

2. Бороденко Ю.М. Використання прикладних програм при вивченні дисципліни «Проектування електрообладнання АТЗ». Тези доповіді на всеукраїнській науково-методичній інтернет-конференції з проблем вищої освіти «Підвищення якості освітньої діяльності у вищих навчальних закладах за рахунок інтерактивних форм навчання» 9-10 квітня 2018р. Електронний ресурс. – Х.: ХНАДУ, 2018. – С.148 – 149.
3. Бороденко Ю.М., Стрельнікова В.А., Воронков О.І. Використання віртуальної лабораторії при вивченні дисципліни «Діагностика електрообладнання АТЗ». Тези доповіді науково-методичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку вищої освіти в Україні». 22 листопада 2016 р. – Х.: ХНАДУ, 2016. – С.16 – 17.

Бороденко Юрій Миколайович, к. ф-м. н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [docentmaster@gmail.com](mailto:docentmaster@gmail.com)  
Гребенніков Дмитро Олександрович, студент ХНАДУ

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ РЕКУПЕРАТИВНОГО ПНЕВМОГІБРИДУ**

### **Вступ**

Оборотність пневматичного агрегату дозволяє використовувати енергію рекуперативного гальмування, що стимулює впровадження пневматичних транспортних засобів (CAV – Compressed Air Vehicle) в міських умовах експлуатації. Розробка CAV базується на результатах досліджень енергетичних характеристик стисненого повітря при заданих параметрах фізичного стану пневматичної системи під час компресії і декомпресії повітря [1]. CAV малої потужності ефективно експлуатуються на не далеких відстанях. В таких концептах використовуються пневматичні двигуни поршневої або лопатевої конструкції.

### **Мета дослідження**

Метою дослідження є аналіз енергетичних характеристик пневмоприводу автомобіля на міському їздовому циклі в межах пересування під світлофором за рахунок рекуперованої енергії гальмування (режим розгін-гальмування). Для цього, в першу чергу, треба обрати розрахункову схему (прототип) пневмоприводу для якого забезпечуються задані умови експлуатації, і визначити вихідні дані для подальшого розрахунку (вибору) силових параметрів агрегатів і енергетичних показників силової установки.

Силовий баланс на ведучих колесах концепту дозволяє розрахувати необхідну потужність пневмодвигуна та обрати достатній об'єм ресиверу, а також визначити передаточні характеристики трансмісії. Енергетичний розрахунок пневмоприводу мікрогібриду зводиться до порівняння кількості енергії стисненого повітря, яку здатен створити компресор в ресивері під час

переміщення на заданому інтервалі їздового циклу та енергії, яка витрачається під час руху автомобіля в пробці (під світлофором).

### Вибір прототипу

Прототипом розробки обрано змішаний гідропневматичний гібрид ЕННВ (Engine Hydraulic Hybrid Vehicle) з переднім приводом Французької компанії PSA Peugeot Citroen, який отримав промисловий вихід на серійні автомобілі Citroen C3/4 Cactus Air Flow 2L і Peugeot 208 Hybrid Air 2L [2 – 4]. Гібридний силовий агрегат поєднує 2-х літровий ДВЗ і гідравлічний привід з балонами гідроаккумулятора і резервуара рідини.

Застосована технологія Air flow забезпечує пневматичну тягу до 70 % часу в міському циклі, сумарну економію палива до 35 %, пробіг на енергії повітря до 3 км. В результаті пробіг при повній заправці гібрида становить 1300 км. Основним недоліком гідравлічного приводу, в цьому випадку, є вага робочої рідини, яка визначається пропорційно пробігу автомобіля на енергії повітря.

В проектованій системі «Розгін-гальмування», на відзнаку від прототипу, у якості акумулятора тиску, використовується ресивер, а у якості мотора, – оборотний пневмоагрегат. Такі заміни можливі завдяки обмеженому часу зберігання запасу повітря під високим тиском та відповідним зниженням ймовірності витоків в атмосферу.

У прийнятій схемі ГСУ [5], керована планетарна передача 1 поєднує вали пневмоагрегату ПНА, ДВЗ (через автоматичну коробку передач АКП) та головної передачі 2 переднього (ведучого) мосту (рис. 1).

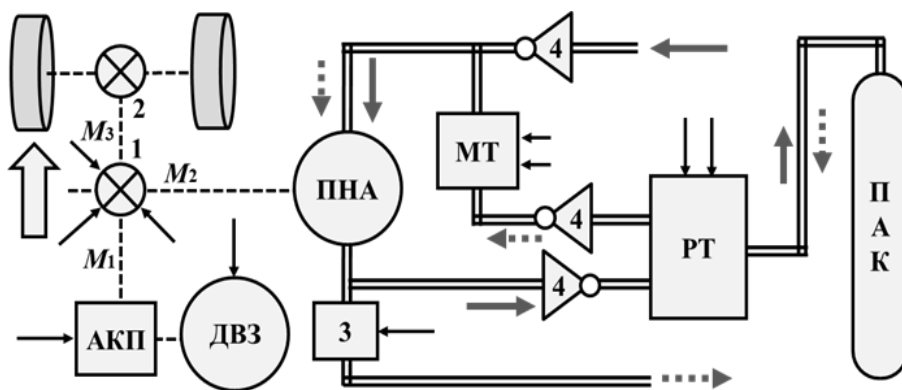


Рис. 1. Схема силової установки з пневматичним приводом:

1 – керована планетарна передача; 2 – головна передача; 4 – зворотні клапани; МТ – модулятор тиску; РТ – розподільник тиску; 3 – запірний електроклапан

Потовщеними стрілками на схемі рис. 1 вказано напрямок потоку повітря в магістралях для режимів компресора (суцільними) і мотора (пунктирними), тонкими – символізуються керуючі впливи.

У режимі гібридного приводу, сумарний крутний момент від силових агрегатів  $M_3 = M_1 + M_2$  передається на передні колеса. Під час приводу від ПНА відбувається редуція  $z$  моменту  $M_3 = zM_2$ . З метою усунення втрат в трансмісії

під час руху тільки на ДВЗ, можна передбачити відключення валу ПМА в напівавтоматичному або автоматичному режимі ( $M_3=M_1$ ).

При рекуперативному гальмуванні, крутний момент передається у зворотному напрямку  $-zM_3 = -M_2$ . Режим компресора ПНА може забезпечуватись і від ДВЗ (заправка балона  $M_2=zM_1$ ). Якщо, виникає потреба в заправці ПАК під час руху на потужності ДВЗ, планетарний диференціал забезпечує розподіл крутних моментів  $M_3=M_1-M_2$ .

У режимі пневмодвигуна, запірний клапан 3 відкритий, розподільник РТ забезпечує витрату повітря з балона ПАК. При цьому, модулятор тиску МТ (керує рівнем тиску повітря на вході ПНА, а отже і крутним моментом  $M_2$  на його валу, при заданому навантаженні на ведучих колесах.

В режимі компресора ПНА, клапан 3 закритий, РТ переключений на заряд балона повітрям. При заряді балона ПАК до граничного значення тиску, клапан 3 відкриває вихід компресора, виключаючи втрати на компресію в камерах ПНА. Зворотні клапани 4 забезпечують розв'язку потоків повітря пневмотрансмісії в режимах мотора і компресора. Таким чином, конфігурація змішаного гібрида загалом передбачає до шести експлуатаційних режимів (статусів): привід від ДВЗ; пневматичний привід; рекуперативне гальмування; заряд балона повітрям за рахунок енергії ДВЗ; гібридний привід; привід від ДВЗ з одночасним зарядженням повітря.

### **Вихідні дані для розрахунку**

Для проектного рішення, на першому етапі розробки, прийняті наступні *вихідні дані* по базовому автомобілю:

- маса автомобіля  $m_a=1000$  кг;
- маса, що приходить на вісь передніх повідних коліс  $m_1 = 600$  кг;
- передавальне число головної передачі  $u_0 = 4$ ;
- радіус ведучого колеса  $r_k = 0,25$  м;
- допустимий об'єм ресивера  $V_p=100$  л;
- робочий тиск в пневмосистемі, під час руху автомобіля, на рівні промислової мережі стисненого повітря  $P_{рух}=0,63$  МПа;
- швидкість розгону після пробки за рахунок залишкової енергії стисненого повітря, не менше  $v_p=10$  км/год.
- рух в пробці: до  $n_{ц}=10$  мікро-циклів, загальним пробігом не менше  $l_{пп}=50$  м, зі швидкістю до  $v_{рух}=5$  км/год.

–

### **Висновки**

Обрана схема мікрогібриду являє змішану композицію основного ДВЗ і додаткового ПНА. Компонентний склад запропонованої системи пневмоприводу дозволяє застосовувати пневматичну апаратуру загального (промислові зразки) та автомобільного (системи гальм та підвіски) призначення і елементи мехатронних систем трансмісії. В порівнянні з гідروпневматичним приводом прототипу, значно знижується вага і вартість силової установки. Завдяки оперативному використанню рекуперованого тиску, не треба

застосовувати систему теплообміну. Обрані вихідні дані для розрахунку, відповідають конструкції легкового автомобіля малого класу і умовам їздового циклу під світлофором.

### Література

1. Verma, S. S. (2013). Latest developments of a compressed air vehicle: A status report. Global Journal of Research In Engineering.
2. Darren Quick. (2013). Peugeot Citroen to introduce compressed air hybrid by 2016. <https://newatlas.com/peugeot-citroen-hybrid-air-compressed-air/25961/> .
3. Uber Geek. (2014). This New Hybrid Car Runs On Compressed Air. <https://wonderfulengineering.com/this-new-hybrid-car-runs-on-compressed-air/> .
4. Citroen представив позашляховик С4 Cactus, який витрачає 2 літри бензину на 100 км (2014). <https://gazeta.ua/articles/avto/citroen-predstaviv-pozashlyahovik-s4-cactus-yakij-vitrachaye-2-litri-benzinu-na-100-km/581715>
5. Бороденко, Ю. Н., Панасовський, В. В. (2021) Побудування схеми пневматичного мікрогібрида. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» 27-29 жовтня 2021 р. ХНАДУ, 355–358.

Войтків Станіслав Володимирович, к.т.н., генеральний конструктор,  
Науково-технічний центр "Автополіпром", [voytkivsv@ukr.net](mailto:voytkivsv@ukr.net)

### ТЕНДЕНЦІ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ МАЛОВАНТАЖНИХ МІСЬКИХ РОЗВІЗНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Маловантажні міські розвізні електромобілі протягом останнього десятиліття набувають все більшого поширення у багатьох країнах світу, зокрема, у європейських. Вони застосовуються поштовими операторами та торгівельними супермаркетами в якості транспортних засобів для доставки дрібних вантажів до невеликих магазинів та до приватних замовників і отримувачів поштових відправлень тощо.

Такий міський вантажний електротранспорт, який відноситься до категорій L або N1, можна виділити у дві групи за функціональним призначенням:

- група 1 – електромобілі для розвезення малих партій різних товарів від гуртівень до невеликих торгівельних точок та поштових посилок до місцевих відділень, особливо розміщених у центральних частинах міст та у пішохідних зонах;

- група 2 – електромобілі для доставки поштових відправлень, продуктів харчування або промислових товарів індивідуальним замовникам ((такі електромобілі, обладнані промисловими або ізотермічними кузовами-фургонами, називають транспортом "доставки останньої милі", (англ. *last-mile delivery*)).

Принципова різниця у конструкціях розвізних маловантажних