

О.О. ОСТРОВЕРХ

РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ НА ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛЯХ

В роботі спроектовано комбіновану коробку передач легкового автомобіля, що складається з механічної частини та варіаторної (безступінчастої). Проведено дослідження використання механічних коробок передач у автомобільних заторах. Описано принцип роботи спроектованої коробки передач. Проведено дослідження на температурний нагрів фрикційного диска головної муфти варіаторної частини спроектованої коробки передач, дослідження проводилось за допомогою програми SolidWorks в програмному модулі COSMOSWorks Designer.

Ключові слова: коробка передач, механічна, варіаторна, дослідження, затор.

А.О. ОСТРОВЕРХ

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЯХ

В работе спроектирована комбинированная коробка передач легкового автомобиля, состоящая из механической и вариаторной (бесступенчатой). Проведено исследование использования механических коробок передач в автомобильных пробках. Описан принцип работы спроектированной коробки передач. Проведено исследование на температурный нагрев фрикционного диска главной муфты вариаторной части спроектированной коробки, исследование проводилось с помощью программы SolidWorks в программном модуле COSMOSWorks Designer.

Ключевые слова: коробка передач, механическая, вариаторная, исследование, пробка.

О. OSTROVERKH

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE COMBINED GEARBOX AND ITS APPLICATION ON CARS

A combined transmission of a car is designed, consisting of a mechanical part that will be used in all modes of movement of the car, and a variator (stepless), which is planned to be used only in traffic jams or at low speeds. A study of the use of mechanical gearboxes in traffic jams was also conducted. The input of the study determined: the total time spent in traffic, the distance traveled, the average speed of the car and how many times the driver switched the gear lever. The principle of operation of the designed transmission is described.

A study on the temperature heating of the friction disk of the main clutch of the variator part of the designed gearbox. The study was conducted using SolidWorks in the software module COSMOSWorks Designer. As a result of the study, it follows that the thermal performance of the friction disc of the main clutch when applied to a third of the higher power compared to the nominal value allows without the risk of overheating and damage to use the designed transmission.

Key words: gearbox, mechanical, CVT, research, traffic jam

Вступ. Кожен автовласник ставив перед собою таке запитання, яка трансмісія краща, механічна або автоматична. Як правило, механічна коробка доступна для всіх базових комплектацій того чи іншого автомобіля, а автоматичні коробки передач коштують як відомо значно дорожче у порівнянні з механічними коробками. Але, не кожен водій сьогодні хоче купувати собі автомобіль з механічною коробкою. Насамперед потрібно визначитися, для чого потрібен автомобіль, де найчастіше він буде експлуатуватися. Наприклад, по дорозі на роботу щодня стоячи у заторах, або водій хоче максимально контролювати автомобіль за будь-якого режиму поїздки.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Аналізуючи автомобільний ринок продажу нових автомобілів України за останні роки, можливо зупинитися на трьох брэндах лідерах, а саме Renault, Toyota, Kia [1]. Спілкуючись з офіційними дилерами з продажу даних

автомобілів, визначено, що лідерами з продажу стали наступні марки автомобілів: Renault Duster, Toyota RAV-4, Kia Sportage. Далі з'ясовано відсоток продажу автомобілів лідерів з механічними та автоматичними трансмісіями. По даним компанії Renault, ми маємо 94% продажу автомобілів Renault Duster з механічною коробкою передач, та лише 6% з автоматичною, це пов'язане з тим, що у модельному ряді запропоновано лише одна комплектація автомобіля з автоматом серед п'яти, що продаються. По даним офіційних дилерів Toyota встановлено, що продаж автомобілів Toyota RAV-4 з механічної трансмісією складає 7%, а з автоматичною 93%, це пов'язане з тим, що у модельному ряді з п'яти машин лише на одній встановлено механічну коробку передач. І по даним офіційного дилера Kia, визначено, що даний відсоток у продажі Kia Sportage складає, механічна 30%, автоматична 70%, це пов'язане з тим, що у модельному ряді представлено шість комплектацій, з яких чотири це автоматичні та дві механічні.

Провівши аналіз продажу автомобілів, можливо зробити висновок, що автовласники в Україні ще не готові відмовитися від механічних трансмісії та повністю пересісти на автоматичні.

Мета та постановка задачі. Метою даної роботи є розробка нової перспективної комбінованої коробки передач легкового автомобіля, яка забезпечить керування автомобіля, як в механічному так і в автоматичному режимах роботи.

Рух легкового автомобіля можливо поділити на два етапи: звичайний – по усіх видах доріг, та рух у автомобільних заторах. При пересуванні по усім видах доріг водій може застосовувати, як механічну та автоматичну трансмісії, все залежить від побажань самого водія якою трансмісією керувати. Розглянемо, яку трансмісією краще використовувати у заторах. Як відомо затор – це скупчення на дорозі транспортних засобів, що рухаються із середньою швидкістю, значно меншою, ніж нормальна швидкість для даної ділянки дороги [2]. Зрозуміло, що використання автоматичних коробок у заторах більш перспективне. У зв'язку з цим проведено дослідження використання механічних коробок передач у автомобільних заторах. В ході дослідження визначалось: загальний час проведений у заторі, шлях що подолали, середня швидкість та найголовніше скільки разів водій здійснив перемикання важеля коробки передач. У процесі дослідження використовувався автомобіль марки Шевроле Авео з механічною коробкою передач. Прилади для вимірювання часу – смартфон з записом на диктофон. Маршрут визначався за допомогою Google карт, а саме відстань для проведення дослідження. Проведення дослідження виконувалось на ділянці автомобільної дороги по вулиці Дерев'янка м. Харків рис. 1 у час пік, з ранку 8 година 30 хвилин, всього проведено три експеримента.

При обробці отриманих результатів побудовано графік перемикання передач та простій у пробці рис. 2. Після визначався час роботи автомобіля на кожній передачі та простою, знаходився загальний час у пробці, визначалась загальна швидкість руху у пробці та загальна кількість перемикань на кожній з передач. Використовуючи Google карти визначалась відстань при виконанні експерименту.

При аналізі першого дослідження визначено, що шлях проїзду склав 1 км, загальний час 0,141 годину (8 хв. 46 с.) та середня швидкість автомобіля 7,09 км/год. Водій 47 раз виконав перемикання важеля коробки передач.

При аналізі другого дослідження визначено що проїзд склав 0,8 км, загальний час 0,093 години (5 хв. 58 с.) та середня швидкість автомобіля 8,6 км/год. Водій 40 раз виконав перемикання важеля коробки передач.

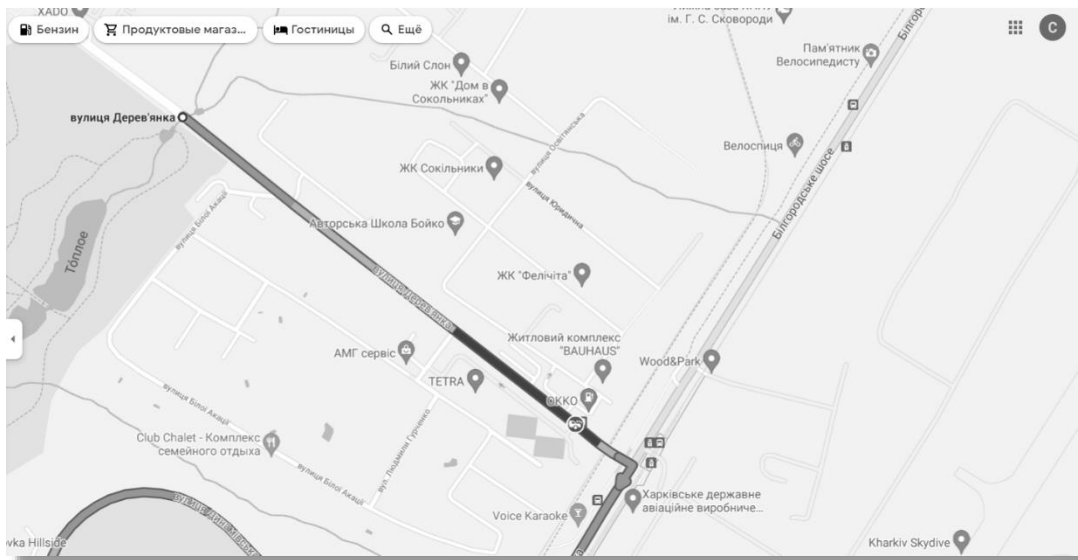


Рис. 1 – Місце проведення дослідження

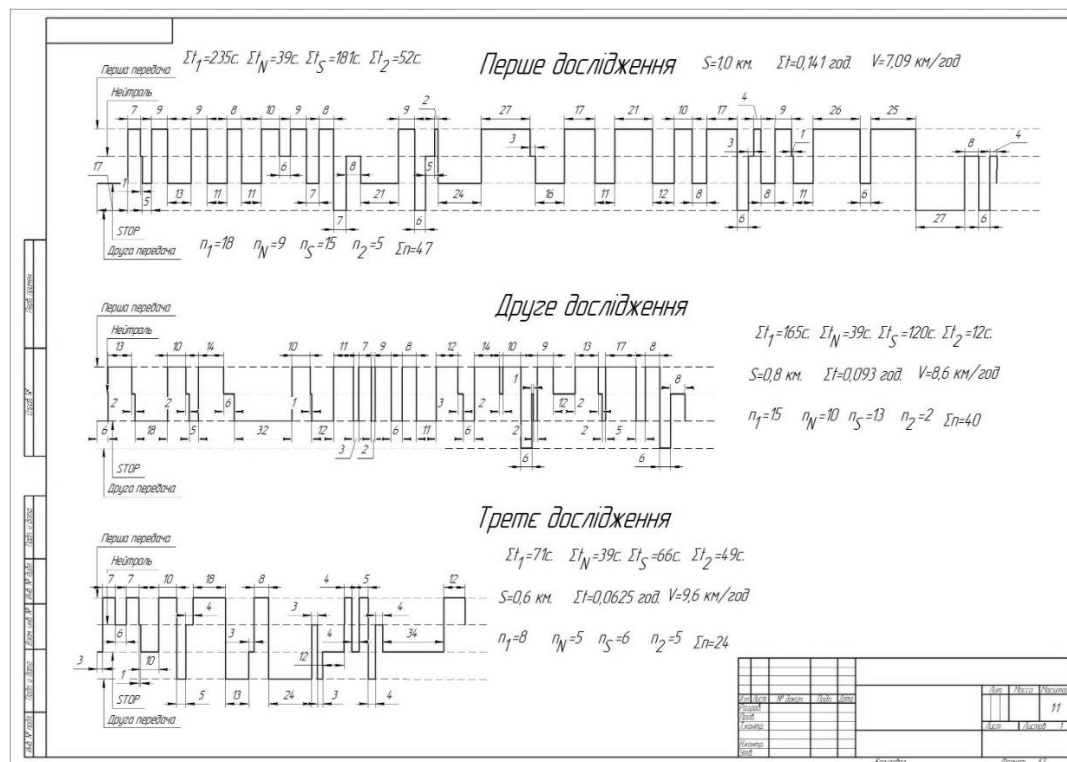


Рис. 2 – Результати дослідження

При аналізі третього дослідження визначено що проїзд склав 0,6 км, загальний час 0,0625 години (3 хв. 75 с.) та середня швидкість автомобіля 9,6 км/год. Водій 24 раз виконав перемикання важеля коробки передач.

Аналізуючи проведені дослідження можливо зробити висновок, що водій з механічною трансмісією у заторах приймає на себе велике навантаження, яке полягає в постійній роботі з коробкою передач – перемикання куліси та робота з муфтою зчеплення, це тягне за собою велику стомлюваність водія та погіршення його самопочуття. Альтернативою для водія звісно

є використання автоматичних трансмісій. В даній роботі запропоновано використання нової альтернативної трансмісії, яка поєднує в собі механічну та автоматичну коробки передач. Детальний огляд конструкції та роботи нової коробки описано далі.

Запропонована трансмісія забезпечить водію керування автомобілем в звичайному режимі руху механічним шляхом, а у заторах в автоматичному, це дозволить водієві менше втомлюватися в заторах і підвищить його працездатність.

Запропонована коробка передач поєднує в собі дві коробки передач механічну та варіаторну (безступінчасту) рис. 3 [4-5].

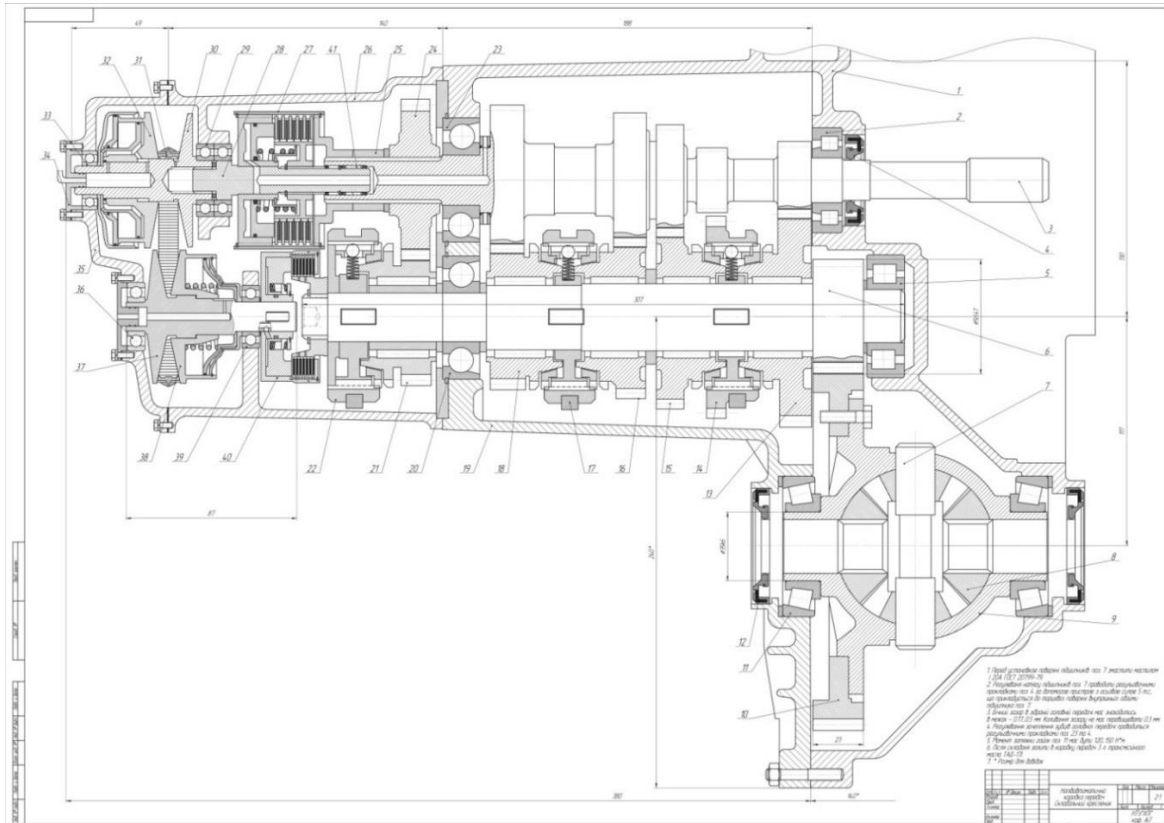


Рис. 3 – Комбінована коробка передач

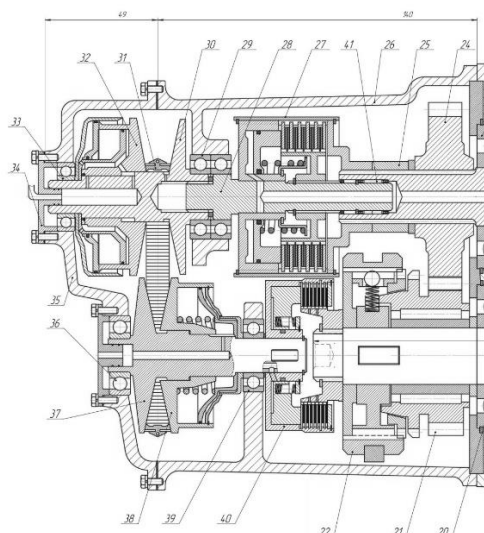


Рис. 4 – Варіаторна (безступінчаста) частина

Робота механічної коробки звичайна та буде використовуватися постійно в будь яких режимах роботи автомобіля. Стосовно варіаторної частини рис. 4, її застосування планується тільки у заторах з обмеженням швидкості руху при її застосуванні. Варіаторна частини працюватиме наступним чином: головним фрикційним елементом коробки є муфта 27, яка з'єднана з первинним валом 3. Коли автомобіль зупиниться у заторі в механічній коробці вимикаються усі передачі, муфта зчеплення автомобіля замкнута тобто крутний момент від двигуна передається на первинний вал 3, далі примусово підключається гідравлічна частина керування варіаторної коробки, при натисканні на педаль акселератору автомобіля, пакет фрикціонів муфти 27 замикається та момент від вихідного валу коробки передається на вал 28 та гнучку стрічку 31 за допомогою переміщення рухомих шківів 32 і 38 передається на вихідний вал 37 і муфту з'єднання 40 на вторинний вал 6. Однією з особливостей руху в безступінчастому режимі є необхідність при зупинці утримувати педаль гальма на відміну від автоматичних коробок, так як головна муфта 27 знаходиться в розімкненому стані і автомобіль може покотитися.

Як відомо коробки передач з варіатором мають три діапазону роботи: перший це підвищення передавального числа; другий нульове положення (передавальне число дорівнює одиниці); і третій прискорювальний.

В проектованій коробці передач застосовується тільки перший діапазон роботи. Це дозволяє використовувати переваги безступінчастої і механічної коробок передач.

Безступінчаста частина забезпечує плавний рух без необхідності перемикання на малих швидкостях, тим самим значно полегшуючи умови для водіїв. А механічна частина забезпечує високу надійність простоту конструкції і малу собівартість при експлуатації та високий ККД.

Спроекована коробка передач має значну перевагу перед класичними механічними і автоматичними коробками передач і є перспективною розробкою для застосування в легкових автомобілях [6-9].

Не дивлячись на переваги нової розробки, в її конструкції на погляд автора є елементи, які потребують більш детального дослідження, а саме пакет фрикціонів муфти 27.

Елементом для дослідження було обрано фрикційні диски головної муфти 27. Так як основною особливістю даної коробки, є поєднання механічної та варіаторної частини. Тому для включення варіаторної частини потрібно плавно безступеневе вмикання, яке реалізоване за допомогою муфти 27. Яка складається з комплекту із п'яти фрикційних дисків, її вмикання виконується при русі з місця (еквівалент вмикання на першій передачі у механічній коробці). А саме максимально розвинута потужність на першій передачі становить 45 кВт. Вся ця потужність гаситься за допомогою п'яти фрикційних дисків, які забезпечують безступеневе вмикання варіаторної частини коробки передач. Так як цей елемент є достатньо енергонавантаженим його обрано для подальшого проведення дослідження. Далі проведемо дослідження за допомогою програми SolidWorks в програмному модулі COSMOSWorks Designer [3]. Тип дослідження: температурний нагрів фрикційного диску, матеріал азбестові накладки. Для цього створено модель фрикційної накладки, та побудована сітка кінцевих елементів рис. 5. Якість сітки: всього вузлів 58928, елементів 31078, максимальний і мінімальний розмір елемента дорівнює 0,68 мм, що є достатньо високим показником.

Проведення теплового розрахунку проводилося зі збільшенням на третину максимальної потужності розвинутої на першій передачі замість 45 кВт, буде прикладено термічне навантаження в 60 кВт. З урахуванням п'яти дисків в головному фрикційному зчепленні на кожен з них діє 12 кВт навантаження, або по 6 кВт на кожному із робочих поверхонь диску.

Далі було побудовано температурні епюри рис. 6, з яких видно розподілення температури по поверхні накладки. На правому рисунку зображена поверхня до якої було прикладено зусилля в 6кВт, на ній виникає максимальна температура в 582 °С, з іншої сторони накладки температура знаходиться в районі 550 °С, що є нормальним при короткочасному включенні.

Побудовано епюри градієнта результативної температури рис. 7, яка показує зміну показання температури на одиницю відстані, середнє значення якого приблизно $200^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

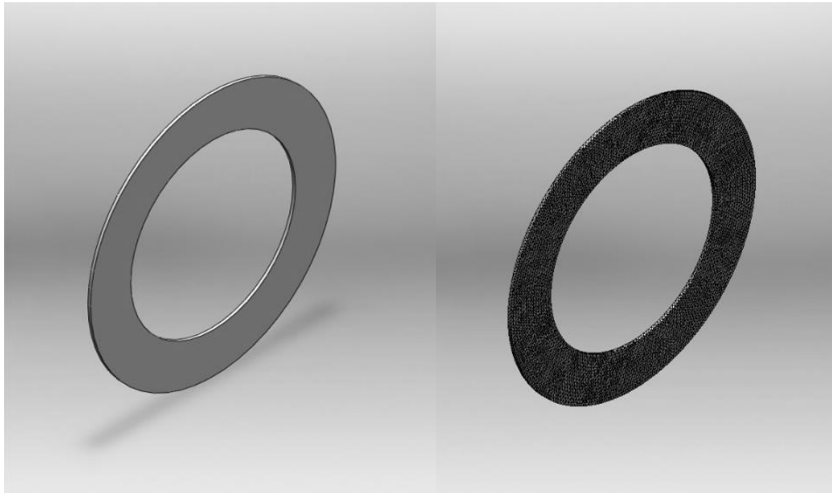


Рис. 5 – Модель і сітка кінцевих елементів накладки

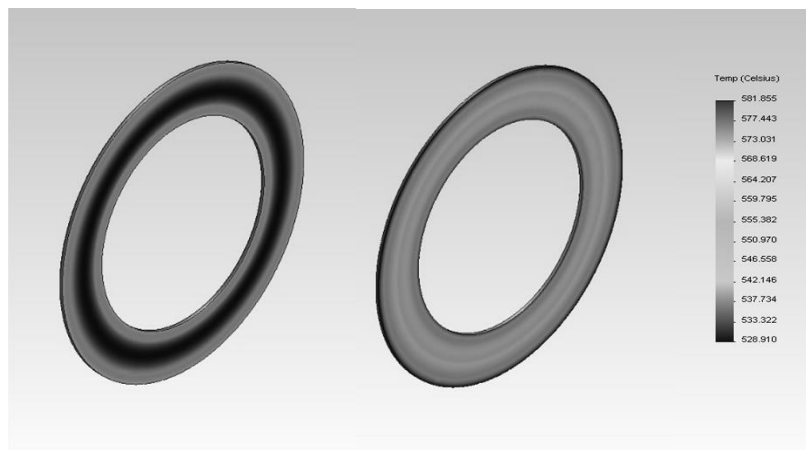


Рис. 6 – Епюра температури на задній поверхні накладки (зображення зліва) та передній (зображення справа)

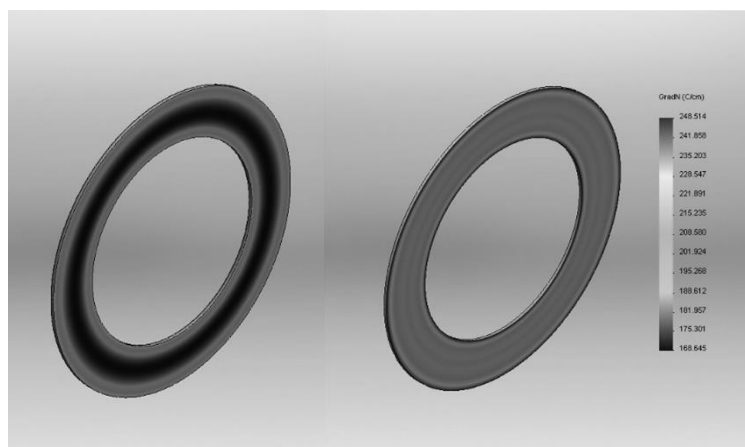


Рис. 7 – Епюра градієнта результативної температури

З передньої сторони виникає максимальне значення на зовнішніх кромках і складає $248^{\circ}\text{C}/\text{см}$, а зі зворотного боку мінімальне значення в $169^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

Також побудовано епюру результативного теплового потоку рис. 8, вона є абсолютною величиною, що дорівнює кількості теплоти, яка проходить через ізотермічну поверхню одиничної площі (одиниця вимірювання $\text{Вт}/\text{м}^2$)

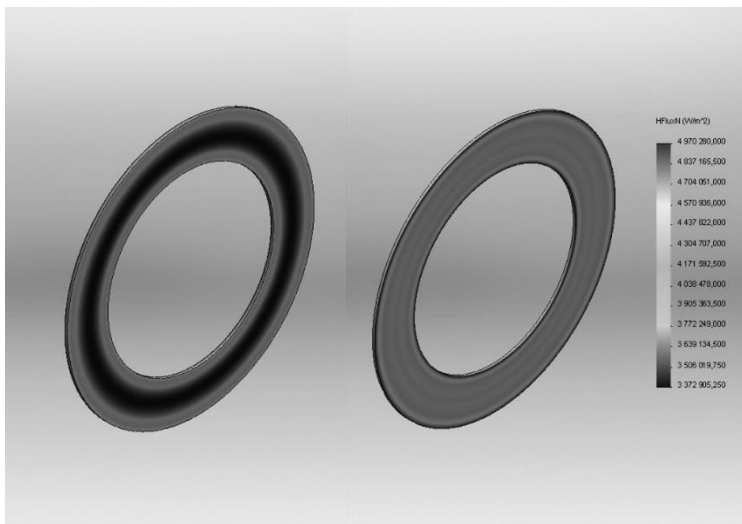


Рис. 8 – Епюра результативного теплового потоку

Як видно із рисунка максимальні значення виникають на зовнішніх та внутрішніх кромках, що знаходяться в районі $4970 \text{ кВт}/\text{м}^2$, мінімальні значення спостерігаються всередині накладки і дорівнюють $3772 \text{ кВт}/\text{м}^2$. На зворотній стороні мінімальні значення складають $3372 \text{ кВт}/\text{м}^2$, а максимальні $4038 \text{ кВт}/\text{м}^2$.

Далі проведено порівняльне дослідження характеристик накладок, при прикладенні номінального зусилля, що розвивається двигуном на першій передачі і дорівнює 45 кВт .

Побудовано епюра температури рис. 9 показує, що максимальна температура, яка виникає всередині накладки не перевищує 368°C .

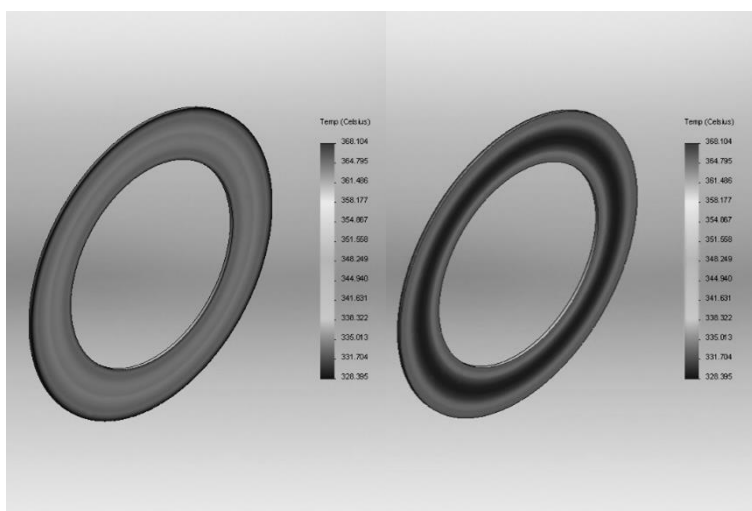


Рис. 9 – Епюра температури накладки при прикладенні потужності в 45 кВт

Також побудована епюра градієнта результативної температури рис. 10, з якої слідує, що максимальна зміна показання температури на одиницю відстані, складає $248^{\circ}\text{C}/\text{см}$, а мінімальне значення дорівнює $126^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

Епюра результативного теплового потоку рис. 11, також вказує на зменшення максимального значення до $3719 \text{ кВт}/\text{м}^2$, а мінімальне значення на зворотній стороні складає $2528 \text{ кВт}/\text{м}^2$.

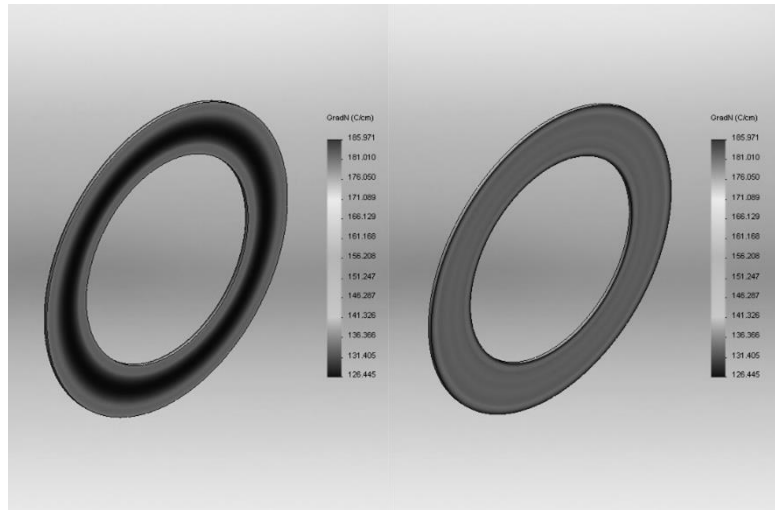


Рис. 10 – Епюра градієнта результативної температури при 45 кВт потужності

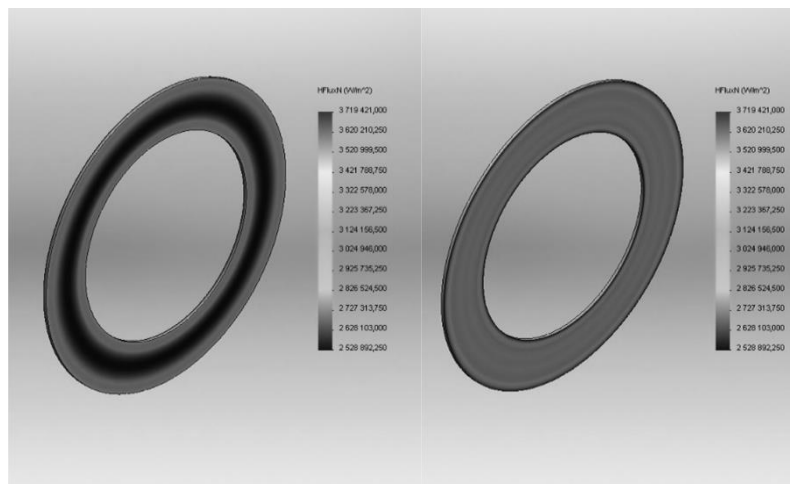


Рис. 11 – Епюра результативного теплового потоку в номінальному режимі роботи двигуна

В результаті проведеного дослідження слідує, що теплові показники фрикційного диска головної муфти при прикладенні на третину більшої потужності (60 кВт) в порівнянні з номінальним показником дозволяє без ризику перегріву, та руйнуванні використовувати спроектовану коробку передач. Так як існуючі сучасні матеріали дозволяють нормально функціонувати навіть при пікових показниках навантаження в температурному режимі до 800°C , та номінальному до 350°C .

Аналогічно проведений тепловий розрахунок при номінальній потужності в 45 кВт , показав результати, які не перевищують температурний режим в 368°C , що дає можливість

використання менш продуктивні, але набагато дешевші рішення, які відповідають вимогам по експлуатації без втрати своїх технічних характеристик.

Висновки. 1. Розроблена перспективна комбінована коробка передач легкового автомобіля.

2. Проведено дослідження використання механічних коробок передач в автомобільних заторах. У процесі дослідження проведено три експеримента в яких визначено відстань автомобільного затору, час роботи автомобіля на кожній передачі, час простою, загальний час у заторі та середня швидкість руху автомобіля в заторі. Аналізуючи проведені дослідження можливо зробити висновок, що водій з механічною трансмісією у заторах приймає на себе велике навантаження, яке полягає в постійній роботі з коробкою передач – перемикання куліси та робота з муфтою зчеплення, це тягне за собою стомлюваність водія та погіршення його самопочуття. Альтернативою для водія звісно є використання автоматичних трансмісій.

3. В роботі пропонується застосування нової альтернативної трансмісії, яка поєднує в собі механічну та автоматичну трансмісію. Запропонована трансмісія дозволить водію керувати автомобілем в звичайному режимі руху механічним шляхом, а у заторах в автоматичному, що дозволить водієві не втомлюватися в заторах та підвищить його ергономічні властивості.

4. В роботі виконано дослідження на температурний нагріву фрикційного диска головної муфти спроектованої коробки передач, теплові показники фрикційного диска головного зчеплення при прикладенні на третину більшої потужності (60кВт) в порівнянні з номінальним показником дозволяє без ризику перегріву, та руйнуванні використовувати напівавтоматичну коробку передач. Так як існуючі сучасні матеріали дозволяють нормально функціонувати навіть при пікових показниках навантаження в температурному режимі до 800°C, та номінальному до 350°C. Аналогічно проведений тепловий розрахунок при номінальній потужності в 45 кВт, показав результати, які не перевищують температурний режим в 368°C, що дає можливість використання менш продуктивні, але набагато дешевші рішення, які відповідають вимогам по експлуатації без втрати своїх технічних характеристик.

Список літератури:

1. Avto Consulting: інформаційно-аналитическая група [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autoconsulting.com.ua/>
2. Вікіпедія. Вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>
3. SolidWorks: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.solidworks.com/ru>
4. *Гаспарянц Г. А.* Конструкция, основы теории и расчета автомобиля: Учебник для машиностроительных техникумов по специальности «Автомобилестроение» - М.: Машиностроение, 1978. - 351с.
5. Конструирование и расчет автомобиля: Учебник для студентов вузов специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц и др. - М.: Машиностроение, 1984. - 376с.
6. *Островець О. О.* Розробка трьохвальної коробки передач легкового автомобіля з поперечним розташуванням двигуна [Електронний ресурс] / О. О. Островець // Priority directions of science and technology development : abstr. of the 6th Intern. sci. and practical conf., February 20-22, 2021 / М. L. Komarytskyu. – Electronic text data. – Kyiv, 2021. – P. 256-260. – URI: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53265>.
7. Статичне дослідження елементів самоблокувального диференціалу підвищеного тертя з метою збільшення його надійності і експлуатаційних характеристик / О. О. Островець [та ін.] // Збірник наукових праць Нац. ун-ту кораблебудування ім. адмірала Макарова / ред. кол.: С. І. Сербін. – Миколаїв : Гельветика, 2021. – № 1 (484). – С. 24-30.
8. *Островець О. О.* Дослідження застосування аксіально-поршневих компресорів в автомобільних системах кондиціонування / О. О. Островець // Вчені записки Тавр. нац. ун-ту ім. В. І. Вернадського. Сер. : Технічні науки. – 2020. – Т. 31 (70), № 3, ч. 2. – С. 109-118.
9. *Островець О. О.* Статичне дослідження елементів трьохвальної коробки передач легкового автомобіля з поперечним розташуванням двигуна / О. О. Островець // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Автомобіле- та тракторобудування : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 1. – С. 35-44.

References (transliterated)

1. Avto Consulting: information and analytical group [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.autoconsulting.com.ua/>
2. Wikipedia. Free encyclopedia [Electronic resource]. - Access mode: <https://uk.wikipedia.org/>
3. SolidWorks: official site [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.solidworks.com/ru>
4. Gaspariyants G. A. Design, fundamentals of the theory and calculation of the car: Textbook for engineering colleges in the specialty "Automotive" - М.: Mashinostroenie, 1978. - 351p.
5. Design and calculation of the car: Textbook for students of higher educational institutions of the specialty "Automobiles and tractors" / P. P. Lukin, G. A. Gasparyan and others - М.: Mashinostroenie, 1984. - 376s.
6. Ostroverkh O. O. Development of a three-way transmission of a passenger car with transverse gearing of the engine [Electronic resource] / O. O. Ostroverkh // Priority directions of science and technology development: abstr. of the 6th Intern. sci. and practical conf., February 20-22, 2021 / М. L. Komarytsky. – Electronic text data. - Kyiv, 2021. - P. 256-260. – URI: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53265>.
7. Static follow-up of the elements of the self-blocking differential of the advanced third with a method of increasing its superiority and operational characteristics / O. O. Ostroverkh [that in.] // Collection of science practices Nat. un-tu shipbuilding im. Admiral Makarov / ed. Col.: S. I. Serbian. - Mykolaiv: Helvetica, 2021. - No. 1 (484). - P. 24-30.
8. Ostroverkh O. O. Research of application of axial-piston compressors in automobile conditioning systems / O. O. Ostroverkh // Scientific notes of Tavr. nat. University named after VI Vernadsky. Ser. : Technical sciences. - 2020. - Vol. 31 (70), № 3, Part 2. - P. 109-118.
9. Ostroverkh O. O. Static research of elements of a three-shaft transmission of a car with a transverse location of the engine / O. O. Ostroverkh // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. Automobile and tractor construction: coll. Science. pr. - Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. - № 1. - P. 35-44.

Надійшла (received) 15.10.2021 р.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Островерх Олександр Олегович (Островерх Александр Олегович, Ostroverkh Oleksandr) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автомобіле- і тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-0286>; e-mail: ostrov.sasha@gmail.com.