

УДК 629.113/.115:519.8

Ю.М. Черевко¹, І.А. Вікович², М.І. Черевко¹

¹Львівський інститут Сухопутних військ Національного університету „Львівська політехніка”, Львів

²Національний університет „Львівська політехніка”, Львів

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З НАКОПИЧУВАЛЬНО ПРУЖНО-ДЕМПФУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Визначено головні критеріальні показники ефективності функціонування механічних систем та запропоновано математичні моделі функціонування механічних систем. Надана методика побудови математичних моделей функціонування МС з накопичувально пружно-демпфуючими елементами.

механічні системи, демпфуючі елементи, графи структур зв'язків, узагальнені координати, динамічні навантаження

Вступ

Аналіз літератури та постановка проблеми.

Огляд механічних систем з накопичувально пружно-демпфуючими елементами показує, що низькочастотні коливання (до 12 – 15 Гц) негативно впливають на довговічність та ефективність роботи вузлів та деталей трансмісії найрізноманітніших робочих машин. Технічні рішення базуються, як правило, на використанні спеціальних демпферів і пружних або фрикційних муфт, які забезпечують підвищене розсіювання енергії коливань. При цьому спеціальні елементи включені безпосередньо в кінематичні ланцюги трансмісії [1] або використовуються реактивні контури трансмісії – підвіски її агрегатів [2, 3].

Поступальний рух системи мас машини на характерних робочих режимах (рушання, переключення передач, рух по дорозі з нерівностями) значно впливає на рівень низько-частотного динамічного навантаження трансмісії. Тому використання подовжніх пружних і дисипативних елементів у ходовій частині автомобіля може істотно зменшити інтенсивність низькочастотних коливань. Експериментальні результати [4] підтверджують можливість застосування вбудованих у підвіску ведучого моста подовжніх пружних елементів, що передають штовхильні зусилля від ведучих коліс на раму. Однак ефективність даного технічного рішення істотно знижується обмеженістю переміщення ведучого моста щодо рами через втрату стійкості автомобіля вже на середніх швидкостях руху.

Крім застосування спеціальних пружних і дисипативних елементів, додатковий ефект при зниженні динамічних навантажень у трансмісії може бути отриманий за рахунок розчленування найбільшої інерційної ланки динамічної схеми машинного агрегату.

Найбільшою інерційною ланкою в автомобілі є поступально-рухома маса машини. У цьому випадку

подовжні пружні і дисипативні елементи стосовно вантажного автомобіля доцільно розташовувати між кузовом (вантажною платформою) і рамою [5].

Для підтвердження цього рішення необхідно визначити ефективність даної технічної пропозиції шляхом зіставлення динамічних характеристик трансмісії автомобіля з подовжньорушливим і звичайним жорстким кріпленням кузова.

Для визначення ефективності конкретної групи механічних систем з накопичувально пружно-демпфованими елементами (надалі МС) пропонується розглянути закономірності співвідношень наборів властивостей середовища і машини. Такий підхід дозволить визначити чинники, які найбільше впливають на ефективність функціонування машини, і розробити конструктивні заходи, що підвищують ефективність її конкретного представника.

З огляду літератури визначені головні критеріальні показники ефективності функціонування МС: продуктивність та витрата палива в робочих циклах, а також плавність руху, які показують взаємозв'язок між ефективністю функціонування МС, працездатністю водія і незруйнованістю вантажу.

Існуючі методики визначення критеріальних показників базуються на використанні тестових випробувань [6], а теоретичні, як правило, громіздкі і неточні.

Запропоновані математичні моделі функціонування МС та файли документів з програмами для їх комп'ютерної реалізації створюють можливість визначення цих показників не тільки в робочому циклі, а навіть і для елементів операцій. Це дозволяє оцінювати і порівнювати ефективності функціонування МС різних груп.

Розрахунок витрати пального за допомогою розроблених програм відрізняється від загальноприйнятих методик тим, що в них визначають кількість палива, яку безпосередньо використовують для виконання заданої роботи. Це досягається

шляхом розбиття часу, необхідного на виконання заданої роботи, на елементарні проміжки, підрахунку роботи, яку виконує двигун на кожному з цих проміжків із наступним їх підсумовуванням. Крім загальноприйнятих критеріїв, при дослідженні роботи МС використовуються поняття “робота” та “витрата палива”, котрі необхідні для здійснення операції. Використання цих понять дозволить повніше дослідити протікання робочих циклів МС.

Плавність руху дозволяє оцінювати вплив вібраційних коливань на водія і на вантаж. На кожному елементарному проміжку часу визначається величина віброприскорення і порівнюється з максимальним значенням її на попередніх проміжках часу. Якщо нове значення виявляється більшим за попереднє, воно перезаписується на його місце. У кінці часу, що досліджується, максимальне значення вібронавантаженості порівнюється з допустимим [7].

Розроблені моделі функціонування МС дозволяють застосовувати й інші критерії оцінки. Так, наприклад, для визначення техніко-економічного ефекту від використання автонавантажувача використовується собівартість переробки тонни вантажу:

$$V_{\Sigma} = V_{\text{ПАЛИВА}} + V_{\text{ЗАРПЛАТА}} + V_{\text{НАКЛАДНІ}},$$

де $V_{\text{ПАЛИВА}}$ – затрати на паливо; $V_{\text{ЗАРПЛАТА}}$ – затрати на зарплату; $V_{\text{НАКЛАДНІ}}$ – інші затрати.

Як зазначено вище, використання графів достатньо ефективно для аналізу і класифікації МС за структурно-конструктивними ознаками. Тому в роботі, за аналогією з [7], використовуються графи і для моделювання внутрішніх зв’язків між узагальненими координатами моделей функціонування МС.

Розглянемо плоскі конструктивні схеми МС. Для цього використаємо графи структур плоских конструктивних схем, в яких ланка машини відображається колом, а кінематичний зв’язок між двома ланками – прямою або хвилястою лінією. Пряма лінія – жорсткий зв’язок між двома ланками, хвиляста – пружний зв’язок. Пружний зв’язок із стрілкою – активний пружний зв’язок, при якому можуть змінюватися кутові або лінійні відстані між ланками.

Структури плоских конструктивних схем МС можна розділити на шість груп за критерієм подібності графів структури. Як і у [8], два графи структури будемо вважати подібними, якщо відсутня різниця в їх побудові або ця різниця вважається елементарною.

Надалі, опускаючи всі можливі деталі конструкції МС, зупинимось на моделюванні зв’язків між узагальненими координатами лише для шести типів МС (табл. 1), що представлені подібними графами структури конструктивних схем (табл. 2, подібність графів зменшується від позначки (а)), використовуючи графи структури зв’язків узагальнених координат [9, 10]).

Таблиця 1

Класифікація конструктивних схем МС за критерієм подібного графа структури

Типи подібних графів	1	2	3	4	5	6
Варіанти подібних графів структур	а	а	а	а	а	а
				б	б	б
				в	в	в
				г		г

Таблиця 2

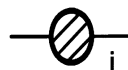
Варіанти подібних графів структур зв’язків координат за критерієм кількості узагальнених координат першого рівня

Кількість координат 1-го рівня				
2	1			
	Одна ведуча вісь		Повнопривідні	
	Не розгалужені	Розгалужені з 1 рівня	Не розгалужені	Розгалужені з 1 рівня
1а	2а			
	4а	4г		6а
	4б	5б	3а	6б
	4в	5в	6г	6в
	5а			

Під графом структури зв’язків узагальнених координат математичних моделей розуміємо такий граф, який показує перелік узагальнених координат у математичних моделях та зв’язки між ними.

Під графом структури зв’язків узагальнених координат математичних моделей розуміємо такий граф, який показує перелік узагальнених координат у математичних моделях та зв’язки між ними.

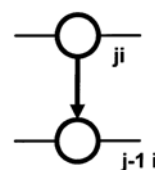
Для відображення рівня залежностей одних узагальнених координат від інших ці координати розміщуються за рівнями залежності і позначаються послідовно вгору, починаючи з нульового з використанням позначень:



– і-та узагальнених координат 0-го рівня, що відповідає абсолютній координаті;



– і-та узагальнених координат j-го рівня;



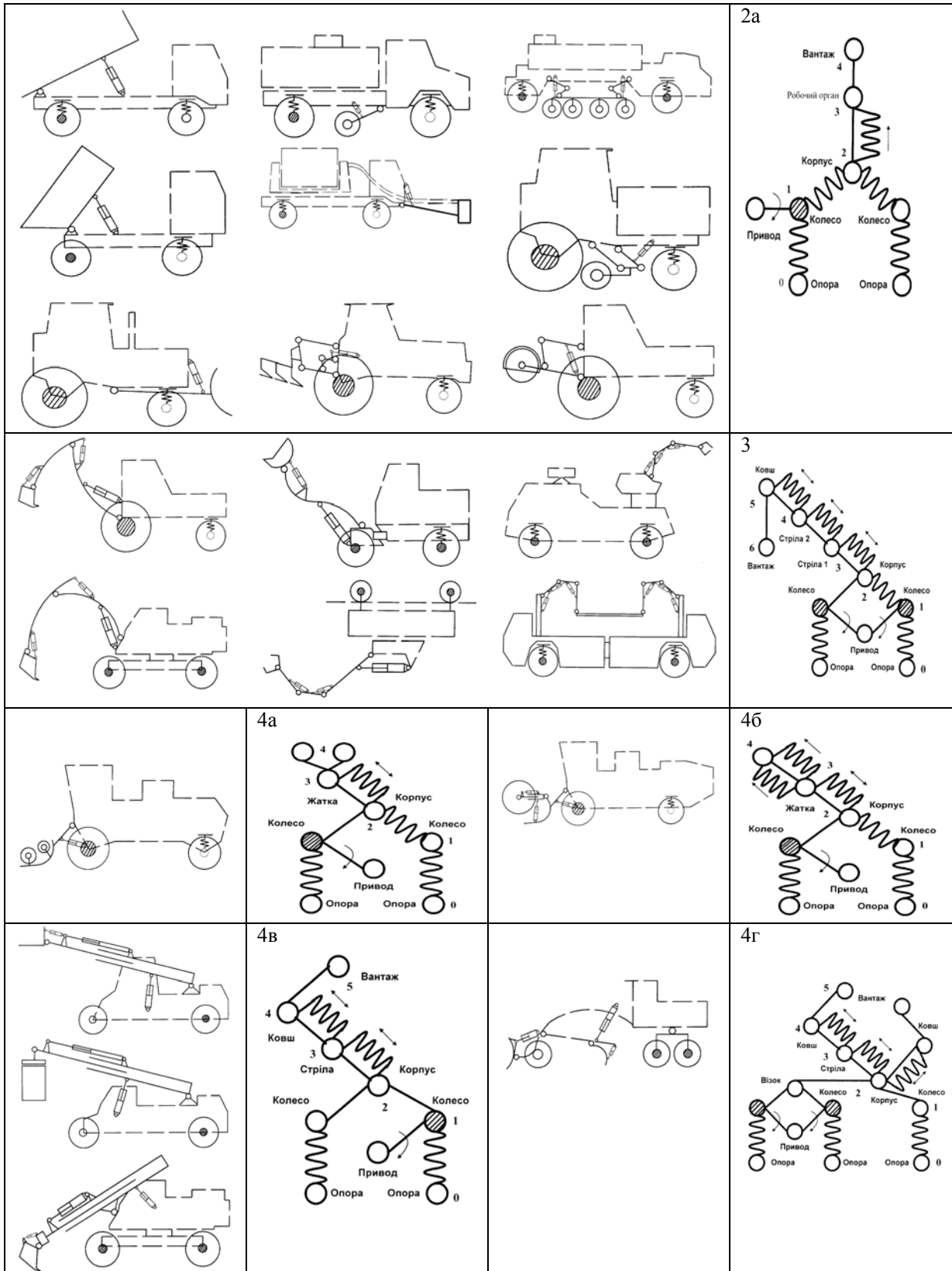
– підпорядкований зв’язок (напрямок підпорядкування узагальнених координат показує стрілка: і-та координата j-го рівня залежності підпорядкована і-й (j-1)-го рівня залежності).

Аналізуючи будову графів структур зв'язків координат, їх можна розділити на два типи за ознакою кількості координат на j -му рівні залежності. Для прикладу наведено класифікацію графів струк-

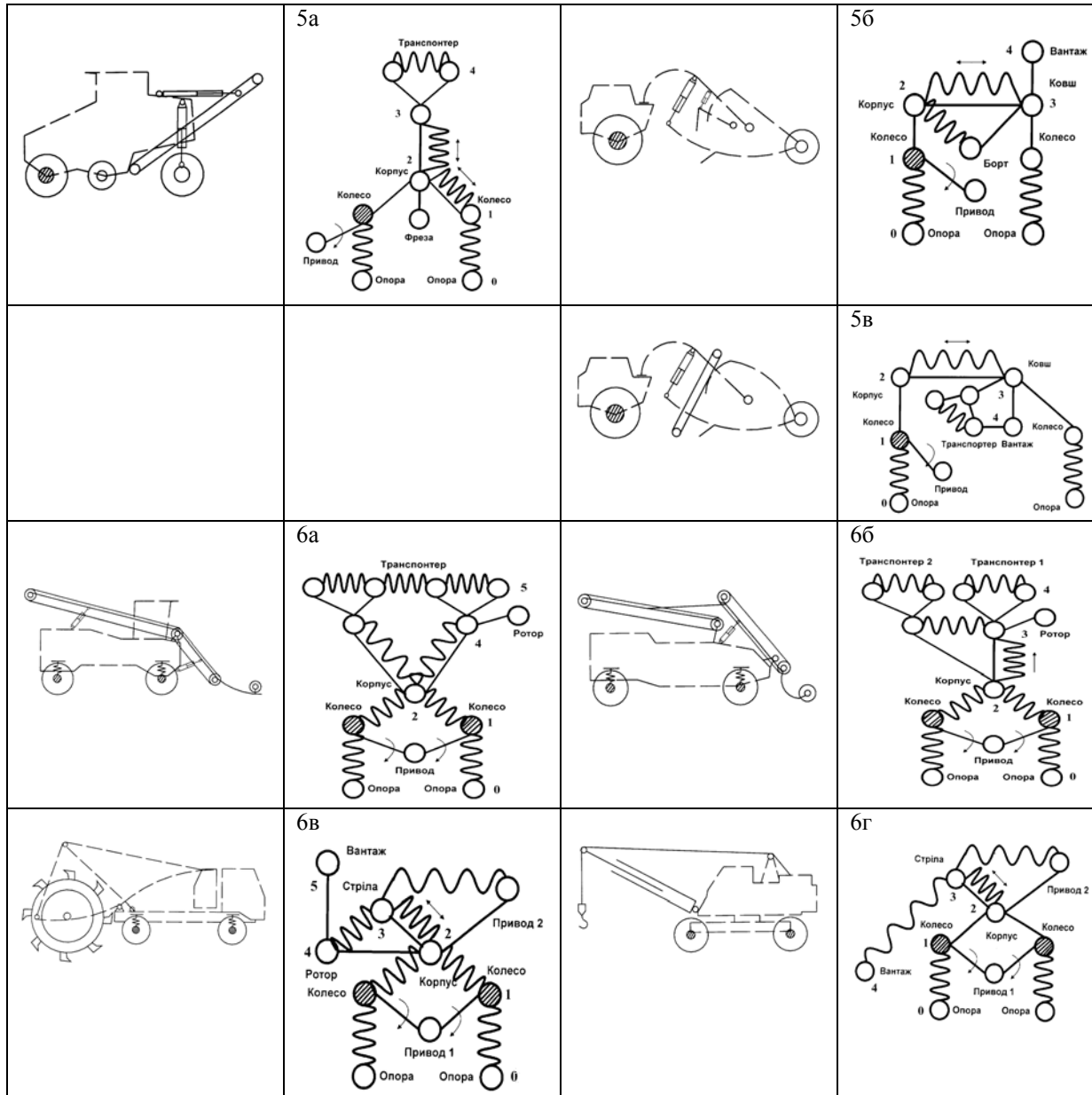
тури зв'язків координат (табл. 3) за критерієм кількості координат першого рівня залежності та граф структури зв'язків узагальнених координат у моделі 2 а функціонування МС (рис. 1).

Таблиця 3

Приклад класифікації конструктивних схем МС за критерієм подібного графа структури (у розгорнутому вигляді)



Продовження табл. 3



Графи структури зв'язків узагальнених координат МС відрізняються між собою такими параметрами:

- кількістю координат нульового рівня, що обумовлено кількістю ведучих коліс та приводів виконавчих механізмів;

- наявністю чи відсутністю розгалужень на рівнях залежностей вище першого;

- кількістю рівнів залежностей, що обумовлено складністю виконавчих механізмів.

Спільним для цих графів є одна узагальнена координата на першому рівні залежності, а саме координата відносного повороту корпусу МС у вертикальній площині. Представлення зв'язків координат у вигляді графів дозволяє з'ясувати взаємовплив роботи елементів МС і будувати моделі з урахуванням цих зв'язків. Крім того, графи зв'язків дозволя-

ють однозначно визначити необхідну кількість і перелік узагальнених координат, які потрібні для розв'язання конкретної задачі.

Розглянемо приклади використання графів структур зв'язків координат для ілюстрації їх побудови та зв'язків між координатами в самому графі.

Для транспортного засобу із задніми ведучими колесами граф структури зв'язків координат показано на рис. 2, а. Якщо задачею моделювання передбачено вивчення вібрацій сидіння водія, то граф матиме вигляд, наведений на рис. 2, б.

З іншого боку, за графами можна перевірити правильність запису других похідних у системі рівнянь математичних моделей. Як приклад, розглянемо вертикальні коливання автовантажувача [11], початок координат, переміщення якого задано двома координатами, виберемо в центрі мас корпусу ма-

шину; положення вантажу залежить від переміщення гідроциліндрів нахилу і підйому вантажу (рис. 3, а) на рис. 3, б. Граф структури зв'язків показано на рис. 3, б.

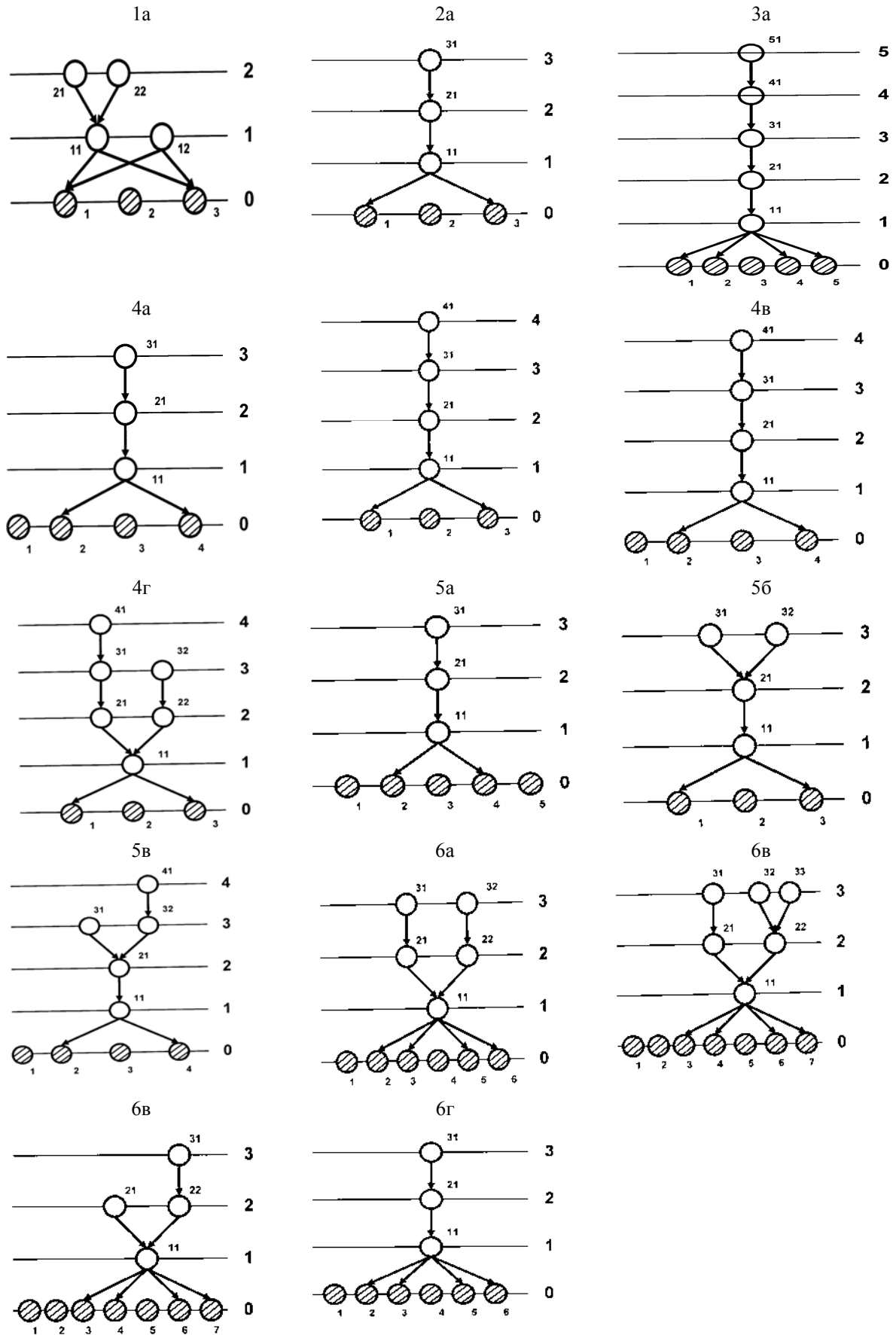


Рис. 1. Графи структури зв'язків узагальнених координат у моделі функціонування МС

Таким чином, графи структур зв'язків узагальнених координат моделі функціонування МС наочно показують взаємозв'язки між їх координатами, а саме:

- узагальнені координати шести типів МС і зв'язки між ними зручно представляти у вигляді графів структур зв'язків координат, вони описуються двома типами графів;

- у залежності від задачі досліджень за допомогою графа структури можна сказати, які та скільки необхідно і достатньо вибрати координати, а потім і перевірити структуру правих частин побудованих рівнянь моделей функціонування МС.

З урахуванням цього запропоновано методикку побудови моделей суміщеної роботи виконавчих механізмів та руху самих МС, яка складається із таких процедур:

- відповідно до задач досліджень визначається достатня адекватність моделей, що будуються;
- будується подібний граф конструктивної схе-

ми МС, функціонування якої досліджується;

- будується граф структури зв'язків узагальнених координат;

- з урахуванням поставлених задач з множини чинників вибираються ті чинники, які необхідно врахувати в майбутній моделі;

- на основі прийнятих припущень та графа структури зв'язків узагальнених координат будується розрахункова схема з дискретно розподіленими інерційними та жорсткісними параметрами, де показуються вибрані чинники;

- визначаються ліві і праві частини рівнянь Лагранжа II-го роду;

- за допомогою графа структури зв'язків узагальнених координат перевіряється структура розподілу других похідних від координат у лівих частинах отриманої системи диференціальних рівнянь;

- формулюються початкові умови та інші обмеження на роботу і рух МС, що буде досліджуватися.

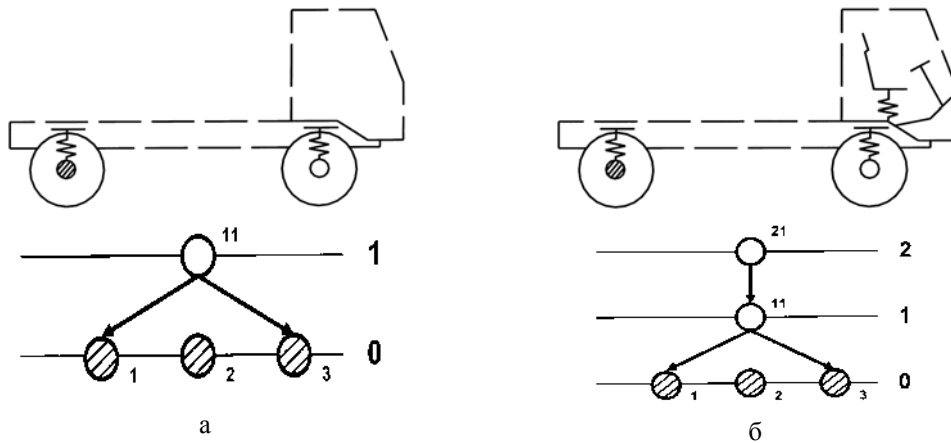


Рис. 2. Конструктивні схеми машин та відповідні графи структур зв'язків узагальнених координат: а – автомобіль з задніми ведучими колесами; б – сидіння водія в автомобілі із задніми ведучими колесами

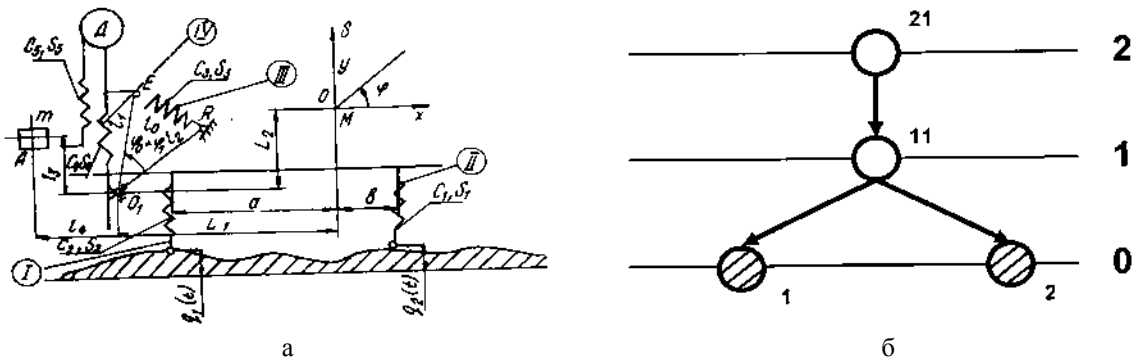


Рис. 3. Розрахункова схема (а), що використовується в роботі [11] та граф структури зв'язків її узагальнених координат (б)

Список літератури

1. Армадеров Р.Г. Мероприяття по зниженню динамічних нагрузок, дійсуючих в трансмісії автомобіля в условиях бездорожья // Тр. НАМИ. –1962. –

Вып. 46. – С. 33-55.

2. А.С. 734027 СССР. Коробка передач транспортного средства / И.С. Цитович, Б.Е. Митини, В.Б. Альгин и др. – Опул. в Б.И. 1980. – № 18.

3. А.С. 895736 СССР. Конечная передача транспортного средства / В.А. Дьяченко, А.Д. Ефимов,

И.М. Асябрик и др. – Оpubл. в Б.И. 1982. – № 1.

4. Армадеров Р.Г., Семенов В.М. Снижение динамических нагрузок в трансмиссии грузового автомобиля // *Автомоб. пром-сть*. – 1960. – № 9. – С. 19-21.

5. А.С. 1047761 СССР. Устройство для крепления кузова транспортного средства на его раме / В.Б. Альгин, В.А. Дзюнь, В.Я. Павловский, И.С. Цитович. – Оpubл. в Б.И. 1983. – № 38.

6. Методика определения базисных расходов топлива для автомобилей. И 37.001.022–81.М., Утв.тех.упр.машиностр.20.12.81 / М-во машиностроения СССР. – М., 1981. – 35 с.

7. Зінько Р.В. Дослідження вібропереміщень корпусу автотранспорту методом чисельного експерименту // *Вибрації в техніці та технологіях*. – 2000. – № 2 (14). – С. 36-40.

8. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Том 1. // *Рычажные механизмы: Пособ. для инженеров, конструкторов и изобретателей*. – М.: Наука, 1979. – 608 с.

9. Лозовий І.С., Зінько Р.В. Графи структури зв'язків узагальнених координат для автотранспорту та методика побудови математичних

моделей // *Вісник Технологічного університету Поділля*. – Хмельницький: ТУП. – 2001. – Вип. 1. – С. 29-33.

10. Лозовий І.С., Зінько Р.В. Графи структури зв'язків узагальнених координат математичних моделей роботи і руху мобільних транспортних машин (МТМ) та методика побудови цих моделей // *Міжнародн. конф.: “Моделювання та оптимізація складних систем” (МОСС – 2001)* 25 – 28 січня 2001. – К.: ВПЦ “Київський ун-т”. – С. 105-107.

11. Зильберман Э.М. К вопросу о математическом моделировании движения автопоезда // *Труды ГСКБ по автопоездам*. – Львов: ГСКБ по автопоездам. – 1984. – С. 73-85.

Надійшла до редколегії 12.09.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Кузьо, Національний університет «Львівська політехніка», Львів.