



МАТЕРІАЛИ

Всеукраїнської науково-технічної конференції

МЕХАНІКА МАШИН – ОСНОВНА СКЛАДОВА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

**присвяченої 110-річчю з дня народження
Кожевнікова Сергія Миколайовича**

чл.-кор. АН України, проф., д.т.н.

11-13 квітня

Частина 1

Дніпро – 2017

Міністерство освіти і науки України,
Придніпровський науковий центр НАН України і МОН України,
Національна металургійна академія України,
Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України,
Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Поликова НАН України,
Інститут технічної механіки Національної академії наук України та
Національного космічного агентства України,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна,
Національний гірничий університет,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара,
Механіко-машинобудівний інститут НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
Інститут механіки імені С.П. Тимошенко НАН України,
Одеський національний політехнічний університет,
Херсонський національний технічний університет,
Кіровоградський національний технічний університет,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
Запорізький національний технічний університет,
Донбаська державна машинобудівна академія,
Сумський державний університет,
Вінницький національний технічний університет,
Інститут інженерної механіки та транспорту національного університету
«Львівська політехніка»,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Приазовський державний технічний університет,
Дніпровський державний технічний університет,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут».

Матеріали

Всеукраїнської науково-технічної конференції «МЕХАНІКА МАШИН – ОСНОВНА СКЛАДОВА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ»

присвяченої 110-річчю з дня народження

Кожевнікова Сергія Миколайовича

чл.-кор. АН України, проф., д.т.н.

Частина 1

11-13 квітня

Дніпро – 2017

Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Механіка машин – основна складова прикладної механіки», частина 1. – Дніпро: НМетАУ, 2017. – 376 с.

В матеріалах конференції розглянутий сучасний стан проблем механіки машин, встановлені тенденції розвитку методів розрахунків і проектування машин та механічних систем. Розглянуті нові теоретичні і прикладні результати досліджень у галузі прикладної механіки, проблеми надійності, міцності елементів машин і агрегатів та енергозбереження. Розглянуті питання застосування сучасних технічних і технологічних засобів машинобудування, автоматичного проектування, математичного моделювання процесів і машин.

Намічені перспективні напрями досліджень в області прикладної механіки, пружної динаміки машин, теорії механізмів і машин та технології машинобудування; запропоновані технічні рішення для промисловості в розрахунках, технології і проектуванні машин та механічних систем.

В цих матеріалах публікуються основні результати наукових досліджень провідних вчених України, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Відповідальний редактор: Добров І.В., д.т.н., проф.

Відповідальний за випуск: Маліч М.Г., к.т.н., доц.

Комп'ютерне макетування: Коптілий О.В.

Відповідно до пункту №61 листа Міністерства освіти і науки України від 06. 03. 2017 №1/9-125 переліку проведення наукових конференцій з проблем вищої освіти і науки в системі Міністерства освіти і науки України на 2017 рік.

Адреса редакційної колегії: Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпро, 49600, Україна.

ISBN 978-966-331-578-2

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

Всі матеріали публікуються в авторській редакції.

© Національна металургійна академія України, 2017

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова - Величко О.Г., чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф., ректор НМетАУ.

Співголова - Бабаченко О.І., д.т.н., с.н.с., директор ІЧМ ім. З.І. Некрасова НАН України.

Члени програмного комітету: д.т.н., проф.:

Алієв І.С.	Дирда В.І.	Мямлін С.В.
Беліков С.Б.	Дмитрієв Д.О.	Надугий В.П.
Бейгул О.О.	Драгобецький В.В.	Огородніков В.А.
Бешта О.С. – чл.-кор. НАНУ	Дядюра К.О.	Проців В.В.
Большаков В.І.	Засельский В.Й.	Ракша С.В.
Білодіденко С.В.	Іщенко А.О.	Розов Ю.Г.
Бобир М.І. – чл.-кор. НАНУ	Кириченко А.М.	Тітов В.А.
Вереньов В.В.	Ковалєвський С.В.	Ткаченко Е.А.
Головко В.І.	Кузнецов Ю.М.	Ткачук М.А.
Гудрамович В.С. – чл.-кор. НАНУ	Луців І.В.	Ягліньський В.П.
Данильченко Ю.М.	Малащенко В.О.	
Дзюба А.П.	Меньшиков В.О.	

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова: Проїдак Ю.С. – д.т.н., проф., проректор НМетАУ

Заступники:

Добров І.В. – д.т.н., проф. НМетАУ,

Єрмократьєв В.О. – к.т.н., доц. НМетАУ,

Муравйова І.Г. – д.т.н., с.н.с., ІЧМ НАНУ.

Члени оргкомітету: к.т.н., проф., Колісник М.П.;

к.т.н., доц: Гришин В.С., Морозенко О.П., Назарєць В.С., Маліч М.Г., Погребняк Р.П.,

Шевченко В.Г.; к.т.н., с.н.с.: Лисиця М.І., Маркова О.М., Меркулов О.С.; н.с. Юнаков О.М.

Секретар оргкомітету Негруб С.Л. – к.т.н., доц.

Технічні секретарі: Баранова І.О., Когтілий О.В., Родіонов М.О., Рубан В.М.

УДК 621.833.1.001.2

Дзюба Л.Ф.¹ к.т.н., доц., Баріляк В. В.² к.т.н., ст. викл.

1 – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

2 – Національний лісотехнічний університет України

РОЗРОБКА ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ МОБІЛЬНИХ КАНАТНИХ ЛІСОТРАНСПОРТНИХ УСТАНОВОК

Мобільні канатні лісотransпортні установки для первинного транспортування деревини у гірській місцевості мають низку істотних переваг порівняно з тракторним трелювання. Такі установки можуть бути оснащені приводом з електродвигуном або з двигуном внутрішнього згоряння [1]. Характерними особливостями роботи привода мобільної канатної установки є: змінна сила натягу тягово-вантажопідіймального каната під час виконання різних технологічних операцій [1, 6] та багат шарове намотування каната на барабан [1, 5]. Змінювання сили натягу тягово-вантажопідіймального канату зумовлює зміну моменту сили опору на різних технологічних етапах роботи установки [1, 2, 3, 4]. Багат шарове намотування канату на приводний барабан збільшує його діаметр з намотаним канатом і зумовлює зміну моменту інерції приводного барабану [1, 2, 4] та зростання моменту сили опору, що діє на барабан. Додаткові динамічні навантаження на ланки приводу під час вмикання установки зумовлені перехідними процесами в електродвигуні [4]. Якщо базою для мобільної короткодістанційної самохідної канатної лісотransпортної установки є трактор, тоді привод установки працює від двигуна внутрішнього згоряння та оснащений фрикційною муфтою, від типу і конструкції якої значною мірою залежить динамічна звантаженість привода [2].

Для канатних лісотransпортних установок характерним є низький рівень уніфікації схем та конструкцій. Тому розробка динамічних моделей установок потребує деталізації для врахування особливостей конструкцій та експлуатаційних навантажень на різних етапах технологічного циклу.

Мета роботи. Розробка динамічних моделей однобарабаних мобільних підвісних канатних установок, привод яких оснащений електричним двигуном або двигуном внутрішнього згоряння, з урахуванням змінювання експлуатаційного навантаження на різних етапах технологічного циклу.

Теоретичні дослідження.

Для мобільної канатної лісотransпортної установки з однобарабаним приводом (рис. 1)

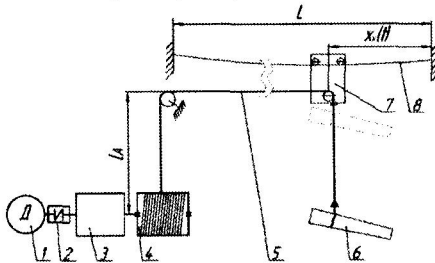


Рис. 1. Принципова схема мобільної канатної лісотransпортної установки з однобарабаним приводом:

1 – двигун; 2 – муфта; 3 – механічна передача; 4 – приводний барабан робочого ходу; 5 – тягово-вантажопідіймальний канат; 6 – вантаж; 7 – вантажна каретка; 8 – несучий канат

запропоновано декілька розрахункових схем [2, 4], у яких ураховано типи двигунів і муфт, а також можливе проковзування чи увімкнення фрикційної муфти. До того ж, у розроблених динамічних моделях ураховано етапи технологічного циклу [2, 4]. Як приклад, на рис. 2 показана розрахункова схема мобільної канатної лісотransпортної установки з одnobарабанним приводом за наявності проковзування робочих фрикційних поверхонь муфти.

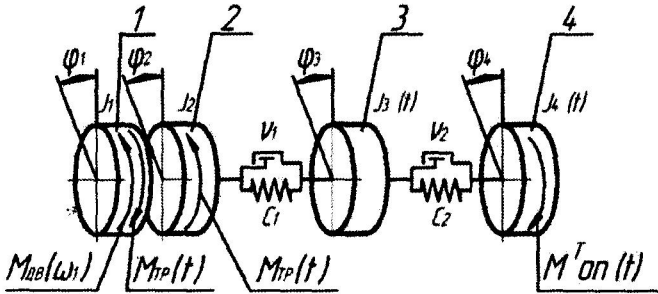


Рис. 2. Розрахункова схема мобільної канатної лісотransпортної установки

На рис. 2 прийнято такі позначення: 1 – зведена обертова маса рухомих частин двигуна та ведучої частини фрикційної муфти; 2 – зведена обертова маса веденої частини фрикційної муфти; 3 – зведена обертова маса механічних передач привода; 4 – зведена обертова маса приводного барабана, тягово-вантажопідіймального канату та транспортованого вантажу з вантажною кареткою; $M_{ДВ}(\omega_1)$ – обертовий момент двигуна; $M_{OT}^T(t)$ – зведений момент сили опору, що діє на приводний барабан; $M_{TP}(t)$ – момент тертя між робочими поверхнями фрикційної муфти; I_1 – зведений момент інерції рухомих мас двигуна, маховика й тягової частини фрикційної муфти; I_2 – зведений момент інерції тяжкої частини фрикційної муфти; I_3 – зведений момент інерції механічних передач привода; $I_4(t)$ – зведений момент інерції обертової маси, яка еквівалентна масам приводного барабана, тягово-вантажопідіймального канату та транспортованого вантажу разом з вантажною кареткою; C_1, V_1 – зведені коефіцієнти крутильної жорсткості та в'язкого опору фрикційної муфти та вхідного вала механічної передачі; C_2, V_2 – зведені коефіцієнти крутильної жорсткості та в'язкого опору пружних ланок, розташованих між приводним барабаном й механічними передачами привода; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – узагальнені координати відповідних обертових мас динамічної моделі установки; t – час.

Відповідно до наведеної розрахункової схеми (рис. 2), диференціальні рівняння руху на першому етапі вмикання фрикційної муфти, записані на підставі принципу Д'Аламбера, мають вигляд:

$$\begin{cases} I_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = M_{дв}(\omega_1) - M_{тр}(t); \\ I_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + v_1 \left(\frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{d\varphi_3}{dt} \right) + c_1 (\varphi_2 - \varphi_3) = M_{тр}(t); \\ I_3 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} - v_1 \left(\frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{d\varphi_3}{dt} \right) - c_1 (\varphi_2 - \varphi_3) + v_2 \left(\frac{d\varphi_3}{dt} - \frac{d\varphi_4}{dt} \right) + c_2 (\varphi_3 - \varphi_4) = 0; \\ I_4(t) \frac{d^2 \varphi_4}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{d\varphi_4}{dt} \frac{d[I_4(t)]}{dt} - v_2 \left(\frac{d\varphi_3}{dt} - \frac{d\varphi_4}{dt} \right) - c_2 (\varphi_3 - \varphi_4) = -M_{оп}^T(t). \end{cases} \quad (1)$$

Обертвий момент двигуна $M_{дв}$, у разі застосування електродвигуна, має враховувати перехідні електромагнітні процеси під час вмикання і може бути записаний на підставі рівнянь Парка. Якщо привод оснащений двигуном внутрішнього згоряння, тоді обертвий момент двигуна можна описати лінійною залежністю на регуляторній вітті швидкісної характеристики формулою Лейдермана. Зростання моменту тертя $M_{тр}$ у муфті зчеплення від нуля до максимального значення можна змоделювати лінійною або експонентною залежностями. Момент сил опору $M_{оп}^T$ на приводному барабані залежить від змінних параметрів: сили натягу тягово-вантажопідіймального канату та радіуса барабана з намотаним канатом. Тому на кожному етапі технологічного циклу роботи установки набуває відповідного вигляду [5]. Відповідно до викладеного, система диференціальних рівнянь (1) зазнаватиме певних змін.

Чисельне інтегрування систем відповідних систем диференціальних рівнянь та подальший розрахунок динамічних моментів на валах привода мобільної канатної лісотранспортної установки виконано у системі Mathcad 15.0 за допомогою розробленої прикладної програми. На кожному кроці числового інтегрування систем диференціальних рівнянь обчислювали такі змінні величини: момент тертя в фрикційній муфті $M_{тр}(t)$ з урахуванням умови вмикання та пробуксовування; обертвий момент електродвигуна двигуна $M_{дв}(\omega_1)$ або обертвий момент двигуна внутрішнього згоряння за формулою Лейдермана з урахуванням виразів, які моделюють роботу двигуна на регуляторній вітті швидкісної характеристики; момент інерції приводного барабана $I_4(t)$, а також складову, яка враховує

зміну моменту інерції барабана $\frac{dI_4(t)}{dt}$ унаслідок багатошарового намотування канату; момент сили опору, що діє на приводний барабан, $M_{оп}^T(t)$ з урахуванням залежностей для кожного етапу технологічного циклу.

На рис. 3 показаний приклад результатів моделювання динамічних навантажень у механічних передачах однобарабанного привода мобільної канатної установки з двигуном внутрішнього згоряння. Передавальне відношення привода $u = 20$. Графіки на рис. 3 отримані на підставі розв'язку систем диференціальних рівнянь (1) методом Ейлера у системі Mathcad 15.0. Для розрахунку прийняті такі характеристики однобарабанної мобільної канатної установки: обертвий момент вала двигуна при максимальній потужності $M_N = 260 \text{ Н} \cdot \text{м}$; час стопоріння вантажу з вантажною кареткою $t_c = 0,55 \text{ с}$; коефіцієнт запасу зчеплення фрикційної муфти $\mu_{ч} = 1,5$; довжина прольоту канатної установки $L = 400 \text{ м}$; вага вантажу

$Q = 16$ кН; зведені коефіцієнти крутильної жорсткості та в'язкого опору пружних ланок:
 $c_1 = 25 \frac{\text{кН}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; $c_2 = 40 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; $\nu_1 = 18 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$; $\nu_2 = 2,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$; координата вантажної каретки
в прольоті $x_K(t_0) = 80$ м.

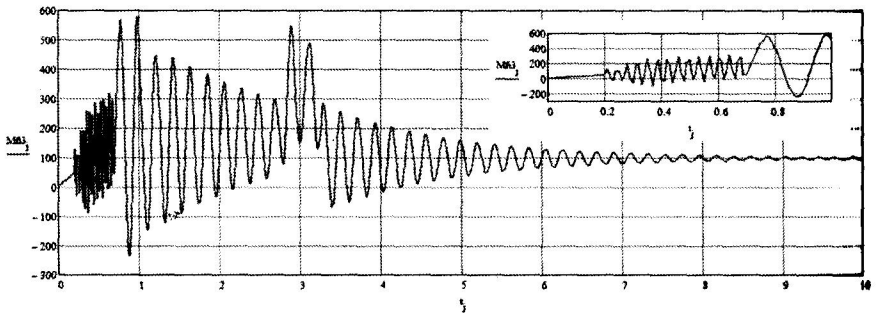


Рис. 3. Зміна зведеного динамічного моменту в механічних передачах привода

Висновки.

Розроблені динамічні моделі для однобарабаних мобільних канатних лісотransпортних установок, у яких уперше враховано технологічні параметри, основні етапи технологічного циклу роботи і дійсний характер зміни зовнішніх зусиль. Створені моделі є підставою для розроблення динамічних моделей двобарабаних канатних установок та вироблення рекомендацій щодо конструктивних параметрів та відповідних режимів роботи.

Список літератури

1. *Бариляк В. В.* Обґрунтування параметрів приводів лісотransпортних канатних установок: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Василь Васильович Бариляк. – Львів, 2015. – 222.
2. *Дзюба Л. Ф.* Моделювання динамічних навантажень привода мобільної підвісної канатної лісотransпортної установки / Л. Ф. Дзюба, В. В. Бариляк, О. І. Хитряк, І. В. Кузьо // Науковий вісник ЛДУ БЖД. – 2016. – №14 – С. 182 – 191.
3. *Дзюба Л.Ф.* Оцінювання динамічних властивостей тягового каната на підставі в'язкопружної моделі / Л. Ф. Дзюба, О. І. Хитряк, В. В. Бариляк, Х. І. Ліщинська // Наук. Вісник НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.7. – С. 329-336.
4. *Lidiya Dzyuba.* Dynamics of electromechanical drive of suspended timbertransporting rope sustem / Lidiya Dzyuba, Vasył Barylyak / Technical Sciences, Universit of Warmia and Mazury in Olsztyn. – 2016. – №19(3) – P. 245–256.
5. *Малашенко В.О.* Дослідження роботи приводів канатних лісотransпортних установок із врахуванням багатощарового намотування канату [Текст] / В. О. Малашенко, М. П. Мартинців, В. В. Бариляк // Підприємство-транспортна техніка. – Дніпропетровськ, 2013. – № 2. – С. 29–38.