

УДК 629.02

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.196-204](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.196-204)

**Я.В. Кужельний**, канд. техн. наук, **О.О. Аксьонова**, асист., **Д.С. Машковцев**, асист.  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна  
e-mail: [k.y.v.immortal@gmail.com](mailto:k.y.v.immortal@gmail.com)

## Аналіз конструктивних особливостей різних типів коробок перемикачів передач автомобілів

У роботі проведено аналіз конструкцій різних типів коробок перемикачів передач автомобілів. Наведено призначення, вплив на тягово-швидкісні властивості, а також, основні вимоги, які повинні забезпечувати КПП. Розглянуто особливості конструкції механічних двовальних та тривальних КПП. Наведено будова та основні елементи конструкції гідромеханічної передачі (ГМП), КПП із варіаторами та коробки передач із подвійним зчепленням. Виділено основні переваги та недоліки кожного типу розглянутих КПП, перспективи їх подальшого розвитку.

**коробка перемикачів передач, механічна, гідромеханічна передача, автоматична КПП, клиноремінний варіатор, тороїдний варіатор, КПП із подвійним зчепленням**

**Постановка проблеми.** Автомобілі комплектуються різними типами коробок перемикачів передач. Саме ці механізми впливають на тягово-швидкісні та динамічні властивості автомобіля. В залежності від типу коробки перемикачів передач керування ними може бути ручним, автоматичним або комбінованим. Аналіз конструктивних особливостей коробок перемикачів передач дає можливість визначити їх вплив на експлуатаційні властивості автомобілів, визначити їх переваги та недоліки, можливі напрямки розвитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основи конструкції сучасного автомобіля розглянуто в роботах [1, 2].

У роботі [3] досліджено динаміку розгону автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння та обладнаним безступінчастою автоматичною коробкою передач.

Робота [4] присвячена дослідженню динаміки автомобіля з дискретно-змінною і неперервно-змінною трансмісією. Розглянуто структуру, отримано залежності та показано ефективність автомобіля з неперервно-змінною трансмісією.

В роботі [5] проаналізовано та проведено порівняння сучасних конструкцій здвоєних зчеплень в складі трансмісій транспортних засобів. Наведено варіант удосконалення будови здвоєного зчеплення, яке забезпечує зменшення витрат енергії на управління та при передачі крутного моменту.

У роботі [6] було спроектовано комбіновану коробку передач легкового автомобіля. Ця коробка передач складається з механічної частини та варіаторної (безступінчастої). Проведено дослідження використання механічних коробок передач у автомобільних заторах. Описано принцип роботи спроектованої коробки передач та проведено дослідження температури нагріву фрикційного диску.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є аналіз конструктивних особливостей різних типів коробок перемикачів передач автомобілів.

**Виклад основного матеріалу.** До головних елементів трансмісії автомобіля відноситься коробка перемикачів передач (КПП). КПП призначена для зміни та передачі крутного моменту двигуна автомобіля в широкому діапазоні відповідно до сил зовнішнього опору та швидкості руху автомобіля. Також, коробка перемикачів передач дає можливість рухатись автомобілю заднім ходом.

КПП впливає на тягово-швидкісні властивості, що являють собою сукупність властивостей, які визначають можливі діапазони швидкостей руху і граничну інтенсивність розгону при русі автомобіля на тяговому режимі в різних експлуатаційних умовах. Чим кращі тягово-швидкісні властивості, тим менші витрати часу на перевезення. Відповідно, це сприятиме зростанню продуктивності автомобіля [7].

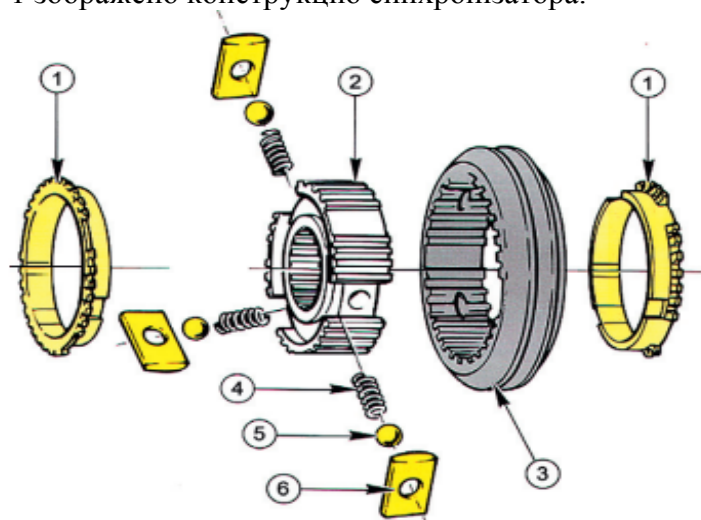
Коробка перемикачів передач повинна забезпечувати наступні вимоги:

- 1) високий коефіцієнт корисної дії;
- 2) необхідні тягово-швидкісні властивості автомобіля при заданих характеристиках двигуна;
- 3) легкість у керуванні та переключенні передач, безшумність під час роботи.

КПП, в залежності від конструкції, поділяються на: ступінчасті, безступінчасті та комбіновані.

До ступінчастих відносяться механічні КПП із зубчастими шестернями. Найчастіше, вони мають чотири, п'ять або шість передач переднього ходу та одну передачу заднього ходу. Також ступінчасті коробки передач у своїй конструкції можуть мати різне число валів. Відносно довгий час на автомобілях застосовувалися лише тривальні коробки передач. Крутний момент від двигуна передається за допомогою зачеплення на ведучий вал (первинний) коробки передач, на якому знаходиться шестерня. Паралельно ведучому валу розташовується проміжний вал з набором з'єднаних з ним шестерень. Ведучий вал знаходиться на одній осі з веденим (вторинним) валом і може бути з'єднаний з ним на пряму для отримання прямої передачі з передавальним числом, що дорівнює одиниці. Крім того, одна з шестерень проміжного валу знаходиться в постійному зачепленні з шестернею ведучого валу, а інші - з шестернями, що вільно обертаються на веденому валу. Для руху автомобіля заднім ходом встановлено ще одну шестерню між шестернею проміжного та шестернею веденого валу, що дозволяє веденому валу змінити напрямок свого обертання. Перемикачів передач здійснюється пересуванням шестерень, які по черзі входять у зачеплення з іншими шестернями, або блокуванням шестерень на валу за допомогою синхронізаторів [8].

На рисунку 1 зображено конструкцію синхронізатора.



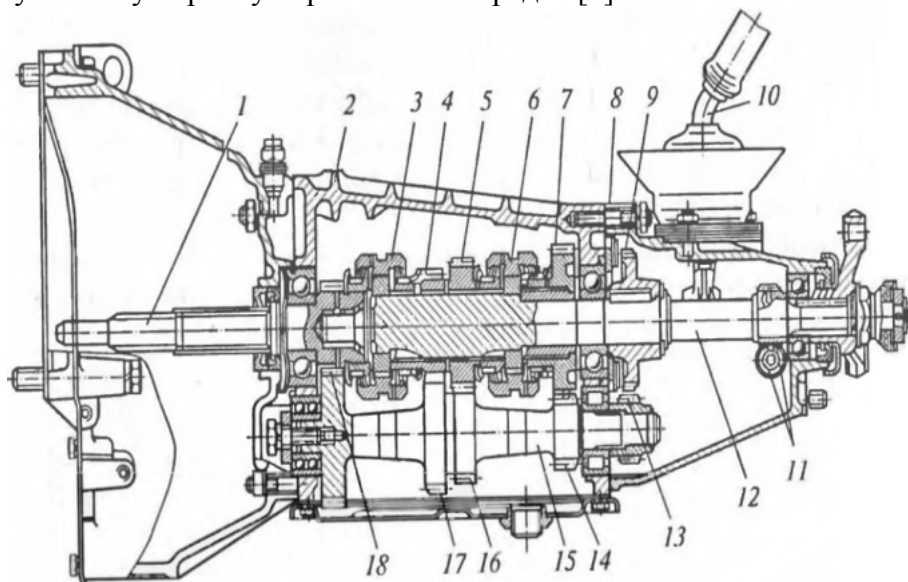
1 – блокуючі кільця; 2 – маточина; 3 – ковзуюча муфта включення; 4 – пружина;  
5 – кулька; 6 – сухар

Рисунок 1 – Конструкція синхронізатора

Джерело: [2]

Синхронізатор – спеціальна фрикційна муфта, яка забезпечує вирівнювання кутових швидкостей шестерень, що вільно обертаються на валу, з кутовою швидкістю самого валу і не допускає їх з'єднання поки кутові швидкості шестерні та вала не зрівняються.

В залежності від кількості валів, коробки перемикання передач бувають двовальні, тривальні та багатовальні. На рисунку 2 зображено трьохвальну чотирьохступінчасту коробку перемикання передач [9].



1 – ведучий вал; 2 – картер; 3,6 – синхронізатори; 4,5,7,9 – шестерні веденого вала; 8 – кришка;  
10 – ричаг; 11 – черв'ячна пара; 12 – ведений вал; 13 – шестерня заднього ходу; 15 – проміжний вал;  
14,16,17 – шестерні проміжного вала; 18 – шестерня ведучого вала

Рисунок 2 – Трьохвальна чотирьохступінчаста коробка перемикання передач

Джерело: [9]

Трьохвальні коробки характеризуються наявністю прямої передачі. При цьому на прямій передачі тривальна коробка має більш високий ККД, ніж двовальна, тому що в цьому випадку зменшуються втрати на тертя. На решті передач тривальної коробки в зачепленні знаходяться дві пари зубчастих коліс, у той час як у двох вальних — одна.

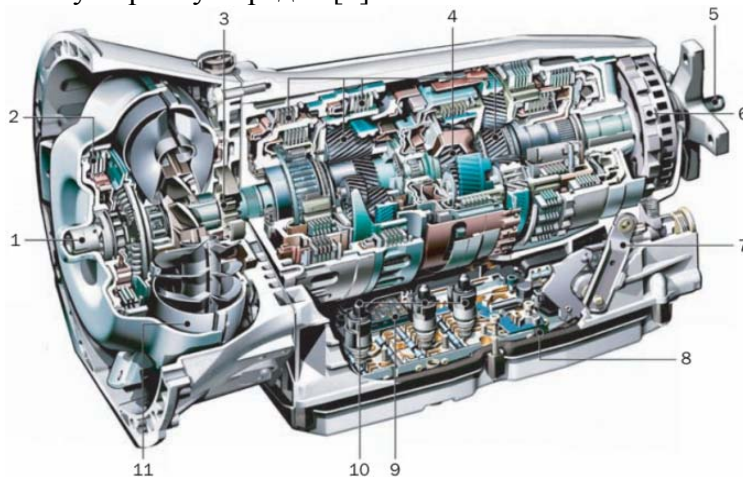
Двовальні коробки передач застосовуються в передньопривідних та задньопривідних (із заднім розташуванням двигуна) автомобілях. Конструктивно їх поєднують в одному блоці з двигуном, зчепленням, головною передачею та диференціалом. Поперечне розташування коробки дозволяє застосовувати головну передачу з циліндричними шестернями. При поздовжньому компонуванні застосовується головна передача з конічними або гіпоїдними шестернями, остання є більш складною у виготовленні та регулюванні. Основні переваги двовальних коробок передач: простота конструкції, невелика маса, високий ККД на проміжних передачах (при передачі крутного моменту бере участь лише одна пара шестерень).

У той же час у двовальній коробці передач немає прямої передачі (коли в передачі моменту не беруть участь шестерні) і максимальний ККД на вищій передачі нижче, ніж на прямій передачі тривальної коробки. Максимальне передавальне число однієї зубчастої пари коробки передач не повинно перевищувати деякої межі, близької до 4, перевищення якої призводить до збільшення габаритів і підвищення рівня шуму. Це обмежує сферу застосування двовальних коробок передач тільки легковими автомобілями малого класу.

Коробка, яка розміщена повздовжньо, може бути легко збільшена по довжині для розміщення додаткових передач. Поперечно розташований двигун та коробка передач мають обмеження по ширині, що визначається відстанню між колісними арками автомобіля.

Автоматична коробка перемикачів передач призначена для зміни передавального відношення в автоматичному режимі. До автоматичних КПП відносяться гідромеханічна коробка передач, клиноремінний та тороїдний варіатори, коробка передач із подвійним зчепленням.

Гідромеханічна передача (ГМП) має у своїй будові три основних частин: гідротрансформатор, механічна коробка передач та система керування. На рисунку 3 зображено гідромеханічну коробку передач [9].



- 1 – ведучий вал; 2 – фрикціон блокування гідротрансформатора з гасителем крутильних коливань;  
3 – масляний насос з контролем тиску; 4 – фрикціони та планетарні передачі; 5 – вихідний вал;  
6 – стоянкове гальмо; 7 – селектор; 8 – електронний блок керування; 9 – електронний блок  
переключення передач; 10 – високошвидкісні соленоїди; 11 – гідротрансформатор

Рисунок 3 – Гідромеханічна коробка передач

Джерело: [9]

КПП із варіаторами відносяться до безступінчастих та дають можливість отримати будь-яке передавальне число в заданому обмеженому діапазоні.

Особливість конструкції тороїдного варіатора полягає у тому, що між двома колесами, які мають тороїдну робочу поверхню, розміщуються ролики. Одне колесо ведуче, інше – ведене [9]. На рисунку 4 зображено загальний вигляд тороїдного варіатора.

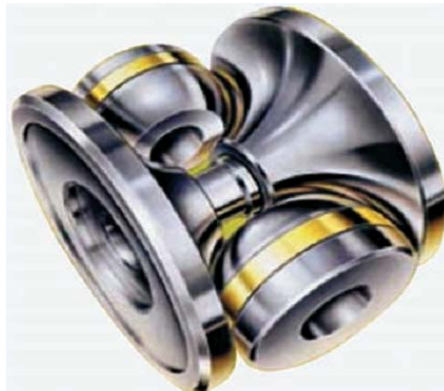


Рисунок 4 – Загальний вигляд тороїдного варіатора

Джерело: [9]

Передача крутного моменту здійснюється за рахунок сил тертя між колесами та роликками. Зміна передавального числа тороїдного варіатора відбувається за рахунок зміни положення осі роликів в поперечній площині.

На рисунку 5 наведено загальний вигляд коробки передач з клиноремінним варіатором.

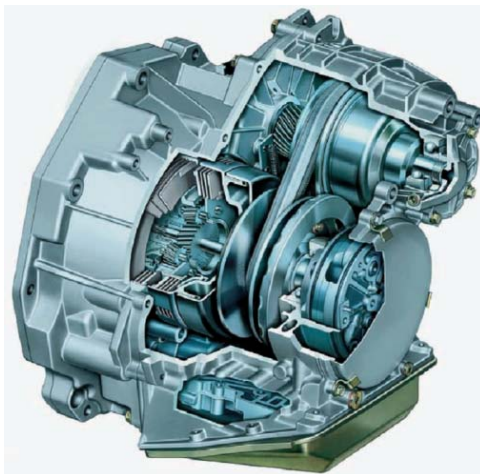


Рисунок 5 – Загальний вигляд коробки передач з клиноремінним варіатором

Джерело: [9]

До основних частин клиноремінного варіатора відносяться: шків, ремінь та система керування. Зміна крутного моменту відбувається за рахунок переміщення шківів. На рисунку 6 зображені положення роботи варіатора.

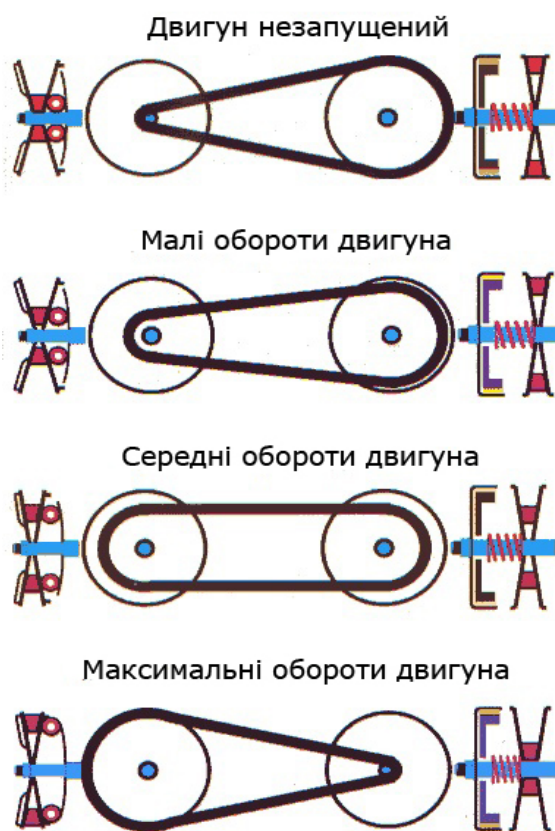


Рисунок 6 – Положення роботи варіатора

Джерело: [10]

Особливістю конструкції клиноремінного варіатора є розрізні конусні шківів ведучого і веденого валів, з'єднані приводним ремнем.

Момент тут передається, як і в будь-якій ремінній передачі, але її передавальне відношення може змінюватися. Для цього зсувають і розсувають конічні диски, що утворюють шківів ремінної передачі, зазвичай це робиться гідравлічним приводом під контролем електроніки. Причому переміщення конусів на обох шківів відбувається одночасно.

Якщо розсувати ведучі диски та здвигати ведені, то радіус обкатування на ведучих дисках зменшується, а на ведених збільшується – таким чином збільшується момент та зменшується швидкість. Коли обидва шківів перебувають у середньому положенні, передавальне відношення дорівнює одиниці. Якщо розсувати ведені диски і здвигати ведучі, то радіус обкатування на ведучих збільшується, а на ведених зменшується – збільшується швидкість і зменшується крутний момент.

Особливість конструкції коробки передач із подвійним зчепленням полягає у перемиканні передач без розриву потоку потужності. У коробці передач такого типу крутний момент від двухмасового маховика двигуна передається на два багатодискові зчеплення, які пов'язані з відповідними співвісними ведучими валами. Один із цих валів розміщується всередині іншого [9].

Паралельно ведучим валам розташовані два ведені вали. З одним із ведучих валів жорстко пов'язані ведучі шестерні непарних передач (1, 3, 5), а з іншим — ведучі шестерні парних передач (2, 4, 6 та передача заднього ходу). На ведених валах знаходяться шестерні постійного зачеплення відповідних передач, які можуть жорстко з'єднуватися з веденими валами за допомогою синхронізаторів. На рисунку 7 зображено коробку передач із подвійним зчепленням.

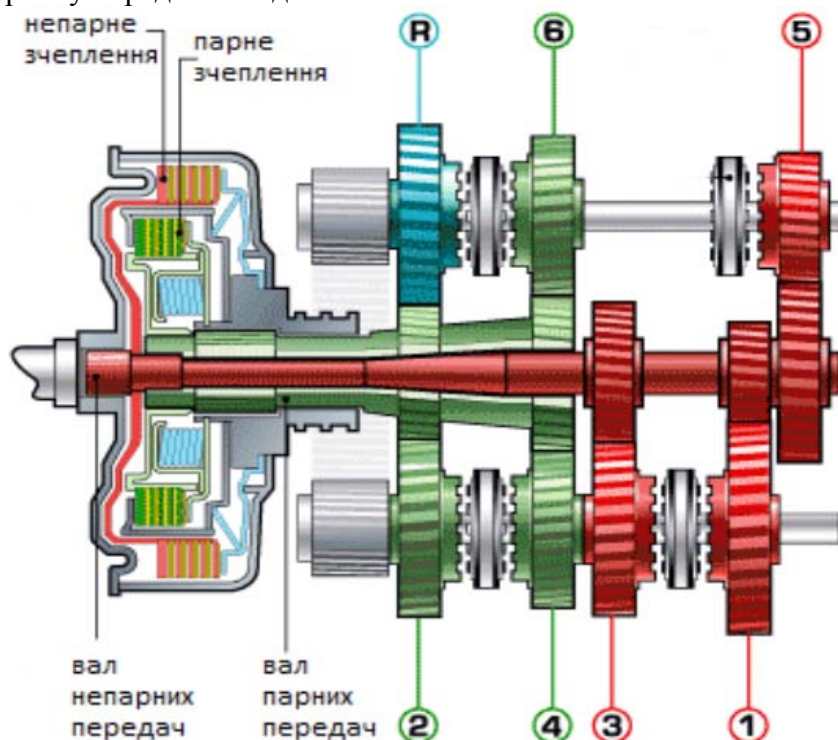


Рисунок 7 – Коробка передач із подвійним зчепленням

Джерело: [11]

Керування зчепленнями та переміщенням синхронізаторів здійснюється за допомогою гідравлічних виконавчих пристроїв. Необхідний тиск у гідравлічній системі

створюється електричним гідронасосом. Керує роботою коробки передач електронний блок керування, який отримує інформацію від датчиків, які розташовані у коробці, та пов'язаний високошвидкісною шиною з електронним блоком керування двигуном. На рисунку 8 наведено основні складові коробки передач із подвійним зчепленням.

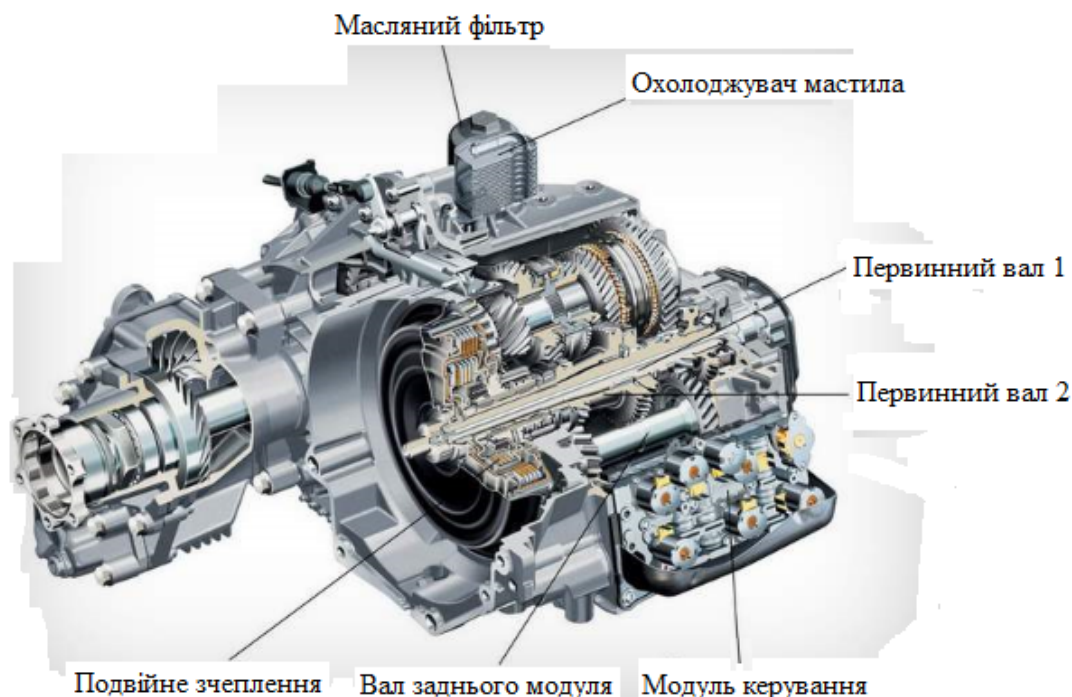


Рисунок 8 – Основні складові коробки передач із подвійним зчепленням

Джерело: [11]

**Висновки.** Проаналізувавши різні конструкції КПП, можна виділити їх переваги та недоліки.

Переваги механічної КПП полягають у простоті конструкції, невисокої вартості, простоті в обслуговуванні, діагностуванні та ремонті. Також деталі для ремонту мають невисоку вартість.

До недоліків можна віднести обмежений діапазон передавальних чисел, розрив потоку потужності під час перемикання передач (при цьому зменшуються тягові та швидкісні характеристики, погіршується динаміка розгону).

До основних переваг ГМП можна віднести відсутність педаль зчеплення, відсутність розриву потоку потужності при переключенні передач, що підвищує прохідність автомобіля, підвищення довговічності деталей трансмісії та двигуна за рахунок того, що гідротрансформатор знижує динамічні навантаження.

Основні переваги автоматичних коробок перемикання передач: простота та комфортність керуванням автомобілем, що призводить до зменшення втомленості водія, безрозривна передача потоку потужності, більший діапазон передавальних чисел, висока швидкодія.

До основних недоліків ГМП та автоматичних КПП відносяться: складність конструкції, висока вартість виготовлення, діагностування та ремонту, підвищена витрата потужності, яка обумовлена роботою виконавчих механізмів. На даний час конструктивні особливості варіаторів (для клиноремінного – ремінь, для торoidalного – пляма контакту диска та ролика) обмежують їх використання з двигунами великої потужності.

Механічна КПП зарекомендувала себе як простий у конструкції та надійний в експлуатації агрегат. Щодо автоматичних КПП, то перспективи їх розвитку полягають у розробці нових електронних систем керування та використання сучасних матеріалів із високими експлуатаційними показниками. Також одним із варіантів підвищення ефективності виробництва коробок перемикання передач є використання високопродуктивних способів механічної обробки [12, 13].

## Список літератури

1. Сирота В.І., Сахно В.П. Автомобілі. Основи конструкції. Навчальний посібник. Київ: Арістей, 2007. 288 с.
2. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems: automotive technology: vehicle maintenance and repair. Elsevier Ltd, 2011. Pp. 512.
3. Подригало М.А., Коряк О.О. Динаміка автомобіля з автоматичною безступінчастою коробкою передач. *Вісник ХНАДУ*. 2020. № 90. С. 73–79. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.73.
4. Миськів Т. Г. Динаміка автомобіля з дискретно-змінною і неперервно-змінною трансмісією. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів*. 2017. Т. 866. С. 181–187.
5. Сергієнко М.С., Свідло В.С., Кузьменко Л.В. Аналіз сучасних конструкцій здвоєних зчеплень транспортно-тягових машин. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2018. № 49 (1325). С. 50–57.
6. Островерх О.О. Розробка і впровадження комбінованої коробки передач та її застосування на легкових автомобілях. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія Автомобіле- та тракторобудування*. 2021. №1 С. 22–31. DOI: 10.20998/2078-6840.2021.1.03.
7. Волков В.П., Вільський Г.Б. Теорія руху автомобіля: Підручник. Суми: Університетська книга, 2010. 320 с.
8. Кисликов В.Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: підруч.. 6-ге вид. Київ: Либідь, 2006. 400 с.
9. Кальченко В.В., Кальченко В.І., Кужельний Я.В., Скляр В.М. Аналіз конструкцій коробок перемикання передач автомобілів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: зб. матеріалів конф. XI-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 26 - 27 травня 2021 р. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. Т. 1. С.108-109.
10. Вариатор. *Принцип роботи*: веб-сайт. URL: <http://zauto.com.ua/variator-pryntsyp-roboty/> (дата звернення: 17.03.2023).
11. Механічна коробка передач. *Роботизована КПП*: веб-сайт. URL: <https://avtoad.com.ua/base/mechanicna-korobka-peredac-robotizovana-kpp> (дата звернення: 17.03.2023).
12. Kalchenko V., Kalchenko V., Sira N., Kuzhelnyi Ya., Sklyar V. Model of milling the root and connecting rod necks of the crankshaft for one manufacturing process. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. Pp. 160-169. DOI: 10.1007/978-3-030-91327-4\_16.
13. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Кужельний Я.В., Морочко В.В. Експериментальне дослідження чистового однопрохідного шліфування циліндричної поверхні вала орієнтованим інструментом *Технічні науки та технології*. 2019. №2 (16). С. 54–61. DOI: 10.25140/2411-5363-2019-2(16)-54-61.

## References

1. Syrota, V.I. & Sakhno, V.P. (2007), *Avtomobili. Osnovy konstruktсии. Navchalnyi posibnyk [Basics of construction. Tutorial]*. Kyiv: Aristei [in Ukrainian].
2. Tom, D. (2011). *Automobile mechanical and electrical systems: automotive technology: vehicle maintenance and repair*. Elsevier Ltd [in English].
3. Podryhalo, M.A. & Koriak, O.O. (2020). Dynamika avtomobilia z avtomatychnoiu bezstupinchastoiu korobkoiu peredach [Dynamics of a car with an automatic continuously variable transmission]. *Visnyk KhNADU – Visnyk KhNADU, 90, 73–79* [in Ukrainian].
4. Myskiv, T. (2017). Dynamika avtomobilia z dyskretno-zminnoi i neperervno-zminnoi transmissiiei. [Vehicle dynamics with discrete-variable and continuously-variable transmission] . *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnik". Serie: Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i pryladiv – Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: Dynamics, strength and design of machines and devices, Vol. 866, 181–187* [in Ukrainian].



5. Serhiienko, M.Ie., Svidlo, V.S. & Kuzmenko, L.V. (2018). Analiz suchasnykh konstruktzii zdvoienykh zcheplen transportno-tiahovykh mashyn [Analysis of modern designs of double clutches of transport and traction machines]. *Visnyk NTU «KhPI» – Bulletin of NTU "KhPI", 49 (1325), 50–57.* [in Ukrainian].
6. Ostroverkh, O.O. (2021). Rozrobka i vprovadzhennia kombinovanoi korobky peredach ta yii zastosuvannia na lehkovykh avtomobiliakh. [Development and implementation of a combined gearbox and its application on passenger cars]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriiia Avtomobile- ta traktorobuduvannia – Bulletin of NTU "KhPI". Series of automobile and tractor construction, 1, 22–31.* [in Ukrainian].
7. Volkov, V.P. & Vil'skyi, H.B. (2010). *Teoriia rukhu avtomobilia [Theory of car movement]*. Sumy: Universytetska knyha [in Ukrainian].
8. Kyslykov, V.F. & Lushchuk, V.V. (2006). *Construction and operation of cars.* (6d ed.). Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
9. Kalchenko, V.V., Kalchenko, V.I., Kuzhelnyi, Ya.V. & Skliar, V.M. (2021). Analiz konstruktzii korobok peremykannia peredach avtomobiliv. [Analysis of car gearbox designs]. *Comprehensive quality assurance of technological processes and systems: XI-yi Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (26 - 27 travnia, 2021 r.) – XI International Science and Practice Conf* (pp. 108-109). Chernihiv: NU «Chernihivska politehnika», Issue 1 [in Ukrainian].
10. Variator. Pryntsyp roboty [Variator. Principle of operation]. *zauto.com.ua*. Retrieved from <http://zauto.com.ua/variator-pryntsyp-roboty/> [in Ukrainian].
11. Mekhanichna korobka peredach [Mechanical gearbox. Robotic checkpoint]. *avtoad.com.ua*. Retrieved from <https://avtoad.com.ua/base/mehanicna-korobka-peredac-robotizovana-kpp>. [in Ukrainian].
12. Kalchenko, V., Kalchenko, V., Sira, N., Kuzhelnyi, Ya. & Sklyar, V. (2021). Model of milling the root and connecting rod necks of the crankshaft for one manufacturing process. *Lecture Notes in Mechanical Engineering.* [in English].
13. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Kuzhelnyi, Ya.V. & Morochko, V.V. (2019). Eksperymentalne doslidzhennia chystovoho odnoprokhidnoho shlifuvannia tsylindrychnoi poverkhni vala oriientovanyim instrumentom [Experimental research of fine single-pass grinding of the cylindrical surface of the shaft with an oriented tool]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies, 2 (16), 54–61* [in Ukrainian].

**Yaroslav Kuzhelnyi**, PhD in Tech. Sci., **Olga Aksonova**, assistant, **Dmytro Mashkovtsev**, assistant  
*Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine*

### **Analysis of Design Features of Different Types of Car Gearboxes**

One of the important components of the car design is the gearbox, which is part of the transmission. It is the gearbox that is responsible for changing the direction of the car and its speed. This affects traction and dynamic properties in general. The purpose of this article is to analyze the design features of various types of car gearboxes.

The work analyzes the design features of various types of car gearboxes. The purpose of the gearbox, the effect on the traction-speed properties, which are a set of properties that determine the possible speed ranges and the maximum intensity of acceleration when the car is moving in the traction mode in various operating conditions, are given, as well as the main requirements that it should provide. The peculiarities of the construction of mechanical gearboxes, their structure, the principle of operation and the possibility of placement in a car are considered. The structure and main elements of the hydromechanical transmission (HMT) design are presented. It consists of three main parts: a torque converter, a manual gearbox and a control system. The design features of the gearbox with V-belt and toroid variators are considered. The principle of operation of variators, which ensures a stepless change of the gear ratio within the established limits, is presented. The design of the gearbox with a double clutch is considered, which ensures uninterrupted transmission of the power flow to the drive wheels. The gearbox is controlled by an electronic control unit, which receives information from sensors located in the box and is connected by a high-speed bus to the engine's electronic control unit.

The main advantages and disadvantages of each type of considered gearboxes are highlighted. The mechanical gearbox has proven itself as a unit that is simple in design and reliable in operation. The prospects for the development of the gearbox are the development of new electronic control systems, the use of modern materials with high performance indicators and the use of high-performance methods of mechanical processing.

**gearbox, mechanical, hydromechanical transmission, automatic gearbox, V-belt variator, toroidal variator, Dual-clutch gearbox**

*Одержано (Received) 24.03.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 29.03.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023*