

УДК 629.113

В.П. Сахно, д.т.н., проф.**О.М. Тімков, к.т.н., доц.***Національний транспортний університет, м. Київ, Україна*

ДО ВИБОРУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА АВТОПОЇЗДІВ

Показано, що розташування накопичувачів на причіпних ланках автопоїзда дозволяє легко вирішити проблему енергозабезпечення автоматизованих систем керування коліс та осей причіпних ланок та розширити використання конструкції активних автопоїздів різного призначення. Використання мотор-колів відкриває нові технічні можливості у створенні колісних машин принципово нової конструкції, для яких трансмісія у вигляді індивідуального електроприводу є найбільш виправданою.

Ключові слова: автопоїзд, причіпні ланки, колісні машини, електропривод, накопичувач, мотор-колеса.

Проблемою створення екологічно чистих та енергоефективних транспортних засобів займаються доволі давно. Проте уваги щодо цього питання відносно вантажних автомобілів та автопоїздів приділяється недостатньо.

Черговим завданням розвитку конструкції автопоїздів є: зменшення витрат палива за рахунок нових дизелів, використанням двигунів, що працюють на природному газі, гібридних силових установок, рекуперативного гальмування, всебічного зниження власної маси, зниження опору коченню шин і аеродинамічного опору модифікацій для міжміських перевезень, оптимізація передаточних чисел трансмісії, зменшення шуму двигуна тощо. Крім того, в процесі експлуатації автопоїздів важливим є зведення до мінімуму числа відмов і зменшення трудомісткості технічного обслуговування та ремонту, застосування централізованих систем, що відстежують роботу різних агрегатів та надають можливість водієві контролювати допустимі навантаження на напівпричіп і тягач, а також розподіл маси на тягово-зчіпний пристрій і осі напівпричепа.

Вперше на державному рівні про подальше удосконалення конструкції автопоїздів заговорили у 2009 році у США. Підвищенням ефективності магістральних автопоїздів досягається зменшення кількості нафтопродуктів, що ними споживаються, і зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу. Комерційні вантажні автомобілі і автопоїзди, які включають в себе 8-й клас транспортних засобів, забезпечують перевезення 80% вантажів в країні. Незважаючи на те, що їх доля у загальній кількості транспортних засобів складає лише 4%, вони використовують близько 20% споживаного палива [1].

В усіх країнах світу спостерігається тенденція до подальшого збільшення продуктивності перевезень за рахунок збільшення габаритної довжини автопоїздів та гранично допустимих навантажень на осі автомобіля-тягача і причіпних ланок. Так, у країнах Європи осьове навантаження ведучої осі тягача збільшено до 11,5 т, у США до 11,8 т (замість існуючого 10 т), а у Франції, Іспанії, Греції, Бельгії, Люксембурзі – до 13 т [2]. Компанія Frigoblock збільшує довжину рефрижераторних автопоїздів у складі тягача з надбудовою та причепа з 18,75 до 21 м, а стандартного автопоїзда у складі сидельного тягача і напівпричепа – з 16,5 до 17,9 м. Крім того, законодавчо збільшується довжина напівпричепа з 13,6 до 15 м. Для триланкових автопоїздів EuroCombi (тягач з надбудовою плюс підкатний візок і стандартний напівпричіп) передбачається їх подовження від 25,25 м до 26,6 м [3]. Збільшення габаритної довжини вимагає використання керованих, самовстановлювальних коліс та осей причіпних ланок.

Основні заходи з підвищення енергоефективності вантажного транспорту можна представити схематично на рисунку 1.

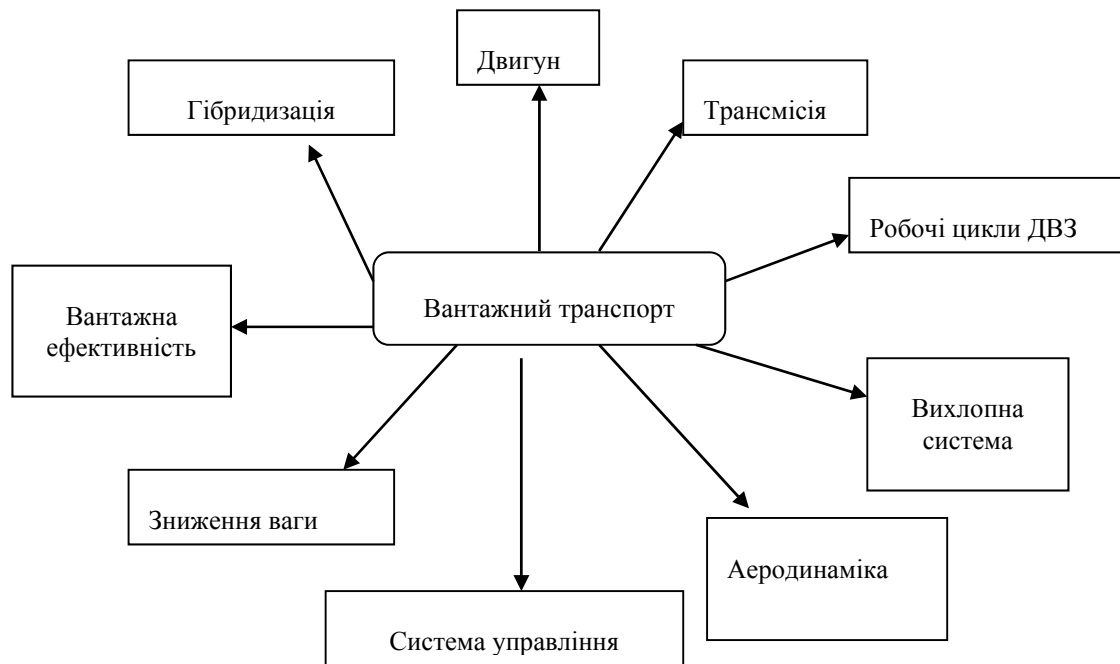


Рис. 1 – Заходи з підвищення енергоефективності вантажного транспорту

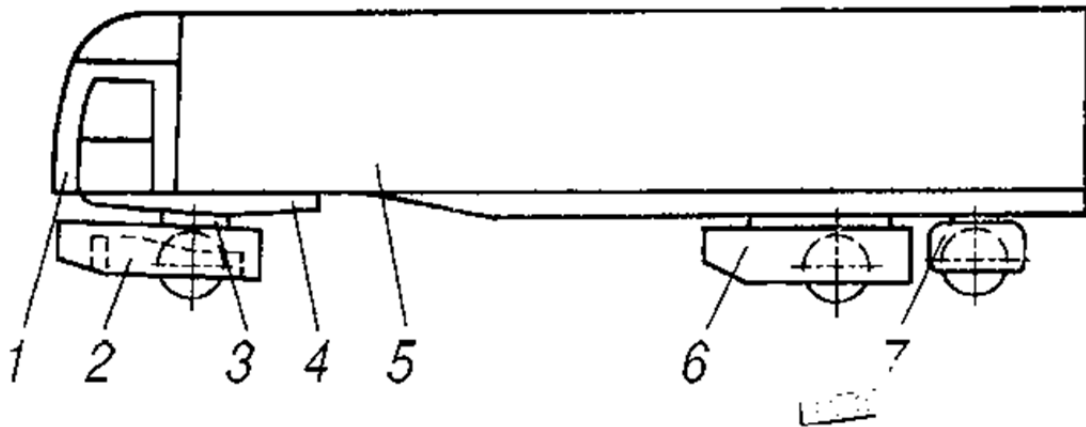
Вперше, інформація про модульні конструкції автопоїздів з'явилась наприкінці сорокових років у США. Фірма Vohn з Детройта представила конструкцію автопоїзда майбутнього, яку планувала реалізувати к 60-м рокам.

У 1988 році генеральним конструктором заводу МАЗ був М.С. Висоцький, який представив на виставці модульну конструкцію автопоїзда МАЗ-2000 «Перестройка» [4–7].

Модульні автопоїзди складаються з наступних частин (рис. 2):

- модуль «кабіна» (робоче місце і місце відпочинку водія, органи управління автопоїздом);
- тяговий модуль (силовий агрегат з системами забезпечення його роботи і провідними колесами);
- модуль рульового управління (поворотний шарнір, виконавчий механізм повороту і сидельно-зчпний пристрій, об'єднані рамою);
- транспортний модуль (підрамник з веденими колесами і додатковим обладнанням – паливний бак, запасне колесо, шухляда для інструментів та ін.);
- модуль «вісь» (підрамник з веденою віссю);
- модуль «рама» (рама з уніфікованими приєднувальними елементами для кріплення всіх модулів);
- вантажний модуль (вантажна платформа з несучою рамою, що представляє собою змінний кузов).

З'єднання всіх модулів в єдину систему дозволяє отримати найпростіший варіант модульного автопоїзда в складі напівпричепа і одновісного тягача, об'єднаних в єдиний блок (систему) з коробкою передач і редуктором ведучого моста розрізного типу, з незалежною пневмопідвіскою ведучих односкатних коліс.



1 – модуль кабіни, 2 – тяговий модуль, 3 – рульове керування, 4 – рама,
5 – вантажний модуль, 6 – транспортний модуль, 7 – модуль осі

Рис. 2 – Модулі автопоїзда МАЗ–2000

Кабіна автопоїзда закріплена на поворотній відносно ходової частини рамі, забезпеченою зчпним пристроєм і фіксаторами для з'єднання з рамою напівпричепи. При цьому поворотна рама, кабіна та напівпричіп утворюють єдину систему.

Одновісний тягач в передній частині забезпечений висувним опорним керованим колесом, за допомогою якого він може самостійно пересуватися, наприклад для зчпки з напівпричепом.

Шляхом поєднання уніфікованих модульних ланок можна отримати різні автопоїзди з різною кількістю осей, різною вантажопідйомністю, а також з різним числом вантажних модулів (ланок), тягових модулів. При цьому слід зазначити, що зчленування одновісного тягача з напівпричепом утворює, по суті, єдиний транспортний засіб з властивостями руху довгобазного автопоїзда.

Зчленування вантажного модуля з модулями осі і транспортним модулем за допомогою модуля рами утворює напівпричіп з підкатним візком. Автопоїзд з підкатним візком напівпричепи має можливість залишати з різною метою вантажний модуль на місці виконання роботи, не пов'язаної з перевезенням вантажів, а підкатний візок, з'єднуючись з одновісним тягачем, перетворює його таким чином в багатовісне транспортне шасі і дає йому можливість самостійно пересуватися зі швидкістю не нижчою швидкості транспортного потоку на значні відстані для з'єднання з наступною причіпною ланкою.

Автопоїзди такої конструкції утворюють окрему схему модульних автотранспортних засобів (АТЗ) з підкатним колісним візком. Установка колісних візків напівпричепи стаціонарно на рамі останнього (без посередництва проміжного модуля рами) дозволяє отримати іншу схему АТЗ (без підкатних візків). Така конструкція дає можливість за рахунок компоновальних рішень усунути ряд недоліків класичної компоновальної схеми і отримати наступні переваги. Загальна довжина автопоїзда сягає 47 м, при повній масі майже 99 т.

Сьогодні цей проект не набув поширення на дорогах країн СНД внаслідок потреби зміни всієї структури автомобільних перевезень. Більші можливості до практичної реалізації сьогодні мають конструкції автопоїздів з гібридними силовими установками (ГСУ) та активними причіпними ланками.

Максимальна потужність силової установки автомобіля згідно теорії його руху обирається виходячи з потужності сил опору, що діють на нього, і визначається за формулою:

$$P_v = \frac{\psi_v G_a V_{\max} + W V_{\max}^3}{1000 \eta_m} \quad (1)$$

Вихідними величинами є коефіцієнт опору дороги ψ_v при максимальній швидкості V_{\max} , повна маса автомобіля G_a , максимальна швидкість руху, фактор обтічності W та коефіцієнт корисної дії трансмісії η_m . Це справедливо для будь якого типу силової установки.

Значення максимальної потужності гібридної силової установки визначається за виразом (1). Проте постає питання обґрунтування розподілу потужності, швидкісного діапазону роботи та алгоритму спільної роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та електродвигуна. При проектуванні автомобілів з ГСУ потрібно вирішувати наступні задачі:

- забезпечення руху автомобіля з ГСУ в міському циклі з мінімальними викидами шкідливих речовин.
- збереження та/або поліпшення динамічних та швидкісних властивостей автомобіля з ГСУ на рівні існуючих аналогів з ДВЗ.
- вибір алгоритму роботи силової установки при розгоні та рекуперативному гальмуванні автомобіля з ГСУ.
- забезпечення зменшення витрати палива при русі в замському циклі.

При виборі потужності електродвигуна для ГСУ слід враховувати непостійність режиму його роботи, можливий реверс, короткочасну роботу з перевантаженням при розганянні. На-сьогодні існує 8 номінальних режимів, що згідно міжнародної класифікації умовно позначаються S1 – S8 [8]. Вони відрізняються один від одного здатністю до перевантаження. Сучасні електродвигуни можуть витримувати роботу з перевантаженням до 1,5...3 разів протягом 10...15 хв. При встановленні на автомобіль під час розганяння протягом 10...20 с електродвигуни здатні витримувати ще більше перевантаження, до 10 разів, головне в цьому випадку – забезпечення його оптимального теплового режиму. Такий підхід дозволяє значно знизити номінальну потужність, а отже й масу електродвигуна.

Світові виробники вантажних автомобілів вже мають в модельному ряді автомобілі з ГСУ. В якості прикладу в таблиці 1 наведені данні деяких магістральних тягачів з ГСУ та їх технічні характеристики. Аналіз даних табл.1 показує, що частина потужності ДВЗ від сумарної (максимальної) потужності ГСУ складає 72,8 (65,5)...83,4%, у той час як частина крутного моменту ДВЗ знаходиться в межах 58,8...66,7%. Тобто, електродвигун, маючи значно меншу потужність порівняно з ДВЗ, забезпечує створення майже 50% крутного моменту ГСУ. Запас ходу тільки на електричній тязі для вантажних автомобілів складає від 1,5...5 км – є достатнім щоб змістити робочу точку ДВЗ в область більш економічної роботи, використовувати електродвигун в режимах розгону та рекуперативного гальмування, подолання максимального опору дороги при русі в важких умовах руху, приводити в дію допоміжні системи та механізми, активний привід причіпних ланок та системи їх керування. Крім того, він може здійснювати маневрування в місцях виконання вантажо – розвантажувальних робіт на електричній тязі для зменшення викидів шкідливих речовин. Екологічність та паливна економічність за даними автовиробників покращується на 15...28%.

Для оцінки паливної економічності автомобілів широко використовують їздові цикли, коли швидкість руху змінюється у певній залежності. При цьому визначення тягово-швидкісних властивостей відбувається на твердих, чистих, сухих ділянках доріг з гарним зчепленням при повній подачі палива та постійному зростанні швидкості [9].

В реальних умовах експлуатації тягове зусилля і швидкість автомобіля змінюються в широких межах, які визначаються умовами експлуатації. Режим руху автомобіля в місті або поза містом також відчутно впливає на його експлуатаційні показники. Неможливо створити конструкцію автомобіля, що працює оптимально в рівній мірі у самих різноманітних умовах. Тому при обґрунтуванні проектних варіантів технічних рішень доводиться обмежуватися декількома варіантами, які забезпечують найбільший економічний ефект при впровадженні. Економічний ефект буде

максимальним за умови вибору параметрів автомобіля, що враховують реальні умови його експлуатації [10].

Таблиця 1

Характеристики вантажних автомобілів з ГСУ

Автомобіль	Повна маса, кг	Потужність ДВЗ, кВт / Відсоток від сумарної потужності	Крутний момент ДВЗ, Нм / Відсоток від сумарного крутного моменту	Потужність електродвигуна, кВт	Крутний момент, Нм	Запас ходу на ел.тязі, км/ Ємність АКБ, кВт·год	Економія пального за даними виробника
DAF LF45-160 Hybrid	12000	$\frac{117.7}{72.8\%}$	$\frac{600}{58.8\%}$	44	420	$\frac{n.d.}{n.d.}$	20%
MAN TGL 12.220 Hybrid	12000	$\frac{161.8}{72.9\%}$	$\frac{850}{66.6\%}$	60	425	$\frac{5}{2}$	18.1%
Renault Premium Hybrys	26000	$\frac{228}{76.5\% (65.5\%)}$	$\frac{1153}{59\%}$	70 (макс. 120)	800	$\frac{1.5}{1.2}$	20%
Volvo FE Hybrid	26000	$\frac{220.7}{75.9\% (64.8\%)}$	$\frac{1160}{59.2\%}$	70 (макс. 120)	800	$\frac{1.5}{1.2}$	15 – 20%
Peterbilt Model 335	11800	$\frac{220.7}{83.4\%}$	$\frac{840}{66.7\%}$	44	420	$\frac{n.d.}{n.d.}$	28%

Протягом часу внаслідок багатьох обставин дорожні умови, в яких працює автомобіль, суттєво змінюються. Тому синтезовані типові їздові цикли рано чи пізно втрачають свою репрезентативність. Це обумовлює необхідність періодичного перегляду розглянутих раніше їздових циклів. Сьогодні виникають ускладнення при порівнянні рівня досконалості автомобілів різних років випуску та при абсолютній оцінці ступеня наближення до енергетичної досконалості. Для обґрунтування вибору співвідношення між потужністю ДВЗ та електродвигуна потрібно використовувати реальні умови експлуатації автопоїздів, одержані шляхом довготривалих спостережень в умовах експлуатації.

Найбільші можливості та подальші шляхи вдосконалення стосуються силової установки та використання рекуперативного гальмування. При цьому перспективним шляхом є використання гібридних силових установок у вигляді поєднання ДВЗ, електродвигуна та накопичувача електричної енергії. Автопоїзди мають широкі можливості для компонування накопичувачів енергії. Розташування накопичувачів на причіпних ланках дозволяє легко вирішити проблему енергозабезпечення автоматизованих систем керування коліс та осей причіпних ланок та розширити використання конструкції активних автопоїздів різного призначення. Використання електричних мотор-колес на причіпних ланках дозволяє реалізувати раціональне компонування елементів трансмісії, повністю або частково розташувати всередині обода колеса, звести до мінімуму кількість та розміри деталей механічної передачі. Використання мотор-колес відкриває нові технічні можливості у створенні колісних машин принципово нової конструкції, для яких трансмісія у вигляді індивідуального електроприводу є найбільш виправданою.

Список використаних джерел

1. *Improving the fuel efficiency of american trucks bolstering energy security, cutting carbon pollution, saving money and supporting manufacturing innovation / Official White House // [Електронний ресурс] Режим доступу вільний: <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/finaltrucksreport.pdf>*

2. *Развитие конструкции автопоездов / <http://etonews.ru> // [Електронний ресурс] Режим доступу вільний: <http://etonews.ru/testdrive/10101-razvitie-konstruksii-avtopoezdov.html>*

3. Юрий Гоголев Экономия в 40 000 евро / Журнал Автоцентр, 2011, №3, 14 марта, 2011 року // [Електронний ресурс] Режим доступу до статті: <http://www.autocentre.ua/tr/tracks/trailer/ekonomiya-v-40-000-evro-18585.html>
4. Высоцкий М. С. Основы проектирования модульных магистральных авто поез дов / М. С. Высоцкий, С. И. Кочетов, С. В. Харитончик. – Минск : Беларус. наука, 2011. – 392 с.
5. Автопоезд : пат. на пром. образец 328880 США, МКПО D12/97 / М. С. Высоцкий, В. Н. Сиволобов, С. Ф. Полоневич, Г. А. Исаевич, С. И. Вантух, Ю. Н. Жутяев, С. А. Иванюшенко, А. П. Мышко, Т. Н. Пилюсян, А. И. Овсянников, В. Л. Солнце, С. А. Хлеборобова, М. И. Элкінд ; заявитель Мин. авто мобил. з-д. – № з. 07/326, 234 ; заявл. 20.03.89 ; опубл. 25.08.92 // Official Gazette of the United States Patent and Trademark Office Patents. – 1992.
6. Грузовой магистральный автопоезд : а. с. 1532416 СССР, МПК4 В62D53/06 / С. А. Иванюшенко, М. С. Высоцкий, А. П. Мышко, В. Н. Сиволобов : Мин. автомобил. з-д. – № з. 4144363 ; заявл. 03.11.86 ; опубл. 30.12.89 // Открытия. Изобрет. – 1989. – № 48. – С. 124.
7. Модульная конструкция транспортного средства : а. с. 1541103 СССР, МПК4 В62D53/00 / В. Н. Сиволобов, С. И. Вантух, М. С. Высоцкий, С. А. Иванюшенко, А. П. Мышко, С. В. Селиванов : Мин. автомобил. з-д. – № з. 4262667 ; заявл. 15.06.87 ; опубл. 07.02.90 // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 5. – С. 98.
8. Ефремов И. С. Теория и расчет тягового привода электромобилей / И. С. Ефремов, А. П. Пролыгин, Ю. М. Андреев, А. Б. Миндлин. – М. : Высшая школа, 1984.
9. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний: ГОСТ 22576 – 90. – [введен с 01.01.1992]. – М. : Изд-во стандартов, – 1991. – 13 с.
10. Гацук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П. Н. Гацук. – Львов : Свит, 1992. – 208 с.

К ВЫБОРУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И АВТОПОЕЗДОВ

В.П. Сахно, О.М. Тимков,

Показано, что расположение накопителей на прицепных звеньях автопоезда позволяет легко решить проблему энергообеспечения автоматизированных систем управления колёс и осей прицепных звеньев и расширить использование конструкции активных автопоездов разного назначения. Использование мотор-колёс открывает новые технические возможности в создании колёсных машин принципиально новой конструкции, для которых трансмиссия в виде индивидуального электропривода наиболее оправданна.

Ключевые слова: автопоезд, прицепные звенья, колёсные машины, электропривод, накопитель, мотор-колёса.

TO THE CHOICE OF POWER EFFECTIVE DESIGNS OF TRUCKS AND ROAD TRAINS

V. Sakhno, O. Timkov

It is shown that the arrangement of stores on hook-on links of the road train allows to solve easily a problem of power supply of automated control systems of wheels and axes of hook-on links and to expand use of a design of active road trains of different function. Use the motor wheels opens new technical capabilities in creation of wheel cars of essentially new design for which transmission in the form of the individual electric drive is most justified.

Keywords: road train, hook-on links, wheel machines, electric drive, store, motor wheels.