

ДИНАМІЧНІ ТА ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПОВНОПРИВІДНОЇ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ

Череватенко Г. І, Сміцков Д. С., Антощенко Р. В., д.т.н., проф.

Державний біотехнологічний університет

В роботі наведено результати досліджень динамічних та тягово-енергетичних показників повнопривідної тягово-транспортної машини.

В агропромисловому виробництві все частіше застосовуються багатоопераційні комбіновані агрегати, що мають високу продуктивність. Одними з основних складових комбінованих агрегатів є колісні повнопривідні тягово-транспортні машини (ТТМ) [1].

Колісні повнопривідні ТТМ мають високу прохідність та їх можна віднести у окрему групу транспортних засобів через специфіку їх конструктивного виконання та умов застосування. Колісні повнопривідні ТТМ високої прохідності переважно використовують на ґрунтах з низькою несучою здатністю, при експлуатації по бездоріжжю або ґрунтових дорогах низької якості, де вони можуть рухатися з високими середніми швидкостями. Колісні ТТМ агрегують з сільськогосподарськими машинами та причепами великої маси [2].

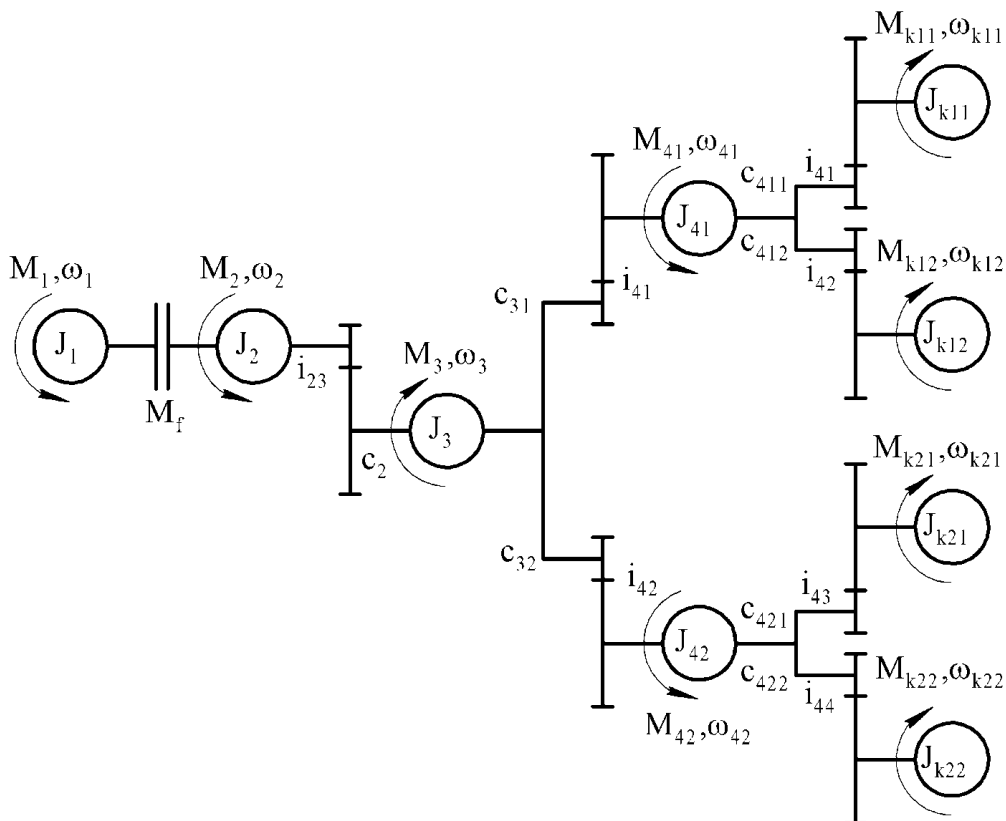


Рис. 1. Схема динамічної моделі трансмісії повнопривідної тягово-транспортної машини

На рис. 1 наведено такі позначення: J_1 – приведений момент інерції мас, що

обертаються, двигуна внутрішнього згоряння; M_1 – ефективний крутний момент ДВЗ; ω_1 – кутова швидкість обертання колінчастого вала ДВЗ; M_f – момент муфти зчеплення; J_2, M_2, ω_2, c_2 – приведений момент інерції, крутний момент, кутова швидкість обертання та приведена кутова жорсткість первинного валу коробки передач; η_{23}, i_{23} – ККД та передатне число коробки передач; J_3, M_3, ω_3 – приведений момент інерції, крутний момент, кутова швидкість обертання вторинного валу коробки передач; c_{31}, c_{32} – приведені кутові жорсткості переднього та заднього карданного валів; $\eta_{23}, i_{41}, i_{42}$ – ККД та передатне число головної передачі переднього та заднього мостів; $J_{41}, M_{41}, \omega_{41}$ – приведений момент інерції, крутний момент та кутова швидкість обертання головної передачі передньої осі; $J_{42}, M_{42}, \omega_{42}$ – приведений момент інерції, крутний момент та кутова швидкість обертання головної передачі задньої осі; $c_{411}, c_{412}, c_{421}, c_{422}$ – приведені кутові жорсткості передньої лівої, передньої правої, задньої лівої та задньої правої напівосі; $\eta_{23}, i_{411}, i_{412}, i_{421}, i_{422}$ – ККД та передатне число переднього лівого, переднього правого, заднього лівого та заднього правого бортових редукторів; $J_{kij}, M_{kij}, \omega_{kij}$ – приведений момент інерції, крутний момент та кутова швидкість обертання ведучого колеса ТТМ ($ij=11$ – переднього лівого, $ij=12$ – переднього правого, $ij=21$ – заднього лівого, $ij=22$ – заднього правого).

Крутний момент від ДВЗ M_1 передається через муфту M_f до первинного валу коробки передач та передачу i_{23} . Далі крутний момент вихідного валу коробки передач передається на передній та задній диференціали ТТМ через вали c_{31} та c_{32} . Передній диференціал утворюється елементами J_{41}, c_{411}, c_{412} , а задній – J_{41}, c_{411}, c_{412} .

Вихідними даними для розрахунку математичної моделі обрані такі: потужність ДВЗ – $N_{\text{емак}}=176$ кВт; приведені моменти інерції $J_1=0,618$ кг·м², $J_2=0,0081$ кг·м², $J_3=0,618$ кг·м², $J_{41}=0,002098$ кг·м², $J_{42}=0,00404$ кг·м², $J_{k11}=J_{k12}=J_{k21}=J_{k22}=31,1$ кг·м². Приведені кутові жорсткості $c_2=10023$ Н·рад, $c_{31}=2750$ Н·рад, $c_{32}=23032$ Н·рад, $c_{411}=c_{412}=c_{421}=c_{422}=8523$ Н·рад. Передаточні числа $i_{23}=2,4$, $i_{41}=2,9$, $i_{411}=i_{412}=i_{421}=i_{422}=4,1$. ККД – $\eta_{23}=0,921$, $\eta_{41}=\eta_{42}=0,922$, $\eta_{411}=\eta_{412}=\eta_{421}=\eta_{422}=0,945$.

Для повнопривідної колісної ТТМ визначені залежності кутових швидкостей обертання елементів трансмісії тягово-транспортної машини від часу (рис. 2).

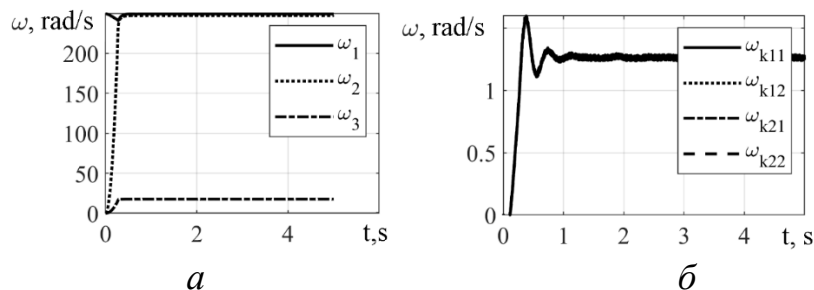


Рис. 2. Залежності кутових швидкостей обертання елементів трансмісії тягово-транспортної машини від часу: *a* – залежності кутових швидкостей обертання елементів трансмісії; *б* – залежності кутових швидкостей обертання коліс

Досліджено процес розгону ТТМ під час якого кутова швидкість ДВЗ знижується з номінального значення $n_{\text{ном}}=250$ рад/с до 241 рад/с та при $t>1$ с знов

повертається до номінального значення (рис. 2). При $0 < t < 1$ с вмикається зчеплення та швидкість первинного валу коробки передач вирівнюється з кутовою швидкістю ДВЗ 250 рад/с. Кутові швидкості обертання коліс ТТМ стабілізуються на рівні $\omega_{k11}=1,29$ рад/с, $\omega_{k12}=1,27$ рад/с, $\omega_{k21}=1,24$ рад/с, $\omega_{k22}=1,25$ рад/с при $t > 1$ с.

Встановлено залежності крутних моментів елементів трансмісії тягово-транспортної машини від часу (рис. 3).

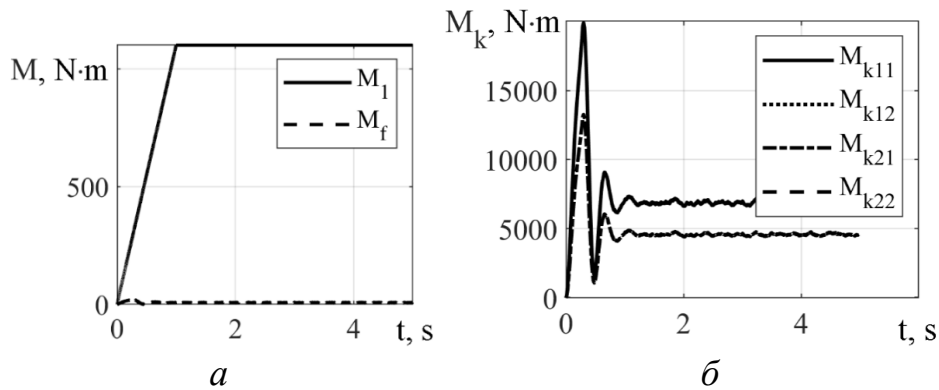


Рис. 3. Залежності крутних моментів елементів трансмісії тягово-транспортної машини від часу: *a* – залежності крутних моментів елементів трансмісії; *б* – залежності крутних моментів ведучих коліс

Крутний момент ДВЗ підвищується лінійно до номінального значення $M_{\text{ном}}=1100$ Н·м під час розгону ТТМ (рис. 3). Момент тертя муфти зчеплення на початку розгону має коливальний процес з розмахом $\Delta M_f=50$ Н·м. Крутні моменти передніх ведучих коліс короткочасно підвищуються до $M_{k11}=M_{k12}=20012$ Н·м та при $t > 1$ с приймають значення $M_{k11}=M_{k12}=6972$ Н·м. Аналогічні процеси відбуваються на задніх ведучих колесах однак крутні моменти підвищуються до $M_{k21}=M_{k22}=13209$ Н·м при $0 < t < 1$ с, а надалі приймають значення $M_{k21}=M_{k22}=4622$ Н·м.

1. Встановлено, що кутові швидкості обертання передніх коліс ТТМ $\omega_{k11}=1,29$ рад/с, $\omega_{k12}=1,27$ рад/с вище за кутові швидкості задніх коліс $\omega_{k21}=1,24$ рад/с, $\omega_{k22}=1,25$ рад/с. Різниця між кутовими швидкостями передніх та задніх коліс призводить до появи кінематичної невідповідності та додаткових втрат енергії. Крутні моменти передніх ведучих коліс короткочасно підвищуються до $M_{k11}=M_{k12}=20012$ Н·м та при $t > 1$ с приймають значення $M_{k11}=M_{k12}=6972$ Н·м. Аналогічні процеси відбуваються на задніх ведучих колесах однак крутні моменти підвищуються до $M_{k21}=M_{k22}=13209$ Н·м при $0 < t < 1$ с, а надалі приймають значення $M_{k21}=M_{k22}=4622$ Н·м. Дотичні сили тяги на передніх колесах ТТМ збільшуються до $P_{k11}=P_{k12}=15667$ Н при $0 < t < 1$ с та стабілізуються на значенні $P_{k11}=P_{k12}=5478$ Н після закінчення розгону. Так саме при $t > 1$ с дотичні сили тяги на задніх колесах ТТМ стабілізуються зі значеннями $P_{k21}=P_{k22}=3473$ Н, а при розгоні приймають найбільші значення $P_{k21}=P_{k22}=10442$ Н.

Список літератури:

1. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів: монографія. Х.: ХНТУСГ, 2017. 244 с.
2. Антощенко Р. В. Обробка даних мобільного вимірювального комплексу для контролю за функціонуванням мобільних енергетичних засобів. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2013. №2(70). С. 6–9.
3. Volodymyr Bulgakov, Roman Antoshchenkov, Valerii Adamchuk, Ivan Halych, Yevhen Ihnatiev, Ivan Beloev, Semjons Ivanovs. Investigation of the tractor performance when ballasting its rear half-frame. *INMATEH –Agricultural Engineering*, 2022. Vol. 68. No. 3. PP. 533–542.
4. Antoshchenkov, R., Bogdanovich, S., Halych, I., Cherevatenko, H. Determination of dynamic and traction-energy indicators of all-wheel-drive traction-transport machine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023. 1 (7 (121)), 40–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.270988>.
5. Artiomov, N., Antoshchenkov, R., Antoshchenkov, V., Ayubov, A. Innovative approach to agricultural machinery testing. *Engineering for Rural Development*, 2021, 20. 692–698.
6. R. Antoshchenkov, V. Antoshchenkova, V. Kis, D. Smitskov. Increasing accuracy of measuring functioning parameters of agricultural units. *Engineering for Rural Development*, 2023, 22. P. 210–215.
7. Antoshchenkov, R., Halych, I., Nikiforov, A., Cherevatenko, H., Chyzhykov, I., Sushko, S., Ponomarenko, N., Diundi, S., Tsebriuk, I. Determining the influence of geometric parameters of the traction-transportation vehicle's frame on its tractive capacity and energy indicators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022. 2 (7-116), pp. 60-61. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254688.
8. Антощенко Р. В., Никифоров А. О., Череватенко Г. І., Антощенко В. М. Мікропроцесорна вимірювальна система динаміки та енергетики мобільних машин. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 2021. Том 6. № 4. С. 241–248.
9. Galych I., Antoshchenkov R., Antoshchenkov V., Lukjanov I., Diundik S., Kis O. Estimating the dynamics of a machine-tractor assembly considering the effect of the supporting surface profile. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7 (109)), 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225117>.
10. Bulgakov, V., Ivanovs, S., Adamchuk, V., Antoshchenkov R. Investigations of the Dynamics of a Four-Element Machine-and-Tractor Aggregate. *Acta Technologica Agriculturae*. Vol. 22, Is. 4, 1 December 2019, P. 146-151.