

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВМИКАННЯ ПЕРЕДАЧІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ МЕХАНІЗМІ КЕРУВАННЯ КОРОБКОЮ ПЕРЕДАЧ

Михалевич М. Г.<sup>1</sup>, Сильченко М. М.<sup>1</sup>, Ярита О. О.<sup>1</sup>, Усков О. І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Лозівська філія Харківського державного автомобільно-дорожнього коледжу

**Анотація.** Проаналізовано динамічні процеси, що відбуваються в автоматизованому механізмі перемикання передач автотранспортного засобу, досліджено мотор-редуктор, визначені параметри, які впливають на робочий процес вмикання передач, розглянуті питання раціонального керування виконавчим електродвигуном під час вмикання передач в механічній коробці передач.

**Ключові слова:** перемикання передач, електромеханічний виконавчий механізм керування коробкою передач, жорсткість редуктора.

### Вступ

Покращення умов роботи водіїв за рахунок зменшення зусилля на керування трансмісією особливо актуально для великовантажних автомобілів та автобусів. Необхідність частого перемикання передач із значним зусиллям втомлює водія та призводить до бажання відмовитися від деяких операцій з керування трансмісією. Виконання нормативів щодо керування агрегатами трансмісії автомобільні виробники забезпечують шляхом використання різноманітних підсилюючих пристроїв для перемикання передач. В сучасних автомобілях такі виконавчі пристрої керуються автоматизованими та автоматичними системами керування [1, 2].

### Аналіз публікацій

Сучасним перспективним напрямом в автомобільній промисловості є автоматизація механічної ступінчастої коробки передач. Одним зі способів автоматизації процесу перемикання передач є використання спеціально розробленого автоматизованого механізму керування коробкою передач, яким дообладнується механічна коробка передач автомобіля. Світові виробники агрегатів для трансмісій вантажних автомобілів та автобусів, зокрема ZF Friedrichshafen AG (Німеччина) та Eaton (США) [3, 4], здійснюють розроблення електромеханічних приводів, тоді як WABCO (Бельгія) та КОРА (Росія) вважають, що основним варіантом вирішення цієї проблеми є вдосконалення електропневматичних механізмів перемикання передач. Вчені країн світу займаються теоретичними питаннями розроблення та впровадження цих систем та механізмів в автомобільній промисловості [5]. Виконавчим механізмом у таких

системах найчастіше є колекторний двигун постійного струму – поширений виконавчий механізм систем автоматики різноманітного призначення. Під час проведеного аналізу визначено [6], що, незважаючи на використання електродвигунів постійного струму в автомобільній техніці, особливості їх застосування для керування процесом вмикання передач в механічній коробці передач вивчені недостатньо.

### Мета та постановка задачі

Робота присвячена дослідженню та математичному аналізу динамічних процесів, які відбуваються в силовому мотор-редукторі електромеханічного механізму керування механічною коробкою передач. Обґрунтовано параметри мотор-редуктора для забезпечення швидкого та безударного вмикання передач.

### Дослідження робочого процесу вмикання передач в електромеханічному механізмі керування коробкою передач

Запропонований механізм системи керування механічною коробкою передач складається з двох мотор-редукторів: силового та селекторного [7]. Силовий мотор-редуктор відповідає за вмикання передач, селекторний – за вибір відповідного повзуна в механізмі керування коробкою передач. Силовий мотор-редуктор складається з електродвигуна постійного струму та шестеренчастого редуктора. Під час процесу вмикання передачі струм подається тільки на силовий двигун. Моделювання його характеристик наведено в літературі [6, 8]. Здійснення експериментальних досліджень дозволило проаналізувати робочий процес вмикання передач

[9]. У процесі вмикання передач на всіх режимах руху повзуна залежності мали характерні ділянки, незалежно від того, на якому повзуні розташована передача [1, 6]. Такими ділянками є:

- час переміщення до торкання конічних поверхонь синхронізаторів (ділянка АВ на рисунку 1);
- процес синхронізації кутових швидкостей шестерні та вала (ділянка ВС на рисунку 1);
- час переміщення повзуна до повного вмикання муфти синхронізатора (ділянка CD на рисунку 1);
- повернення на фіксатор ввімкненої передачі (ділянка праворуч від точки D на рисунку 1).

На останньому етапі вмикання всіх передач спостерігається незначне перевищення руху штока відносно необхідного для вмикання передачі. Це зумовлено тим, що під час повного вмикання передачі повзун переміщується на більшу величину завдяки переходу крізь фіксатор коробки передач. Після зняття живлення з електродвигуна завдяки зворотності редуктора повзун повертається на фіксатор [1, 6].

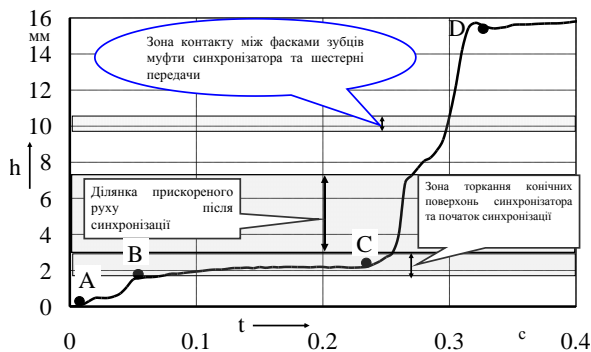


Рис. 1. Процес вмикання передачі [1, 6]

На діаграмі процесу вмикання передачі зазначено, що зона взаємодії зубців муфти та шестерні знаходиться вище, ніж ділянка прискореного руху, та не впливає на переміщення повзуна з синхронізатором. Фіксатори теж не впливають на переміщення повзуна на ділянці прискореного руху [1, 6].

Проаналізувавши зміну струму під час вмикання передачі (рис. 2), можна дійти таких висновків [1, 6]:

- на ділянці I (рис. 2) зміна сили струму пояснюється тим, що до точки 1 сила струму залежить від пускових особливостей електродвигуна. На ділянці 1–2 спостерігається спад, що пояснюється розгоном інерційних мас електродвигуна. Подальше збі-

льшення величини сили струму пояснюється торканням фрикційних кілець синхронізатора та зупинкою вала мотор-редуктора під навантаженням. Відомо, що в режимі старту та раптової зупинки електродвигуна, що працює, виникає значне підвищення сили струму в колі живлення. Також під час раптової зупинки за умови жорсткого упору важеля виникають значні динамічні навантаження на елементи привода перемикавання передач, тому максимальна сила струму обмежувалася реостатом [1, 6];

- після завершення синхронізації та розблокування синхронізатора різкий спад сили струму до точки 3 (ділянка II на рисунку 2) пов'язаний з використанням енергії, накопиченої в редукторі силового електродвигуна, та перетворення її на кінетичну завдяки крутильній жорсткості редуктора. Внаслідок використання накопиченої енергії для прискореного переміщення деталей механізму перемикавання відбувається короточасне збільшення сили струму (точка 4), оскільки внаслідок отриманого прискорення деталі переміщуються за інерцією, а сила струму плавно зменшується та дорівнює нулю за умови знеструмлення обмотки силового електродвигуна.

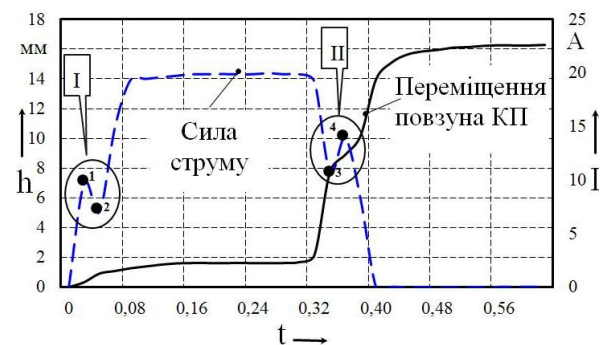


Рис. 2. Залежність сили струму та переміщення важеля перемикавання передачі під час робочого процесу [1, 6]

Для вивчення явища прискореного переміщення вилки із повзуном було здійснено дослідження силового електродвигуна з редуктором електромеханічного механізму перемикавання передач. Підтвердження гіпотези з використанням накопиченої енергії для швидкого переміщення вилки завдяки пружності редуктора можливе через математичне моделювання відповідного процесу електромеханічного механізму керування коробкою із пружним зв'язком.

Для визначення жорсткості редуктора силового електродвигуна було розроблено екс-

периментальний стенд (рис. 3), який складається зі станини, силового електродвигуна з редуктором, на вихідному валу якого жорстко закріплено важіль перемикання передач. На роторі електродвигуна встановлено датчик повороту для визначення кута його закручування. Інший кінець важеля перемикання жорстко спирається на станину. У такий спосіб обмежується вплив зазорів у механізмі керування коробкою на рух вала якоря.

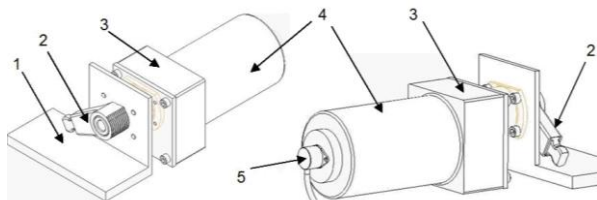


Рис. 3. Загальний вид стенда для визначення крутильної жорсткості редуктора силового електродвигуна [1, 6]: 1 – станина стенда; 2 – важіль перемикання передач; 3 – редуктор; 4 – електродвигун; 5 – датчик частоти обертання

Під час випробувань важіль перемикання блокувався нерухомо, а на обмотки електродвигуна подавалась різна сила струму. За цих умов за допомогою датчика фіксувався кут повороту вала електродвигуна. Відповідно до отриманих результатів вимірювань була побудована залежність кута закручування вала силового електродвигуна від сили струму на його обмотках (рис. 4) [1, 6].

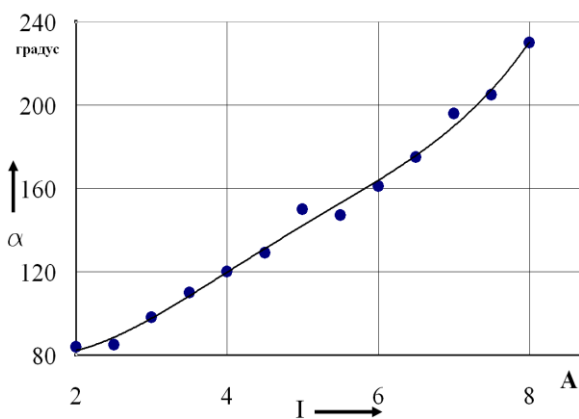


Рис. 4. Залежність кута закручування валау силового електродвигуна від сили струму на його обмотках [1, 6]

За отриманою залежністю була розрахована жорсткість редуктора силового електродвигуна механізму керування коробкою передач, що становить  $C_p = 29$  Н/градус та в

подальшому враховувалася під час моделювання роботи механізму [1, 6]. Результати математичного моделювання співпадають з результатами експериментального дослідження (рис. 5) [1, 6]. Аналізуючи результати математичного моделювання процесу вмикання передач, необхідно звернути увагу на процес руху важеля перемикання за умови використання редуктора силового електродвигуна з високою жорсткістю (умовна жорсткість редуктора під час моделювання –  $C_p = 1000$  Н/м) (рис. 6) [1, 6]. За таких умов не спостерігається ділянка прискореного руху важеля з повзуном, що корелюється з прийнятою гіпотезою.

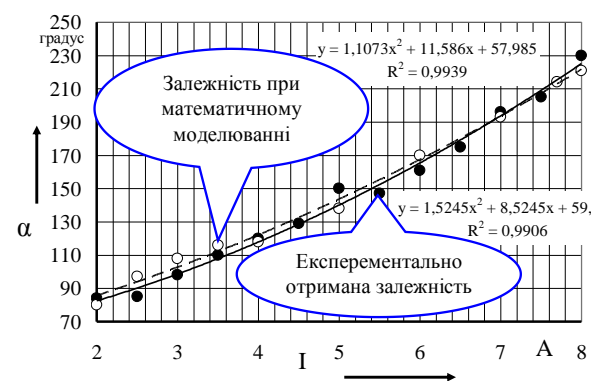


Рис. 5. Порівняння результатів експериментальних досліджень та математичного моделювання [1, 6]

Слід зазначити, що в цьому випадку час вмикання передачі більший, ніж відповідний проміжок під час вмикання передачі з використанням редуктора із визначеною експериментально жорсткістю. Збільшенню часу вмикання передачі сприяють два фактори. Першим є відсутність ділянки прискореного переміщення важеля та недостатня динаміка переміщення після етапу синхронізації кутових швидкостей вала та шестерні.

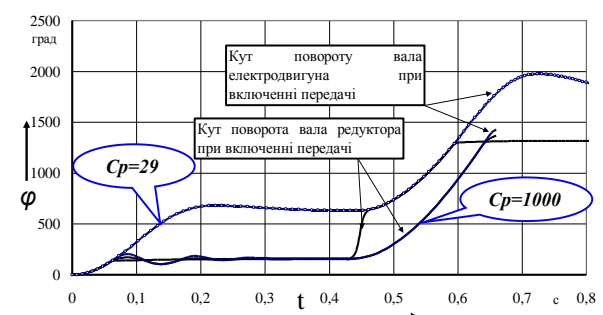


Рис. 6. Результати математичного моделювання вмикання передачі з різними параметрами редуктора

Другий фактор – коливальний тип руху важеля на початковому етапі процесу синхронізації. Розглянемо цю ділянку більш детально (рис. 7). Так, через високу жорсткість редуктора після торкання конічних поверхонь синхронізатором виникає відскок важеля перемикання, а з ним і конічної поверхні синхронізувального кільця від поверхні шестерні. На цьому етапі синхронізація тимчасово припиняється за відсутності контакту між деталями. На ділянці після 0,2 с виникає повторний зворотній рух важеля, що призводить до короткочасного зниження зусилля на синхронізатор [1, 6]. Ці явища негативно впливають на динаміку перемикання передачі, тобто збільшується час синхронізації та вмикання необхідної передачі.

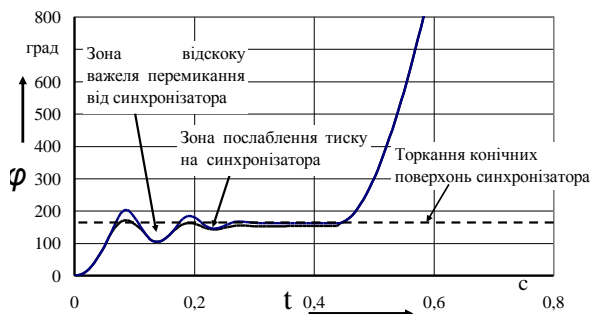


Рис. 7. Дослідження процесу вмикання передачі за умови абсолютно жорсткого редуктора силового електродвигуна [1, 6]

Моделювання динаміки вмикання передачі з різною жорсткістю редуктора силового електродвигуна демонструє, що зі збільшенням жорсткості редуктора зменшується ефект прискорення повзуна після синхронізації (рис. 6 та рис. 7) [1, 6].

Використовуючи в процесі моделювання різну жорсткість редуктора силового електродвигуна, були отримані залежності кутів повороту ротора електродвигуна відносно вала редуктора (важеля перемикання).

Як показано на рисунку 8 а, за низької жорсткості редуктора кут закручування вала ротора електродвигуна може бути більше, ніж кутове прискорене переміщення вихідного вала редуктора, на якому розташовано важіль, що переміщує синхронізатор. За таких умов протягом всього етапу вмикання передачі відбувається неконтрольоване прискорене переміщення важеля разом із синхронізатором. Це може створити ударні навантаження на зубці муфти вмикання передачі. Як показано на рисунку 8 б, уникнути цього явища можна за допомогою вибору жорстко-

сті редуктора, що забезпечить наявність ділянки прискореного переміщення та не поширить її на зону контакту зубців муфти вмикання передачі.

За допомогою результатів моделювання системи з різною жорсткістю редуктора можна пояснити прискорений рух повзуна коробки передач після процесу синхронізації. Під час синхронізації редуктор силового електродвигуна, який має певну жорсткість, дозволяє валу електродвигуна повернутися на деякий кут відносно нерухомого вала важеля перемикання. Після завершення синхронізації відбувається різке зростання швидкості переміщення важеля з повзуном та синхронізатором відносно закрученого на редукторі вала електродвигуна через суттєву різницю в інерційності та наявність високого передавального числа редуктора [1, 6]. Після вирівнювання їхніх положень відбувається взаємопаралельне переміщення (рис. 9), оскільки зусилля, що виникають у системі, не викликають суттєвого закручування редуктора.

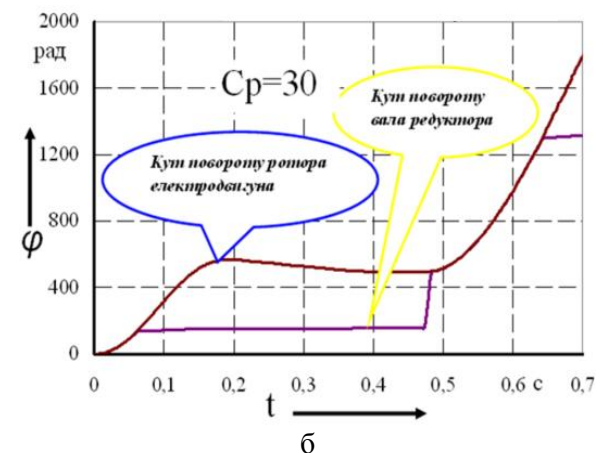
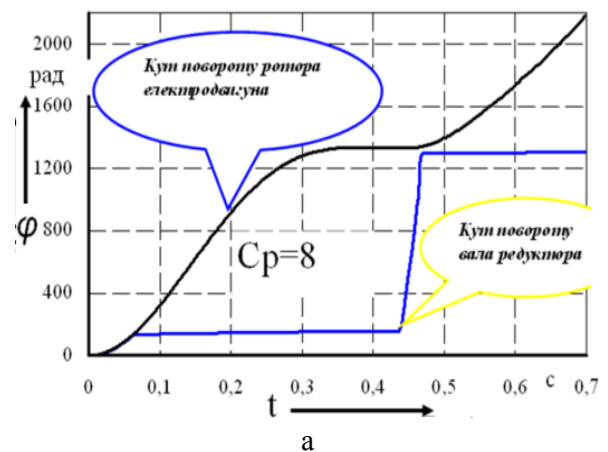


Рис. 8. Тип зміни кутів закручування ротора електродвигуна [1, 6]: а – робочий процес вмикання передачі за низької жорсткості редуктора; б – робочий процес вмикання передачі за середньої жорсткості редуктора

Слід зазначити, що наявність відповідної жорсткості редуктора силового електродвигуна дозволяє уникнути ефекту коливального руху важеля в процесі торкання синхронізаційного кільця синхронізатора з кінцевою поверхнею шестерні. Цим забезпечується більш стабільне зусилля на етапі синхронізації.

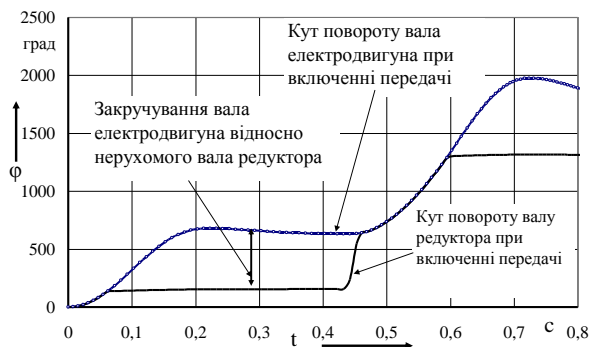


Рис. 9. Динаміка повороту важеля перемикачів передач відповідно до жорсткості редуктора силового електродвигуна [1, 6]

Виразений процес закручування редуктора здійснюється не тільки на етапі синхронізації, а й під час повного вмикання передачі за умови несвоєчасного знеструмлення обмоток силового електродвигуна. На відміну від етапу синхронізації, де закручування має позитивний ефект, на етапі повного вмикання передачі закручування валу електродвигуна призводить до негативних наслідків, насамперед до самовільного вимкнення передачі та перевантаження редуктора, його вихідного валу важеля з вилкою та синхронізатором. [1, 6] Оскільки відстань, яку долає синхронізатор під час етапу вмикання передачі, більша, ніж відстань на етапі руху до торкання поверхонь синхронізатора, то й динамічні навантаження після повного вмикання вищими, ніж ті, що виникають на етапі синхронізації.

### Висновки

Дослідження демонструє, що жорсткість редуктора має суттєвий вплив на робочий процес вмикання передачі.

Жорсткість редуктора для силового електродвигуна, що визначена експериментально становить 29 Н/м.

Експериментально встановлено, що кут закрутки вихідного валу редуктора силового електродвигуна досягає 200° під час дії максимального навантаження.

За результатами дослідження визначено тип виникнення процесу прискореного переміщення важеля перемикачів передач.

Обґрунтовано критерії вибору жорсткості редуктора силового електродвигуна для електромеханічного механізму керування механічною коробкою передач.

За допомогою математичного моделювання визначено, що висока жорсткість елементів сполучення між силовим електродвигуном та важелем вмикання передач негативно впливає на стабільності зусилля під час етапу синхронізації та час вмикання передачі.

Занадто низька жорсткість редуктора силового електродвигуна може стати причиною виникнення ударних навантажень на муфті вмикання передачі.

### Література

1. Сильченко М. М. Вдосконалення автоматизованої системи керування механічною коробкою передач транспортних засобів категорії N3 та M3: автореф. дис. канд. техн. наук. Харків, 2019. 20с.
2. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов: монография. Минск: БНТУ, 2015. 295 с.
3. Анализ существующих конструкций трансмиссий / Богомолов В. А., Клименко В. И., Михалевич Н. Г., Сильченко Н. Н. Автомобильный транспорт. 2010. №27. С. 17–21.
4. Сосин Д. А., Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. 240 с.
5. Недялков А. П., Блохин А. Н. Применение опережающих технических решений при создании механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением. Наука и образование. 2011. №2. С. 1–18.
6. Сильченко М. М. Вдосконалення автоматизованої системи керування механічною коробкою передач транспортних засобів категорії N3 та M3: дис. канд. техн. наук: 05.22.02. / Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2019.
7. Механізм автоматизованого перемикачів передач: пат. 93788 Україна: МПК F16H 59/00. № 201405714; заявл. 27.05.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. №19.
8. Михалевич М. Г., Сильченко Н. Н. Усовершенствование параметров модели электродвигателя механизма переключения передач в трансмиссии автотранспортных средств. Автомобиль і електроніка. Сучасні технології. Харків: ХНАДУ. 2018. Вип. №13. С. 42–47.
9. Результаты экспериментальных исследований механизма управления коробкой передач /

Богомолов В. А., Клименко В. И., Михалевич Н. Г., Кальянов Г.К. Автомобільний транспорт. Харків: ХНАДУ. 2011. Вип. № 29. С. 126–128.

### References

- Sylchenko M. M. Vdoskonalennia avtomatyzovanoi systemy keruvannia mekhanichnoiu korobkoiu peredach transportnykh zasobiv katehorii N3 ta M3. (2019) [Improvement of the automated control system of the mechanical transmission of vehicles of category N3 and M3] avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Kharkiv. 2019. 20s [in Ukraine]
  - Kusyak V. A. Ruktshel O. S. (2015) Proektirovanie avtomatizirovannykh mehatronnykh sistem upravleniya silovym agregatom gruzovykh avtomobiley i avtopoezdov [Design of automated mechatronic powertrain control systems for trucks and road trains]: monografiya. Minsk. BNTU. 295 s. [in Russian]
  - Analiz suschestvuyuschih kons-truktsiy transmissiy. [Analysis of existing transmission designs] / Bogomolov V. A., Klimenko V. I., Mihalevich N. G, Bogomolov V. A. (2010). Avtomobilnyy transport. 27. 17–21. Sbornik nauchnykh trudov [in Russian].
  - Sosin D. A., Yakovlev V. F. (2005) Noveyshie avtomobilnye elektronnye sistemy [Latest Automotive Electronic Systems]. Moskva: SOLON-Press. [in Russian]
  - Nedyalkov, A. P., Blohin A. N. (2011). Primenenie operezhayuschih tehnikeskikh resheniy pri sozdanii mekhanicheskikh stupenchatykh korobok peredach s avtomatizirovannym upravleniem [The use of advanced technical solutions in the creation of mechanical stepped transmissions with automatic control]. Nauka i obrazovanie. 2. 1–18 [in Russian].
  - Sylchenko M. M. Vdoskonalennia avtomatyzovanoi systemy keruvannia mekhanichnoiu korobkoiu peredach transportnykh zasobiv katehorii N3 ta M3. (2019) [Improvement of the automated control system of the mechanical transmission of vehicles of category N3 and M3] dys. kand. tekhn. nauk: 05.22.02. Kharkivskiy natsionalnyi avtomobilno-dorozhniy universytet. Kharkiv. [in Ukraine]
  - Mekhanizm avtomatyzovanoho peremykannia peredach: pat. 93788 (2014) / [The mechanism of automated gear shifting]. МПК F16H 59/00. № 201405714; zaiavl. 27.05.2014; opubl. 10.10.2014. №19. [in Ukraine]
  - Mihalevich M. G., Silchenko N. N. (2018) Uovershenstvovanie parametrov modeli elektrodvigatelya meha-nizma pereklyucheniya peredach v transmissii avtotransportnykh sredstv. [Improvement of the parameters of the electric motor model of the gearshift mechanism in the transmission of motor vehicles] Avtomobil i elektronika. Suchasni tehnologiiYi. Harkiv: HNADU. 13. 42–47. [in Russian]
  - Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy mehanizma upravleniya korobkoiu peredach. [Results of experimental studies of the gearbox control mechanism] / Bogomolov V. A., Klimenko V. I., Mihalevich N. G., Kalyanov G. K. Avtomobilnyy transport. Harkiv. HNADU. 2011. 29. 126–128. [in Russian]
- Михалевич Микола Григорович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула, +38 050-343-18-27, [mkolyag@gmail.com](mailto:mkolyag@gmail.com); ORCID: 0000-0001-9890-3838
- Сильченко Микола Миколайович**<sup>1</sup>, асистент кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула, тел. +38 050-975-57-16, [mykola.sylchenk@gmail.com](mailto:mykola.sylchenk@gmail.com).
- Ярита Олександр Олександрович**<sup>1</sup>, доцент кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула, +38 099-982-20-81, [aleks.yarita@gmail.com](mailto:aleks.yarita@gmail.com)
- Усков Олексій Іванович**<sup>2</sup>, заступник завідувача з НБР, +380501359221, [aleks.yarita@gmail.com](mailto:aleks.yarita@gmail.com)
- <sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,  
<sup>2</sup>Лозівська філія Харківського державного автомобільно-дорожнього коледжу, вул. Вишнева, 15, м. Лозова, 64604.
- Исследование рабочего процесса включения передачи в электромеханическом механизме управления коробкой передач**  
**Аннотация.** Рассмотрены динамические процессы, протекающие в автоматизированном механизме переключения передач автотранспортного средства, исследованы мотор-редуктор, определены параметры, которые влияют на рабочий процесс включения передачи, рассмотрены перспективные рациональные управления исполнительным электродвигателем при включении передачи в механической коробке передач.  
**Ключевые слова:** переключение передач, электромеханический исполнительный механизм управления коробкой передач, жесткость редуктора.
- Михалевич Николай Григорьевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент каф. автомобилей им. А. Б. Гредескула, +38 050-343-18-27, [mkolyag@gmail.com](mailto:mkolyag@gmail.com); ORCID: 0000-0001-9890-3838
- Сильченко Николай Николаевич**<sup>1</sup>, асистент каф. автомобилей им. А. Б. Гредескула, тел. +38 050-975-57-16, [mykola.sylchenk@gmail.com](mailto:mykola.sylchenk@gmail.com).
- Ярита Александр Александрович**<sup>1</sup>, доцент каф. автомобилей им. А. Б. Гредескула, +38 099-982-20-81, [aleks.yarita@gmail.com](mailto:aleks.yarita@gmail.com)
- Усков Олексій Іванович**<sup>2</sup>, заступитель заведующего по НБР +380501359221, [aleks.yarita@gmail.com](mailto:aleks.yarita@gmail.com)
- <sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, г. Харьков, Украина,  
<sup>2</sup>Лозовской филиал Харьковского государственного автомобильно-дорожного колледжа, ул. Вишнёвая, 15, 64604, г. Лозовая.

**Studying working process of shifting the gear in electromechanical mechanism of gearbox control**

**Abstract. Problem.** The article is devoted to improvement of operational parameters of electromechanical automated drive of gear shift of heavy trucks and buses, improvement of the design of the actuator of the gearbox drive gear control, optimizing operation of the algorithm of controlling the automated electromechanical drive of gear shift.

**Goal.** By analyzing information sources, requirements are set for the automated gearbox drive. On the basis of the analysis of existing designs of the gearshift drives in the mechanical transmission boxes, it was concluded that it is expedient to further improve the electromechanical drive of the gear shift with the actuators on the basis of DC motors, as the most current for use in transmission of heavy trucks and buses. **Methodology.** The main disadvantage of such structures at the moment is seen in the lack of universality of the analogues considered, concerning their use in gearboxes of different production. This, in turn, negatively affects the cost and reliability of the drive. **Results.** The dynamical processes taking place in the automated switching mechanism are considered, the mathematical model of the electric motor is investigated and the parameters are determined which influence the work process, the types of electric motors used in the technique, the equations used in mathematical modeling are described, the prospects of rational gearbox control are considered. According to the results of the analysis of the obtained results for further improvement, the design of the actuating mechanism of gear shift with two electric motors of direct current of own design is proposed. It is determined

that the proposed new interconnections between the structural elements of the gearshift mechanism allow simultaneously obtaining the required speed of the drive, high accuracy of the adjustment, and provide the necessary effort on the synchronizer. A mathematical description of the working process of transmission switching on by automated electromechanical drive of gear shift is executed.

**Practical value.** The mathematical model of the executive mechanism of the electromechanical drive gearbox transmission includes: differential equations that describe the operation of the electric motor of the direct current, as well as the equation of connection.

**Key words:** gearshift, gear shift automatic controls, mathematical modeling.

**Mykhalevych Mykola**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., automobiles Department named A.B. Gredeskul, [mkolyag@gmail.com](mailto:mkolyag@gmail.com), tel. +380503431827; ORCID: 0000-0001-9890-3838

**Silchenko Mykola**<sup>1</sup>, Ph.D., assistant automobiles Department named A.B. Gredeskul, [mykola.sylchenk@gmail.com](mailto:mykola.sylchenk@gmail.com), tel. +380509755716,

**Yaryta Alex**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., automobiles Department named A.B. Gredeskul, +380999822081, [aleks.yarita@gmail.com](mailto:aleks.yarita@gmail.com)

**Uskov Oleksii**<sup>2</sup>, Deputy Head of SEW, +380501359221, [aleks.yarita@gmail.com](mailto:aleks.yarita@gmail.com)

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>2</sup>Lozova branch of Kharkiv State Automobile and Highway College, Vishneva, 15, 64604, Lozova.