

визначаються компоненти вектора пружних переміщень в довільній точці області, а по них - компоненти тензора напружень в цій же точці з використанням диференціальних залежностей Коші та узагальненого закону Гука. Однією з головних труднощів при вирішенні поставленого завдання стала проблема в представленні всієї пружної області колеса разом із зубцями у вигляді неявної неперервної функції неперервного аргументу, що вирішальним чином визначає можливість застосування методів теорії пружності та побудови граничних умов. Цю складність вдалося подолати завдяки використанню теорії *R*-функцій при описі граничної поверхні зубчастого колеса в цілому. Зусилля, що передається зубом, введено в задачі в такому вигляді, що враховується конфігурація і величина модельованої площадки контакту з можливістю варіації законом його розподілу по плямі контакту. Враховується також різне положення площадки контакту по фазі зачеплення за весь період сполучення пари зубців.

Чисельна реалізація задачі побудована на базі методу Рітца, де при розробці координатних послідовностей використана лінійно незалежна ортонормована система поліномів Лежандра, а також врахована геометрія області та граничні умови. Процес обчислення компонент вектора пружних переміщень і компонент тензора напружень побудований в автоматичному режимі, що дозволяє проводити чисельні експерименти на стадії проектування передачі і вибрати її найбільш раціональні параметри за критерієм згинальних напружень.

УДК 629

ЩОДО ПИТАННЯ РОЗГОНУ ШВИДКІСНОГО АВТОМОБІЛЯ ТА БУКСУВАННЯ ЙОГО КОЛЕС

Леонт'єв Дмитро Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри автообілів ім. А.Б.Гредескула, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ORCID: **0000-0003-4255-6317**

Шуклінов Сергій Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри автообілів ім. А.Б.Гредескула, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ORCID: **0000-0002-3157-3069**

Стовбуров М. І., здобувач PhD, кафедра автообілів ім. А.Б. Гредескула, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Вступ та актуальність дослідження. Швидкісні автомобілі, особливо такі як «драгстер» характеризуються гранично високими динамічними навантаженнями, що виникають під час їх розгону. Відомо, що основними факторами, які визначають ефективність розгону автомобіля, є його конструктивні параметри трансмісії, характеристика взаємодії шин коліс з поверхнею дорожнього покриття та перерозподіл ваги між вісями автомобіля. Незважаючи на значний обсяг досліджень у галузі динаміки розгону автомобіля, для спеціалізованих транспортних засобів типу «драгстер»

актуальними залишаються проблеми узгодження параметрів трансмісії із характеристиками шин, а також втрати енергії при ковзанні шин у зоні їх контакту з поверхнею дорожнього покриття.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є визначення факторів, що обмежують ефективність розгону автомобіля типу «драгстер», та аналіз впливу параметрів трансмісії та шин на динамічні характеристики автомобіля.

Теоретичні основи та методика дослідження. Аналіз науково-технічної літератури показав, що рівняння для визначення динамічних властивостей автомобіля в загальній формі може бути представлена у наступному вигляді:

$$(M_e - J_e \frac{d\omega_e}{dt}) \cdot i \cdot \eta - \sum J_{kM} \frac{d\omega_{kM}}{dt} - \sum M_{fM} - \sum M_{fP} - \sum J_{kP} \frac{d\omega_{kP}}{dt} = P_w + P_\alpha + P_{jX},$$

де M_e – крутний момент двигуна, Н/м;

J_e – момент інерції обертальних частин двигуна;

$\frac{d\omega_e}{dt}$ – кутове прискорення вала двигуна;

i – сумарне передавальне число трансмісії;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії;

J_{kM} та J_{kP} – сумарні моменти інерції ведучих та ведених коліс автомобіля;

M_{fM} та M_{fP} – сумарні моменти опору коченню ведучих та ведених коліс автомобіля;

$\frac{d\omega_{kM}}{dt}$ та $\frac{d\omega_{kP}}{dt}$ – кутові прискорення ведучих та ведених коліс автомобіля;

P_α – сила опору дороги вздовж ухилу;

P_w – сила опору повітря;

P_{jX} – повздовжня сила інерції автомобіля;

Якщо врахувати, що:

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot V_a^2}{3,6^2},$$

де k – коефіцієнт опору повітря, кг/м³;

F – площа проекції автомобіля на площини, що перпендикулярна до його повздовжньої вісі, м²;

V_a – швидкість руху автомобіля, км/год;

А величина P_α та P_{jX} можуть бути записана у вигляді:

$$P_\alpha = G_a \cdot \sin \alpha;$$

$$P_{jX} = \frac{G_a}{g} \cdot \frac{dV_a}{dt}$$

де G_a – вага автомобіля, Н;

α – кут ухилу дороги.

Тоді в кінцевому вигляді рівняння руху автомобіля можна записати як:

$$(M_e - J_e \frac{d\omega_e}{dt}) \cdot i \cdot \eta - \sum J_{KM} \frac{d\omega_{KM}}{dt} - \sum M_{fM} - \sum M_{fP} - \sum J_{KP} \frac{d\omega_{KP}}{dt} \\ = \frac{K \cdot F \cdot v_a^2}{3,6^2} + G_\alpha \cdot \sin \alpha + \frac{G_a}{g} \cdot \frac{dv_a}{dt}$$

В отриманому рівнянні величина $\frac{d\omega_{KM}}{dt}$ визначатиме потенційні можливості, щодо обмеження взаємодії шини автомобільного колеса з поверхнею дорожнього покриття. Відомо, що вона буде суттєво залежати від деформаційних властивостей шини та умов навантаження автомобільного колеса.

Висновки

Попередній аналіз питання розгону швидкісного автомобіля показує, що збільшення навантаження на задню його вісь (ведучу) призводить до збільшення жорсткісних властивостей шин, і як слідство безпосередньо впливає на реалізацію тягових сил в плямі контакту шини з поверхнею дорожнього покриття, тому це питання потребує дослідження та є актуальним, особливо для автомобілів типу «драгстер».

Література

1. Gillespie, T.D. (2021). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Ed. R-506.
2. Wong, J.Y. (2008). *Theory of Ground Vehicles*.
3. Milliken, W.F., Milliken, D.L. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*.
4. Малащенко В.О., Янків В.В. (2018). *Деталі машин. Проектування елементів механічних приводів*.
5. Левкович М.Г., Кищун В.А., Гандзюк М.О. (2021). *Аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів*.
6. Cossalter, V. (2006). *Motorcycle Dynamics*.
7. Heisler, H. (2002). *Advanced Vehicle Technology*. 2nd. Ed.
8. Klimenko, V., Kapski, D., Leontiev, D., Kuripka, O., & Frolov, A. (2021). Determination of tangential properties of a single pneumatic tire in the vehicle braking mode of a vehicle. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, (19), 28–34. <https://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/226798>
9. Leontiev, D., & Don, E. (2016). Specifics of automobile dual wheels interaction with the supporting surface. *Automobile Transport*, (39), 74. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2016.39.0.74>
10. Leontiev, D. N., Mikhalevich, N. G., & Frolov, A. A. (2018). Influence of vertical load on braking force and tyre adhesion coefficient of vehicle wheel. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*, 18, 383-392. <https://doi.org/10.32353/khrife.2018.42>
11. Leontiev, D., Klymenko, V., Aloksa, M., & Sylchenko, M. (2022). Regarding the issue of determining the deceleration of a two-axle vehicle with a damaged brake system. *Automobile Transport*, (50), 21–28.

- <https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2022.50.0.03>
12. Shuklinov, S.M., Klymenko, V.I., Leontiev, D.M., Aloksa M. M. (2023). *Automobile. Theory and operational properties : study guide*. Kharkiv National Automobile and Highway University. ISBN 978-617-8238-19-3
 13. Leontiev, D. N., Voronkov, O., Korohodskyi, V., Hlushkova, D., Nikitchenko, I., Teslenko, E., & Lykhodii, O. (2020). Mathematical Modelling of Operating Processes in the Pneumatic Engine of the Car. *SAE Technical Paper*. 2020-01-2222
 14. Bogomolov, V., & Leontiev, D. (2025). On the distribution of normal reactions between the axes of a balancing bogie during vehicle braking. In *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing. **3428(1)**. 020003. <https://doi.org/10.1063/12.0038594>
 15. Shuklinov, S., Leontiev, D., Frolov, A., & Smetanin, G. (2025). Mathematical description of the creep ratio of a vehicle wheel tire relative to the road surface in depending on the traction coefficient. In *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing. **3428(1)**. 020002. <https://doi.org/10.1063/12.0038593>
 16. Leontiev, D., & Frolov, A. (2022). Determination of the average torsional stiffness of tires of a double vehicle wheel during its interaction with the road surface. *Automobile Transport*, (51), 14–25. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2022.51.0.02>
 17. Shuklinov, S., Uzhva, A., Lysenko, M., Tishenko, A., & Novikova, Y. (2021). Maximum automobile acceleration. *Automobile Transport*, (49), 13–22. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2021.49.0.02>
 18. Shuklinov, S., Uzhva, A., Aloksa, M., Tkachov, O., & Mahats, M. (2022). Determining the possibility of slipping the driving wheels of the car. *Automobile Transport*, (50), 40–50. <https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2022.50.0.05>
 19. Шуклінов, С. М. Альокса М. М. (2022). *Автомобіль. Теорія та експлуатаційні властивості : навч. посіб.* ISBN 978-617-8009-77-9.