трансмісія автомобіля. При рушанні за допомогою зчеплення двигун відділяється від приводу і тільки, коли він починає працювати в усталеному режимі, поступово приєднується до трансмісії.

У випадку розчленування мас в поступальному русі способом накладання пропонується ідея розбиття маси автомобіля і його кузова з вантажем на окремі пружно-зчленовані елементи [9,10] послідовно, коли вантажі на кузові пружно з'єднані між собою а потім з корпусом автомобіля або, коли кожен

вантаж безпосередньо зчленований з корпусом. При каскадному розчленуванні кузов пружно зчленований з корпусом, а вантажі – з кузовом.

У випадку розчленування мас в поступальному русі способом поєднання пропонується використовувати ідею розбиття загальної маси транспортного засобу на окремі пружно зчленовані маси але як окремі частини або секції. Прикладом може бути пружне зчеплення автотягача з причепом або напівприцепом за допомогою (ТЗП), який складається з поступальної пари та пари обертання [11]. На рис. 2-4 наведені приклади тягово-зчіпних пристроїв (ТЗП), в яких об'єднують поступальні та обертальні кінематичні пари. Так на рис. 2 показано ТЗП автопоїзда з причепом, на рис. 2 – з напівприцепом, на рис. 3 – один з варіантів ТЗП для багатосекційних автобусів, тролейбусів, трамваїв, вагонів метро.

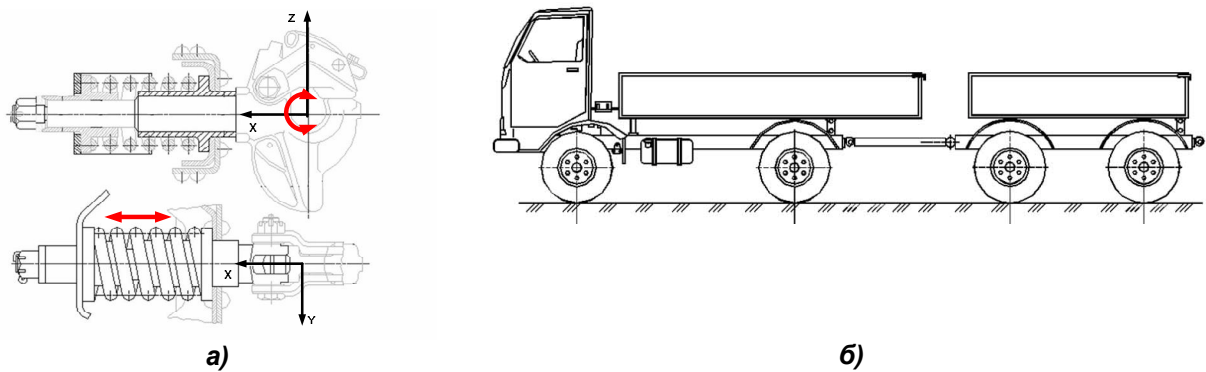


Рис. 2. ТЗП (а) автомобіля з причепом (б) дозволяє поступальний рух відносно поздовжньої осі X та обертальний рух відносно осі Y [11]

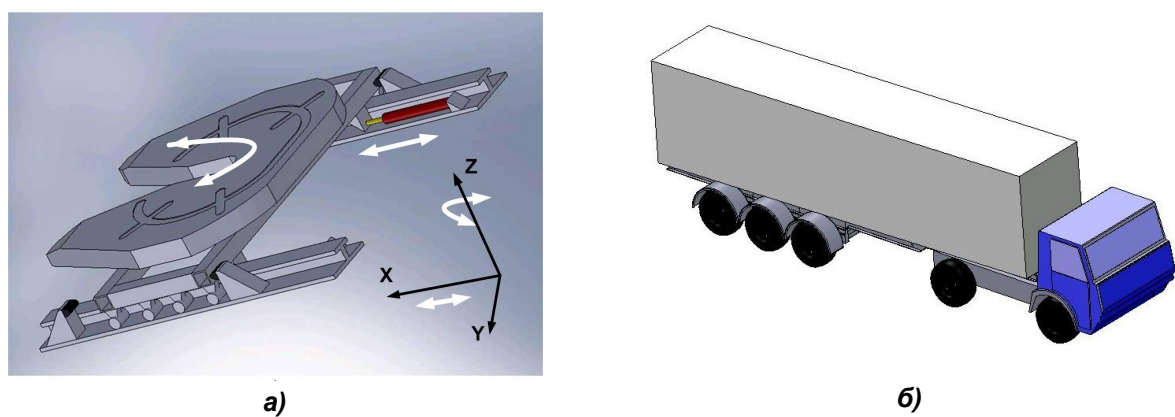
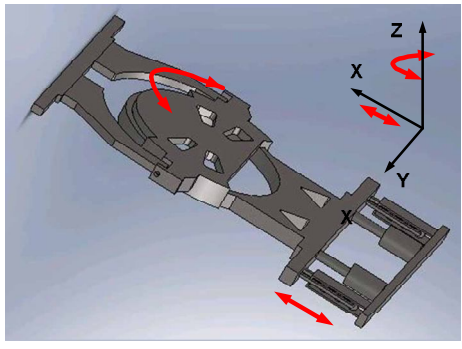


Рис. 3. ТЗП (а) автомобіля з напівприцепом (б) дозволяє поступальний рух відносно поздовжньої осі X та обертальний рух відносно осі Z



а)



б)

Рис. 4. ТЗП (а) двосекційного тролейбуса (б) дозволяє поступальний рух відносно поздовжньої осі X та обертальний рух відносно осі Z

Були розроблені математичні моделі руху автотранспортних засобів, з'єднаних за допомогою ТЗП, показано на рис. 5. В цих моделях враховувалися характеристики їх

силових агрегатів, профіль дороги, параметри вантажів, що транспортуються, та характеристики їх ТЗП.

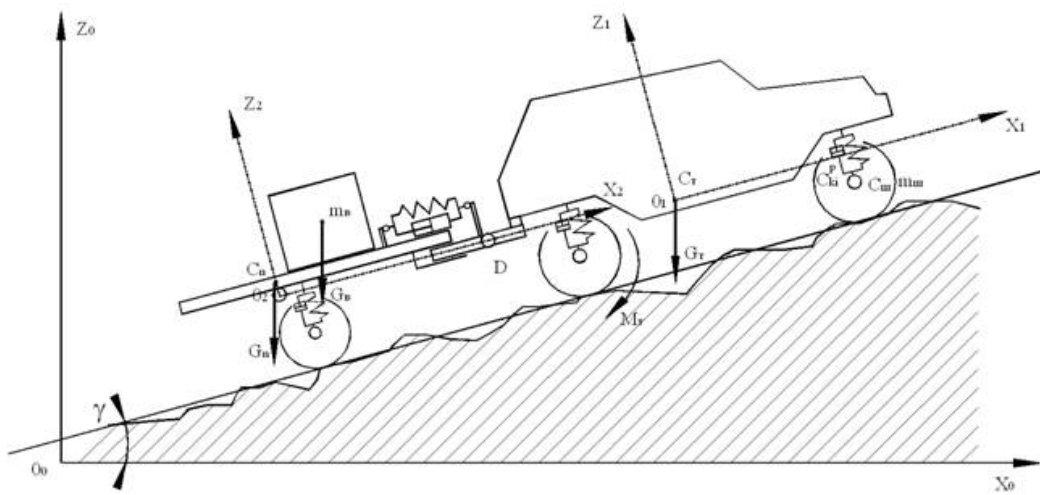


Рис. 5. Розрахункова схема легкового автомобіля зчленованого з причепом

Математичне моделювання виконувалося з використанням плоских розрахункових схем, одна з яких представлена на рис.5, та загальноприйнятих для дослідження функціонування транспортних машин припущень:

1. Автотранспортний засіб з кузовом, вантажі – жорсткі інерційні тіла;
2. Інерційність елементів ходової частини автотранспортного засобу в їх відносному обертальному русі приведена до тягових коліс і розподілена пропорційно до розподілу між ними крутного моменту від приводного двигуна;
3. Колеса мають тангенціальну та радіальну податливість;
4. Обмежуючі дослідження невстановленого руху автотранспортного

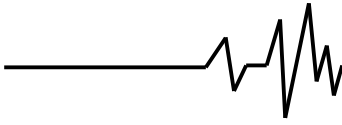
засобу випадком його прямолінійного руху, тобто руху у вертикальній площині, розрахункову схему вважаємо плоскою;

5. Двигун привода має ідеальну зовнішню механічну характеристику (тобто потужність двигуна – стала величина в робочому діапазоні кутів швидкостей його колінчатого вала).

Для запису рівнянь руху інерційних елементів розрахункової схеми транспортного засобу використовувалося загальне рівняння динаміки механічних системи У формі рівняння Лагранжа II-го роду [12]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i \quad i = 1 \dots n,$$

де T – сумарна кінетична енергія інерційних елементів механічної системи;



q_i, \dot{q}_i – i -та узагальнена координата та швидкість її зміни в часі;
 Q_i – i -та узагальнена сила;
 n – кількість ступенів вільності механічної системи.

Математичні моделі роботи транспортних засобів, що показані на рис. 2-4, представляють собою системи звичайних диференціальних рівнянь другого порядку. В математичні моделі додатково до невідомих узагальнених координат та їх похідних за часом входять відомими параметрами та заданими функціями:

1) геометричні характеристики транспортного засобу: положення центрів мас тягача, напівпричепа (причепа), вантажів; розташування опор шасі тягача та рами напівпричепа; координати центра шарніра, що

з'єднує напівпричіп (причепа) з тягачем, розміри у вільному стані пружних опор тягача та напівпричепа;

2) інерційні характеристики транспортного засобу: маси та моменту інерції тягача, напівпричепа (причепа), вантажів, ведучих коліс разом з частиною трансмісії;

3) пружні та демпфуючі властивості опор транспортного засобу: тягача та напівпричепа (причепа);

4) механічні характеристики приводу двигуна та гальм коліс транспортного засобу;

5) геометричні характеристики дороги та якість її покриття.

Визначення необхідних для математичної моделі експлуатаційних характеристик автомобіля з причепом виконувалося експериментально (рис.6).



Рис. 6. Експериментальні дослідження експлуатаційних характеристик легкового автомобіля для комп'ютерного моделювання його роботи з причепом

Перелічені відомі параметри та задані функції дозволяють стверджувати, що побудована математичні моделі дозволяють досліджувати широке коло задач динаміки розгону, прямолінійного неусталеного руху та гальмування транспортних засобів наведених на рис.2-4, дорогами різноманітного профілю та якості їх покриття, для чого відповідним чином вибираються початкові значення узагальнених координат.

Перевірку адекватності розроблених математичних моделей було виконано для однієї з них шляхом натурального експерименту за допомогою пристрою Datron DLS-2 для вимірювання відстані та швидкості руху транспортних засобів.

Аналіз отриманих результатів.

Математичне моделювання проводилося для системи легкового автомобіля VW Golf 4 з

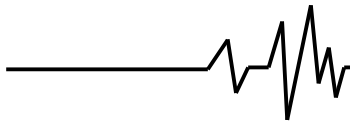
причепом за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MathCAD 2001 [13]. Розв'язок системи диференціальних рівнянь отримано методом Рунге-Кутти з адаптивним вибором кроку (вбудована функція Rkadapt).

Співставлення результатів натурального експерименту і комп'ютерного моделювання давали похибку до 30%. В цілому відхилення результатів математичного моделювання складало до 23%.

Як один з елементів комп'ютерного моделювання прораховувався варіант переїзду автомобіля через перешкоду типу "сходінка".

Залежність від часу t сил $p_i(t)$, що діють на ланки автомобіль і причеп може бути записана аналітично у вигляді

$$p_i(t) = m_i g \cdot \left[H\left(t - \frac{B_0}{v}\right) H\left(\frac{B_0}{v} + \tau - t\right) + H\left(t - \frac{B_1}{v} - \tau\right) H\left(\frac{B_1}{v} + 2\tau - t\right) \right] \quad (2)$$



де m_i — маси ланок; τ — час переїзду
одиначної перешкоди; матриця B задає
довжини елементів легкового автомобіля

зчленованого з причепом (див. рис.6); g —
прискорення вільного падіння; $H(x)$ — функція
Хевісайда, визначена звичайним чином.

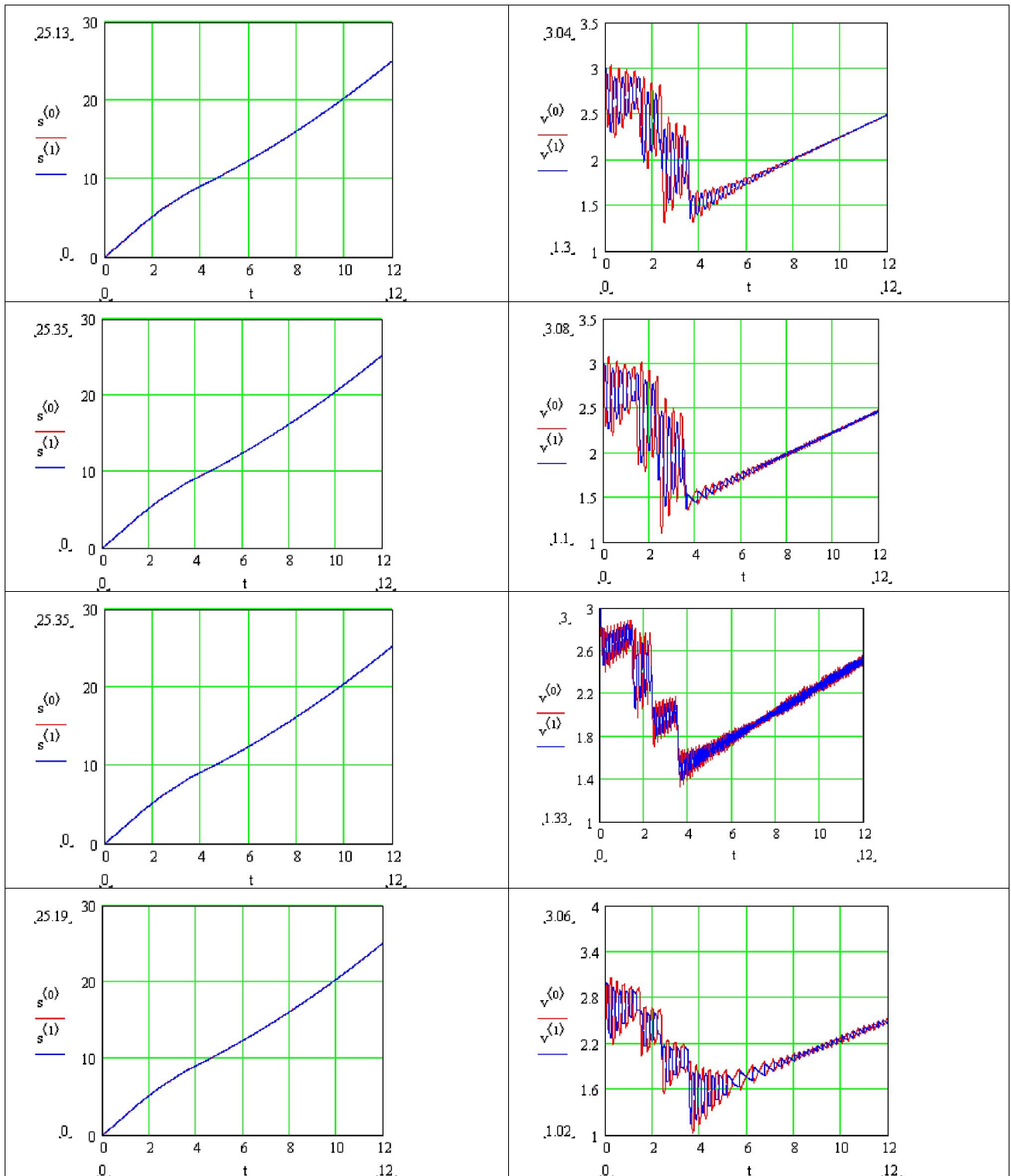


Рис. 7. Графіки залежностей пройденого шляху s , м (зліва) та швидкостей (справа) v , м/с обох ланок «автомобіль-причеп» як функції часу t

$a = 0, b = 0$

$a = 0.02, b = 0$

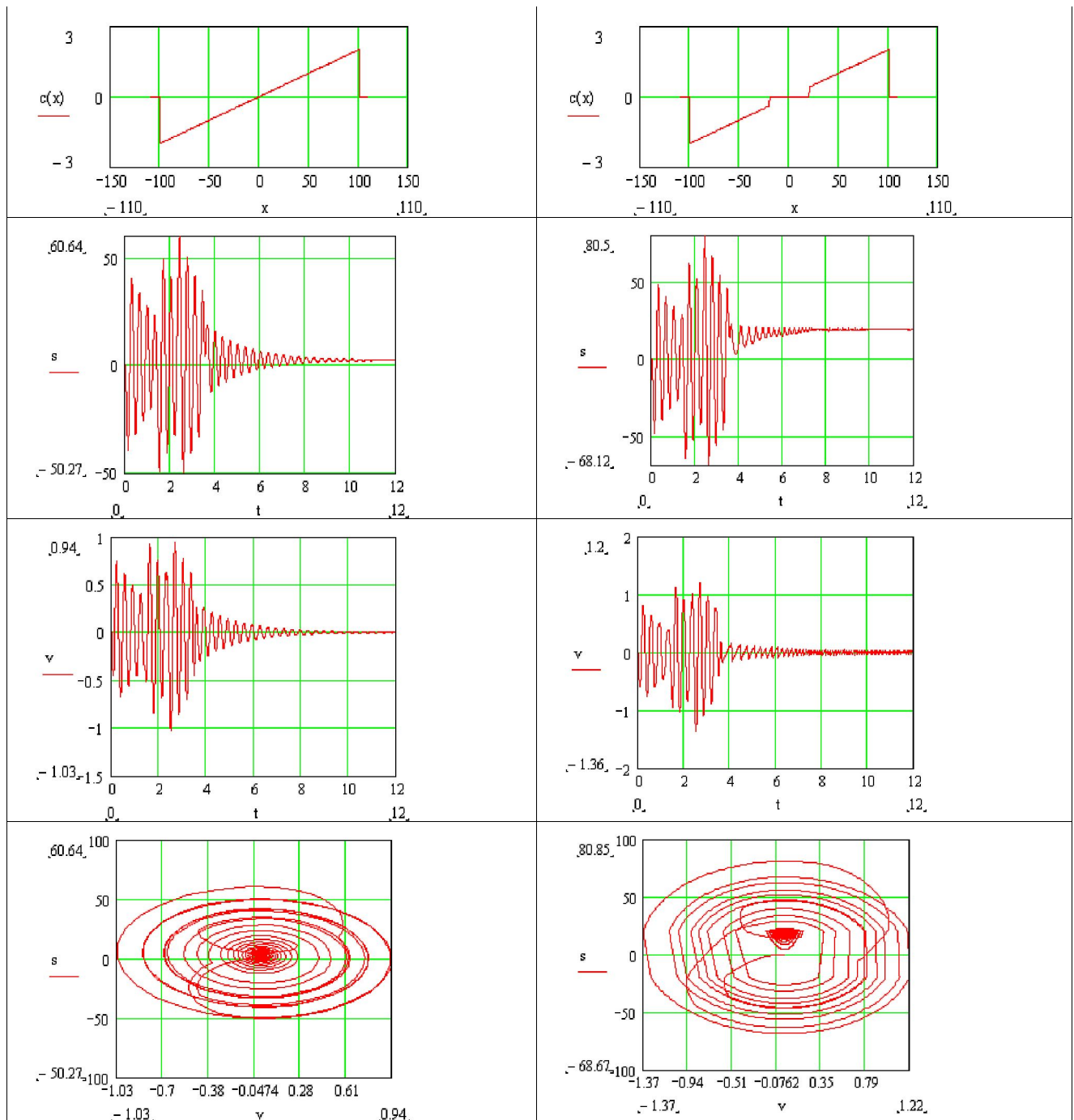
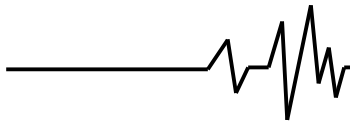


Рис. 8. Згори вниз:

залежність пружної характеристики від зміщення x , мм;

залежність відносного переміщення ланок «автомобіль-прицеп» s , м від часу t , с;

залежність відносної швидкості ланок «автомобіль-прицеп» v , м/с від часу t , с;

залежність відносної швидкості від відносного переміщення (фазова діаграма)

$$a = 0, b = 0.02$$

$$a = 0.02, b = 0.02$$

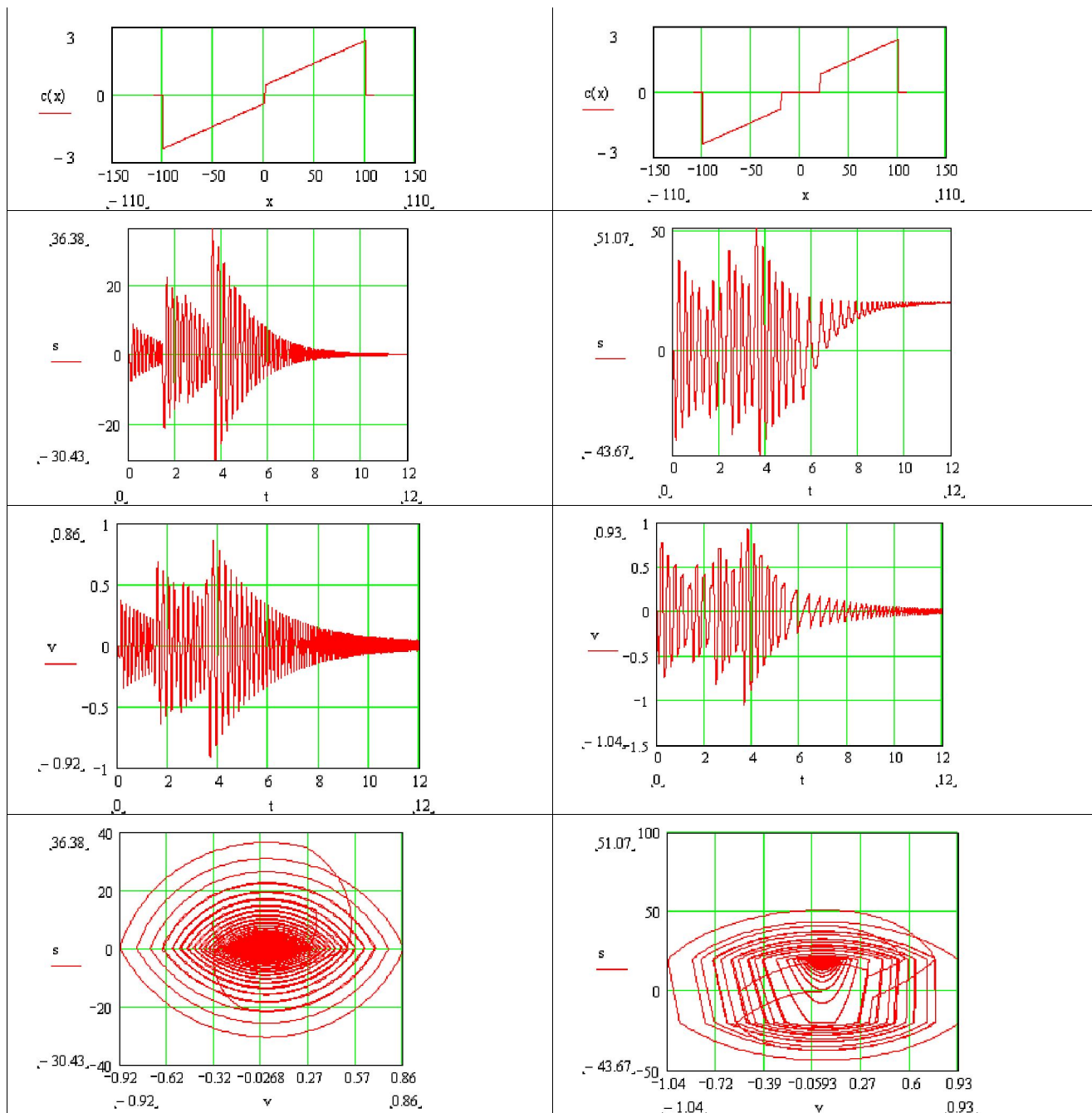
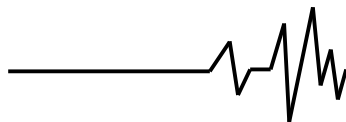
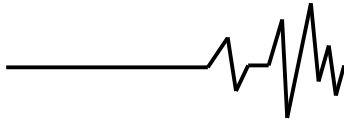


Рис. 8 (продовження). Згори вниз:

- залежність пружної характеристики $c(x)$ від зміщення x , мм;
- залежність відносного переміщення ланок «автомобіль-причеп» s , м від часу t , с;
- залежність відносної швидкості ланок «автомобіль-причеп» v , м/с від часу t , с;
- залежність відносної швидкості від відносного переміщення (фазова діаграма)

Для дослідження динамічних властивостей системи в залежності від пружної характеристики зчпного пристрою $c(s)$ варіювалось значення параметрів a (величина попереднього підтискання) і b (величина зазору).

У разі лінійної характеристики пружного елемента (рис. 7а, 8а, $a = 0$, $b = 0$) власні коливання відбуваються з постійною частотою, амплітуди коливань не впливають на величину власних частот; власні частоти залежать тільки від коефіцієнту пружності C і приведеної маси



автомобіля і причепа $\frac{m_0 m_1}{m_0 + m_1}$ [11]. Тертя в ТЗП може незначно зменшувати частоту поздовжніх коливань ланок «автомобіль-причеп», однак експоненційно зменшує їх амплітуду.

Висновки. Спосіб розчленування основної маси транспортних засобів не тільки зменшує максимальну потужність, необхідну при рушанні чи гальмуванні в процесі руху. Він також дозволяє зменшити пікові динамічні навантаження в трансмісії, понизити вібронавантаженість, підвищити плавність руху і, відповідно, комфортабельність, довговічність та надійність машин. Покращення цих показників можливе при виборі і забезпеченні відповідних законів руху розчленованих мас.

Література

1. https://www.avl.com/c/document_library/. Перевірено 11.17.2011.
2. Neweul-M2. Symbolic multibody simulation in Matlab. http://www.itm.uni-stuttgart.de/research/neweul/media/Neweulm2_Manual.pdf Перевірено 10.12.2011.
3. DYNA3D. https://www-eng.llnl.gov/mdg/mdg_codes_dyna3d.html. Перевірено 10.12.2011.
4. Ram-Crash. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ram-Crash>. Перевірено 10.12.2011.
5. RADIOSS 9.0 – HyperCrash 9.0 – Analysis Set Up. <http://www.altairuniversity.com/2011/04/15/radioss-9-0-hypercrash-9-0-%E2%80%93-analysis-set-up-tutorial/>. Перевірено 10.12.2011.
6. Georg R. Vehicle modeling by subsystems // J. Braz. Soc. Mech. Sci&Eng. – 2006. – vol. 24, № 4 – P. 430-442.
7. Горобцов А. С. Комплекс ФРУНД – инструмент исследования динамики автомобиля / А. С. Горобцов, С. К. Карцов, Р. П. Кушвид // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 4. – С. 27-28.
8. Возможные области применения EULER. <http://www.euler.ru/index.php/praxis>. Перевірено 10.12.2011.
9. Альгин В. Б., Павловский В. Я., Поддубко С. Н. Динамика трансмиссии автомобиля и трактора / В. Б. Альгин, В. Я. Павловский, С. Н. Поддубко.; под ред. И. С. Цитовича. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 214 с.
10. Черевко Ю. М., Королевич Л. М., Зінько Р. В. Экспериментальне дослідження характеристик автомобіля з пружно-демпфуючою системою // Вісник ДІАТ. – 2008. – № 4. – С. 56-64.
11. Библиук. Н. І., Зінько Р. В., Дадак Р. М., Маковейчук О. М. Залежність динамічних властивостей дволанкового автопотяга від пружної характеристики зчпного пристрою. // Науковий вісник НЛТУУ: збірник науково-технічних праць. – Львів: НЛТУУ. – 2005, вип. 15.4. С. 90–95.
12. І. В. Кузьо, І. П. Смерека, Т.-Н. М. Ванькович, Я. А. Зінько. Теоретична механіка. Основні теореми динаміки. Навчальний посібник. Львів, НУ “ЛП”, 2005, – 188 с
13. Mathcad. <http://www.mathcad.com.ua/>. Перевірено 11.12.2011.