

УДК 629.114.3

Р. Зінько¹, канд. техн. наук; І. Лозовий¹, канд. техн. наук;
О. Дзелендзяк²; С. Бурніцький²

¹Національний університет "Львівська політехніка"

²ЗАТ «Інтертранс»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА

Резюме. Створено математичну модель руху автобетонозмішувача з напіврідкою бетонною сумішшю. Коливання суміші моделюються за допомогою маятника. Розглянуто рушення і прямолінійний рух автомобіля з урахуванням характеристик двигуна і профілю дороги.

Ключові слова: автобетонозмішувачі, математичне моделювання, коливання, маятник.

R. Zinko, I. Lozovyj, O. Dzelendzjak, S. Burnitskyj

RESEARCH OF CONCRETE MIXER TRUCK DYNAMICS MOTION BY ENGINE DESCRIPTIONS

The summary. The mathematical model of concrete mixer truck motion is created with semi-fluid concrete mixture. The vibrations of mixture are designed by a pendulum. Moving-off and rectilinear motion of truck is considered taking into account engine characteristics and road type.

Key words: concrete mixer truck, mathematical design, oscillation, pendulum.

Вступ. Застосування автобетонозмішувачів є неодмінною технологічною умовою збереження заданої якості бетонної суміші до моменту її укладання в бетоновану конструкцію. Доставка бетонної суміші здійснюється на відстань до 15 км із максимальною швидкістю до 60 км/год. Мінімальний об'єм бетону – 5 куб.м, але доставка більших об'ємів економічно доцільніша. Дослідження умов роботи автобетонозмішувачів дозволять визначити критичні режими їх руху, що дасть змогу покращити конструкцію самої машини з точки зору навантажень на елементи автомобіля й технологічного обладнання. Також це дозволить визначити чинники, що впливають на рух автомобіля, його транспортно-експлуатаційні характеристики та безпеку руху.

Аналіз останніх досліджень. Особливостям руху автомобілів, що транспортують цистерни з водою, присвячено багато досліджень [1-3]. Основні напрямки досліджень пов'язані з динамікою руху пожежних автоцистерн за перехідних режимів і часткового заповнення цистерни водою. При цьому досліджували коливання елементів машини та вплив переміщення води на безпеку руху автомобіля.

Особливості роботи автобетонозмішувачів розглянуто в роботі [4], де йдеться про вплив поперечних коливань рідини на динаміку руху автомобіля. Поздовжні коливання, що також суттєво впливають на безпеку руху машини, не були розглянуті.

Мета статті. Визначити особливості динаміки руху завантаженого автобетонозмішувача з урахуванням характеристик двигуна з метою визначення додаткових навантажень на агрегати машини і технологічне обладнання.

Основний матеріал. Для дослідження руху автобетонозмішувача запишемо математичну модель на основі рівняння Лагранжа II-го роду [5-6].

Особливістю такої машини є наявність спеціальної каретки, на якій розміщено змішувальний барабан і яка має можливість поздовжнього переміщення вздовж рами автомобіля [7]. Коливання напіврідкої бетонної суміші опишемо рухом маси, підвішеної на жорсткій основі в центрі змішувального барабана (рис.1).

Виберемо три координатні системи: $X_0O_0Z_0$ – нерухома і лежить у вертикальній площині, вісь O_0Z_0 направлена протилежно до сили тяжіння, вісь O_0X_0 – горизонтальна і направлена в бік руху автобетонозмішувача; $X_1O_1Z_1$ – жорстко пов'язана з шасі авто бетонозмішувача й лежить у площині $X_0O_0Z_0$; $X_2O_2Z_2$ – жорстко пов'язана з кареткою, на якій знаходиться змішувальний барабан і лежить у площині $X_0O_0Z_0$.

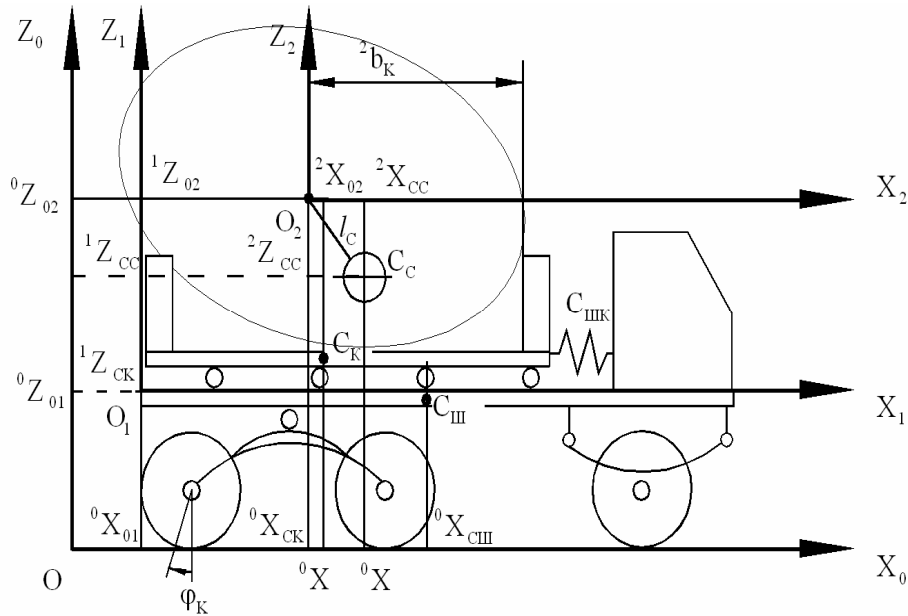


Рисунок 1 – Розрахункова схема автобетонозмішувача

Координати початків O_1, O_2 систем координат $X_1O_1Z_1, X_2O_2Z_2$ у системі координат $X_0O_0Z_0$: ${}^0X_{O1}$ – змінна, ${}^0Z_{O1}$ – стала, ${}^0Z_{O2} = {}^0Z_{O1} + {}^1Z_{O2}$, ${}^0X_{O2} = {}^0X_{O1} + {}^1X_{O2}$.

Координати центрів мас шасі C_{III} , каретки C_K , суміші C_C у системі координат $X_0O_0Z_0$ мають вигляд

$$\begin{cases} {}^0X_{C_{III}} = {}^0X_{O1} + {}^1X_{C_{III}}; & \begin{cases} {}^0X_{C_K} = {}^1X_{O2} + {}^0X_{O1} + {}^2X_{C_K}; \\ {}^2Z_{CC} = {}^0Z_{O1} + {}^1Z_{C_{III}}; \end{cases} & \begin{cases} {}^0X_{CC} = {}^1X_{O2} + {}^0X_{O1} + l_C \sin^2(\varphi_C); \\ {}^0Z_{CC} = {}^1Z_{O2} + {}^0Z_{O1} + l_C \cos^2(\varphi_C). \end{cases} \end{cases}$$

За узагальнені координати вибираємо $q_1 = {}^0X_{O1}$, $q_2 = {}^1X_{O2}$, $q_3 = {}^2\varphi_C$, $q_4 = \varphi_K$ – кут повороту тягового колеса.

Проекції швидкостей ц.м. шасі, каретки, суміші в координатній системі $X_0O_0Z_0$

$$\begin{cases} {}^0\dot{X}_{C_{III}} = {}^0\dot{X}_{O1}; & {}^0\dot{Z}_{C_{III}} = {}^0\dot{Z}_{O1}; & {}^0\dot{X}_{C_K} = {}^0\dot{X}_{O1} + {}^1\dot{X}_{O2}; & {}^0\dot{Z}_{C_K} = 0; \\ {}^0\dot{X}_{CC} = {}^0\dot{X}_{O1} + {}^1\dot{X}_{O2} + {}^2\dot{\varphi}_C l_C \cos^2(\varphi_C); & {}^0\dot{Z}_{CC} = -{}^2\dot{\varphi}_C l_C \sin^2(\varphi_C). \end{cases}$$

Тоді кінетична енергія системи дорівнює

$$T = \frac{1}{2} m_u {}^0\dot{X}_{O1}^2 + \frac{1}{2} m_K ({}^0\dot{X}_{O1} + {}^1\dot{X}_{O2})^2 + \frac{1}{2} m_C \left\{ \left[{}^0\dot{X}_{O1} + {}^1\dot{X}_{O2} + {}^2\dot{\varphi}_C l_C \cos^2(\varphi_C) \right]^2 + \left[{}^2\dot{\varphi}_C l_C \sin^2(\varphi_C) \right]^2 \right\} + \frac{1}{2} I_K \dot{\varphi}_K^2.$$

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{C_{KШ}}{R_K} \left(\varphi_K - \frac{{}^0X_{01}}{R_K} \right) - f_\delta (m_{Ш} + m_K + m_C) \text{sign}({}^0\dot{X}_{01}) g; \\ Q_2 = C_{ШК} \left({}^1X_{Ш1} - ({}^1X_{02} + {}^2b_K) - l_{ШК} \right) - f_{Ш} (m_K + m_C) g \cdot \text{sign}({}^1\dot{X}_{02}); \\ Q_3 = -m_C g l_C \sin({}^2\varphi_C) - \alpha_C {}^2\dot{\varphi}_C m_C g; \\ Q_4 = A - C_{KШ} \left(\varphi_K - \frac{{}^0X_{01}}{R_K} \right), \end{cases}$$

де $A = M_K(\dot{\varphi}_K)$ – приведений до вала тягового колеса крутний момент приводного двигуна на етапі розгону та усталеного руху автобетонозмішувача;

$A = -M_{\text{гальм}}(t)$ – сумарний гальмівний момент від гальм на етапі гальмування або стоянки автобетонозмішувача;

$f_\delta, f_{ш}$ – коефіцієнти опору руху автобетонозмішувача з боку дороги та переміщення каретки з боку шасі;

α_C – віднесений до одиниці маси бетонної суміші коефіцієнт внутрішнього тертя суміші.

Тоді математична модель руху елементів автобетонозмішувача має вигляд

$$\begin{cases} m_{ш} {}^0\ddot{X}_{01} + (m_K + m_C) ({}^0\ddot{X}_{01} + {}^1\ddot{X}_{02}) + m_C [{}^2\ddot{\varphi}_C l_C \cos({}^2\varphi_C) - ({}^2\dot{\varphi}_C)^2 l_C \sin({}^2\varphi_C)] = Q_1 \\ (m_K + m_C) ({}^0\ddot{X}_{01} + {}^1\ddot{X}_{02}) + m_C [{}^2\ddot{\varphi}_C l_C \cos({}^2\varphi_C) - ({}^2\dot{\varphi}_C)^2 l_C \sin({}^2\varphi_C)] = Q_2 \\ m_C \{ ({}^0\ddot{X}_{01} + {}^1\ddot{X}_{02}) l_C \cos({}^2\varphi_C) + {}^2\ddot{\varphi}_C l_C^2 \} = Q_3 \\ I_K \ddot{\varphi}_K = Q_4 \end{cases}$$

Математичне моделювання проводили для автобетонозмішувача АБС-9 на шасі МАЗ 5516А5 за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MathCAD 11.0. Розв'язок системи диференціальних рівнянь отримано стандартними методами із адаптивним вибором кроку (вбудована функція *Bulstoer*).

Досліджували режим рушання автобетонозмішувача і його прямолінійний рух по дорозі. В дослідженнях автобетонозмішувача приймали закон зміни приведенного до осей тягових коліс моменту $M_K \left(\frac{d\varphi_K}{dt} \right)$ двигуна автомобіля (рис. 2) залежно від зміни

кутової швидкості $\frac{d\varphi_K}{dt}$ коліс. Зміна рушійної сили при рушанні автобетонозмішувача зображено на рис. 3. Шлях, пройдений авто бетонозмішувачем, у випадку жорсткого закріплення змішувального барабана і з поздовжньою податливістю однаковий (рис.4). Зміна пришвидшення шасі та вантажів (рис.5) на ділянці розгону у випадку жорсткого закріплення змішувального барабана (а) в порівнянні з варіантом із поздовжньою піддатливістю (б) має більшу амплітуду коливань і триваліший час затухання.

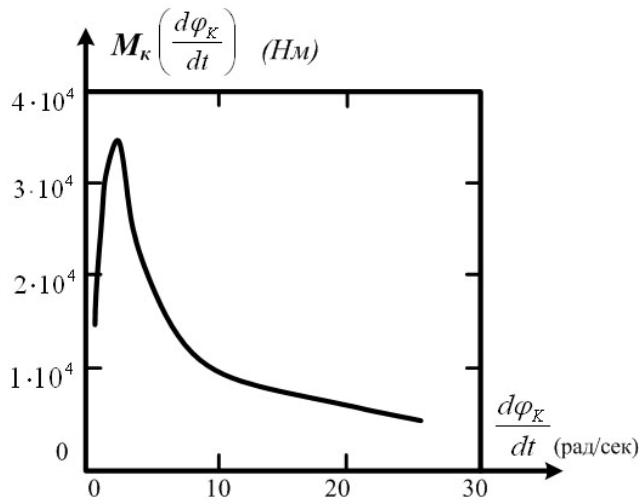


Рисунок 2 – Характеристика двигуна

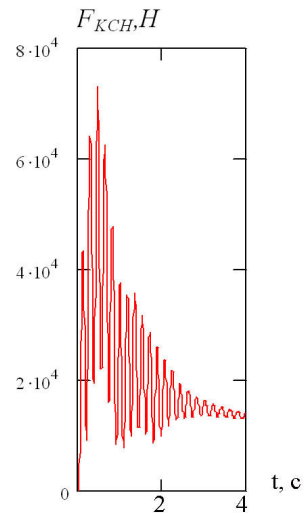


Рисунок 3 – Зміна рушійної сили при рушанні автобетонозмішувача

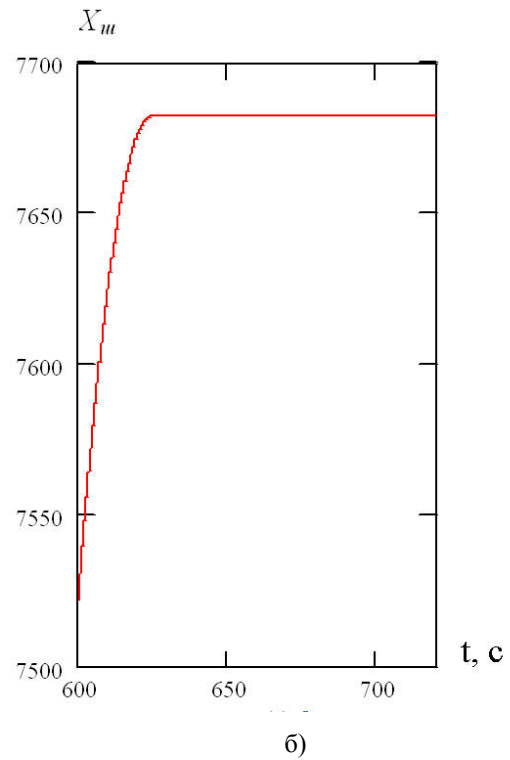
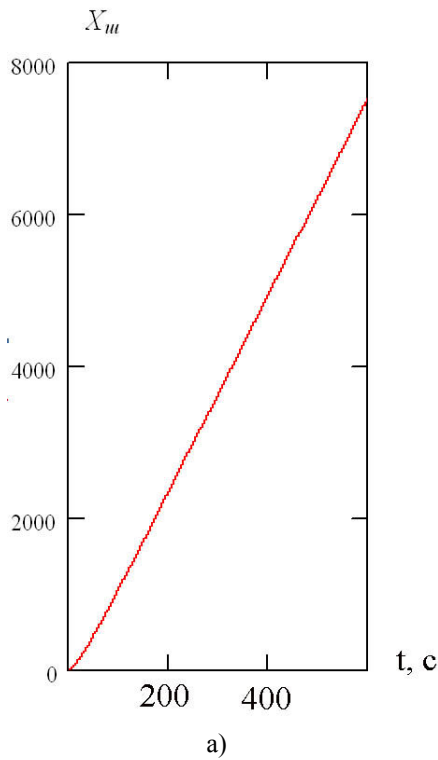


Рисунок 4 – Горизонтальні переміщення початку O_1 координатної системи $X_1O_1Z_1$ автобетонозмішувача у випадку жорсткого закріплення змішувального барабана (а) і з поздовжньою піддатливістю (б)

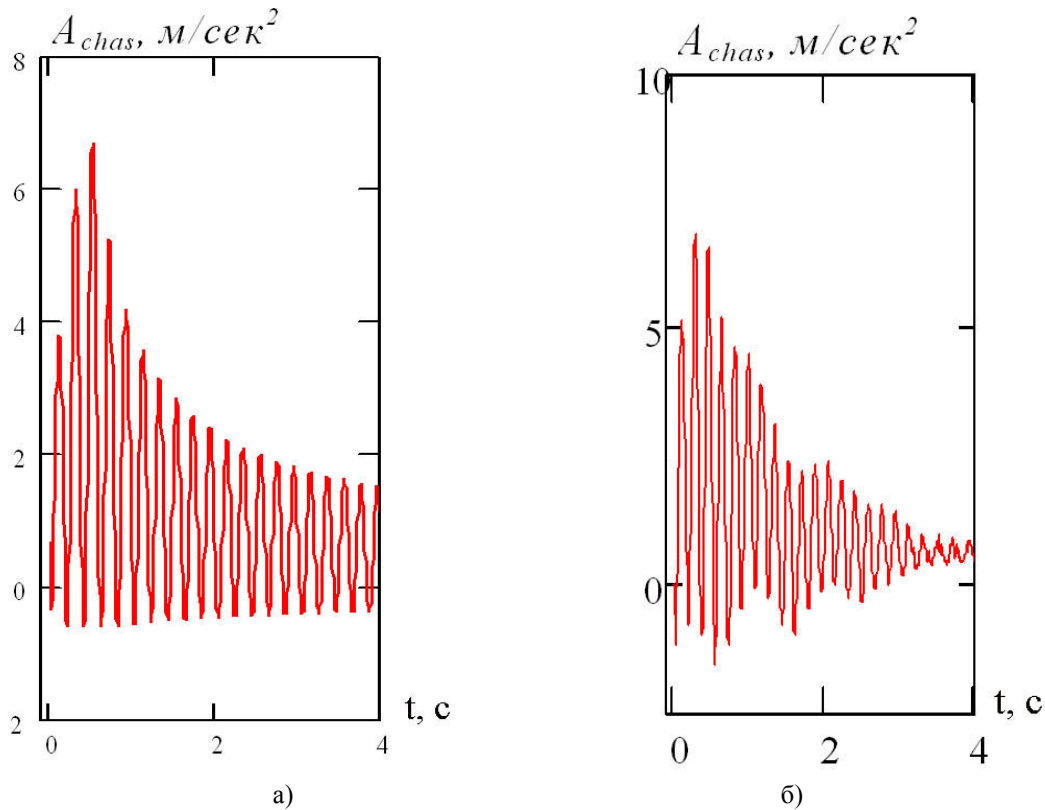


Рисунок 5 – Зміна пришвидшення шасі та вантажів на ділянці розгону у випадку жорсткого закріплення змішувального барабана (а) і з поздовжньою піддатливістю (б)

На ділянці значень кутової швидкості $\left(\frac{d\varphi_{\kappa}}{dt}\right)$ тягових коліс 2,6–22 рад/сек. характеристика двигуна майже «ідеальна», тобто його потужність N_d на цьому інтервалі

$$N_d = M_k \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cong const.$$

За критерії оцінювання ефективності роботи автобетонозмішувача вибрано такі основні показники: величина роботи, яку виконує двигун за час руху; максимальна та середня швидкості, які досягає автомобіль, рухаючись по тестувальній ділянці дороги при заданій зовнішній характеристиці $M_k \left(\frac{d\varphi_{\kappa}}{dt}\right)$ приводного двигуна; середній крутний момент M_k сер двигуна, що приведений до осей тягових коліс та його середня потужність N_d ; пройдений автомобілем шлях; пікові значення зусиль, що діють у пружних елементах між тяговими колесами–шасі, шасі–кареткою, кареткою–змішувальним барабаном; пікові значення пришвидшень шасі, каретки зі змішувальним барабаном.

Висновки. На середню потужність і крутний момент двигуна впливає лише значення коефіцієнта опору кочення (α_d). Піки зусиль з боку тягових коліс на шасі автобетонозмішувача в порівнянні з базовою схемою зменшуються до 9% залежно від значень коефіцієнтів опору $\alpha_d, \alpha_{ш}, \alpha_{\kappa}$. Використання каретки дозволило зменшити негативний вплив напіврідкої бетонної суміші. Пікові зусилля на елементи шасі зменшилися на 10%. Пікові значення пришвидшень шасі зменшилися в порівнянні з базовим зразком на 8%.

Література

1. Высоцкий М.С. Компьютерное моделирование торможения автоцистерны с жидкостью / М.С. Высоцкий, Ю.М. Плескачевский, А.О. Шимановский, А.В. Коваленко // IV Белорусский Конгресс по теоретической и прикладной механике «Механика-2009». – Минск: ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», 2009. – С.31.
2. Шимановский А.О. Обзор исследований динамики автоцистерн / А.О. Шимановский // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 11 – С. 23–28.
3. Куликовский Б. Л. Исследование поведения жидкости в емкости автоцистерны в дорожных условиях / Б.Л. Куликовский // Пожарная техника и тушение пожаров. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1979. – № 18. – С. 10–16.
4. Плавельский Е. П. Поперечные колебания автобетоносмесителей / Е.П. Плавельский, Н.С. Гринберг, С.А. Сурков // Совершенствование рабочих процессов автотранспортных средств: Сб. науч. трудов. Московский автомобильно-дорожный институт. – М.: Издание МАДИ, 1983. – С. 120–128.
5. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник / М.А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.
6. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10-ти т. Т. I. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
7. Патент на корисну модель України. Пристрій для кріплення кузова транспортного засобу. Вікович І.А., Черевко Ю.М., Черевко М.І., Зінько Р.В., Лозовий І.С. – № 472747; заявл. 11.08.2008. – 3с.

Одержано 26.02.2010 р.