

Бегерський Д.Б., к.т.н., доц.,
Можаровський М.М., старший викладач,
Опанасюк Є.Г., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ДО ВИКОРИСТАННЯ МАХОВИКІВ ІЗ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК РЕКУПЕРАТОРІВ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА МІСЬКОМУ АВТОТРАНСПОРТІ

В роботі наведено обґрунтування актуальності питань пов'язаних з акумулюванням та зберіганням енергії та їх вплив на екологічність транспортних засобів. Як один з варіантів перспективними можуть бути акумулятори кінетичної енергії (маховики) із композитних матеріалів. В свою чергу конструкції таких маховиків мають свої особливості при експлуатації силових установок та автомобілів в цілому. Розглядається питання використання нових матеріалів для створення перспективних конструкцій роторів маховиків з метою їх практичного використання при створенні конструкцій гібридних силових установок для автотранспортних засобів (АТЗ).

Ключові слова: акумулятори кінетичної енергії, волокнисті композитні матеріали.

The paper highlights the relevance of issues related to energy storage and storage in environmental terms. Promising may be kinetic energy (flywheel) batteries made of composite materials. In turn, the designs of such flywheels will have their own characteristics during operation. The question of using new materials to create perspective designs of flywheel rotors with a view to their practical use in creating designs of hybrid engines for vehicles is considered.

Keywords: kinetic energy accumulators, fibrous composite materials.

Суттєве зростання кількості рухомого складу, що використовується на автоперевезеннях людей та різних вантажів на внутрішньоміських маршрутах, негативно впливає на екологічний стан міст та створює інші негативні чинники.

Деякі розрахунки, що наведені в технічній літературі, показують, що приблизно половина енергії, яка споживається міськими автотранспортними засобами, витрачається на їх прискорення, а потім при гальмуванні безповоротно втрачається внаслідок розсіювання. Тому проблема регенерації та акумулювання енергії на міських автотранспортних засобах є актуальною. Додатковим ефектом використання рекуперативного гальмування може бути зменшення кількості викидів шкідливого для здоров'я азбестового пилу, що утворюється при зношенні гальмівних накладок.

Питання пов'язані з накопиченням енергії, зберіганням і збільшенням її щільності є досить актуальним з точки зору екології, оскільки акумульована енергія необхідна практично в будь-якій машині і системі при роботі на перехідних режимах, де має місце споживання і перетворення енергії. При цьому необхідно відмітити, що акумульована енергія значно дешевша, а її використання екологічно безпечне.

Перспективність використання акумуляторів кінетичної енергії (маховиків) в екологічному плані розглядалась в роботах [1, 2], де було показано, що використання нових конструкційних матеріалів (волокнистих композитів) в конструкціях роторів маховиків призводить до суттєвого підвищення їх питомих енергетичних характеристик, що в свою чергу, зробить їх використання з метою акумулювання та зберігання енергії доцільним з точки зору покращення екологічних і економічних показників АТЗ.

При розгляді режиму рекуперативного гальмування транспортного засобу необхідно відмітити, що його можна реалізувати декількома способами, використавши для цієї мети електрохімічні, кінетичні, пружні, гідравлічні та пневматичні акумулятори. Враховуючи той факт, що потужність, необхідна для зупинки транспортного засобу, велика (особливо при екстремому гальмуванні), то для поглинання такого згустку енергії електрохімічні батареї будуть неефективними. Іншим негативним показником використання електрохімічних батарей є скорочення строку їх служби при високих рівнях потужностей зарядки–розрядки. У батарей інших типів з високими характеристиками питомої потужності строк служби також скорочується хоч і в меншій мірі при одночасному зменшенні питомої енергоємності. За результатами досліджень питомої потужності і енергоємності накопичувачів енергії і двигунів внутрішнього згоряння різних типів, що проводились в роботі [3], можна стверджувати, що акумулятори кінетичної енергії (АКЕ) за даними характеристиками є одним з оптимальних варіантів рекуперативного гальмування. Пневматичні акумулятори є непридатними в більшості випадків внаслідок низького К.К.Д.

та низької масової енергоємності. Більш придатними можуть стати гідроакумулятори та акумулятори пружної енергії.

Внаслідок урахування особливостей умов роботи АТЗ можна стверджувати те, що в більшій мірі поставленим вимогам будуть відповідати маховичні накопичувачі, завдяки їх високій питомій потужності. Враховуючи до цього низький рівень акустичного і хімічного забруднення середовища в поєднанні зі збільшенням терміну служби основного двигуна, високий комфорт і, ймовірно, зниження експлуатаційних витрат роблять доцільною розробку АТЗ з гібридним приводом навіть тоді, коли К.К.Д. його буде не більшим, ніж в основного двигуна. Це підтверджується і розрахунковими оцінками потенційних можливостей схем компоновання і керування гібридними приводами, а також ефективності таких транспортних засобів, що приводяться в роботах [4] і [5].

Досить цікавою областю використання АКЕ в дорожніх транспортних засобах може стати система пуску двигунів. За інформацією деяких літературних джерел можна економити в міському циклі до 10% пального, якщо в період гальмування відключати двигун. Для запуску після гальмування в цьому випадку ефективним буде використання енергії АКЕ.

Проведений короткий аналіз, а також проблеми енергозбереження та екологічні проблеми сьогодення ставлять питання використання АКЕ особливо актуальними. Перешкодами до широкого впровадження АКЕ являються деякі труднощі техніко – економічного характеру. Ефективність АКЕ оцінюється за питомою масовою енергоємністю, яку можна визначити як відношення максимально можливої накопиченої енергії маховиком до маси всієї конструкції АКЕ. Якщо конструкції роторів маховиків виготовляти монолітними, а в якості конструкційних використовувати ортотропні матеріали (метали та їх сплави), то такі ротори будуть являти велику небезпеку при їх руйнуванні в полі дії відцентрових сил. В цьому випадку для забезпечення безпечної експлуатації ротора маса захисної конструкції може бути доволі суттєвою, що призведе до зниження ефективності використання АКЕ.

Використання конструкційних матеріалів на основі високоміцних волокон і полімерних в'язучих речовин (волокнистих композитів) відкриває нові можливості в напрямку створення високоефективних АКЕ. Такі матеріали є анізотропними і питома міцність їх в напрямку волокон в декілька разів може перевищувати міцність високолегованих сталей. Руйнування таких матеріалів є відносно безпечним і не потребує створення захисних пристроїв великої ваги. Крім того, визначення безпечного місця розташування ротора із захисною системою, розташування осі ротора відносно поздовжньої осі транспортного засобу та використання енергопоглинаючих захисних матеріалів дозволить оптимізувати розміри основного елемента захисту.

Можна рахувати, що до даного часу склались основні уявлення про шляхи ефективного використання композитних матеріалів в конструкціях роторів маховиків. Але практична сторона цього питання ще далека від завершення. Заміна композиту однорідним анізотропним матеріалом в розрахунках міцності не відповідає суті проходять явищ втомі і руйнування в ньому. В той же час не розглядаються такі явища, як механіка мікро руйнування. В результаті, при розрахунках використовується спрощена модель, яка об'єднує реальні властивості матеріалу з певними інженерними припущеннями. До того ж питання динаміки стосовно роторів маховиків з волокнистих композитів практично не розглядались. Все це робить актуальними питання експериментального дослідження міцності роторів маховиків з композитних матеріалів.

Для реальної оцінки теоретичних розрахунків питомої масової енергомісткості волокнистих композитів (табл. 1) проводились розгінні випробування достатньо тонких кілець за допомогою спеціального пристосування.

Таблиця 1

Матеріал	Границя міцності при розтягуванні вздовж волокон (Π^+) МПа	Питома вага г/см ³	Питома масова енергоємність Вт·год/кг
Склопластик (на Е-волокнах)	1100	2,1	73
Склопластик (на S ₂ -волокнах)	1750	2,0	122
Вуглепластик (на волокнах HS –графіт)	1800	1,6	160
Органопластик (на волокнах <i>Kevlar</i> – 49)	1800	1,35	187

Оцінка ефективності використання волокнистих композитів в конструкціях роторів маховиків, що наведена в роботі [6], свідчить про те, що питома масова енергоємність роторів маховиків у вигляді тонких кілець із органопластику (на волокнах Kevlar – 49) може сягати 790 Дж/г.

Разом з тим на шляху переходу до практичного використання волокнистих композитів в конструкціях роторів АKE необхідно вирішити низку проблем. Оскільки матеріали анізотропні, то конструкції роторів повинні створюватись так, щоб максимальні напруження, що створюються в роторі відцентровими силами і крутними моментами діяли вздовж волокон. Орієнтовні шляхи реалізації високої питомої міцності композитів в конструкціях роторів маховиків наведені в роботі [7], де приведені результати експериментальних досліджень характеристик різних конструкцій моделей роторів маховиків з волокнистих композитів, що підтверджують високу ефективність використання цих матеріалів в конструкціях роторів АKE (табл. 2).

Таблиця 2

Тип моделі Матеріал	Питома вага $\cdot 10^3$, кг/м ³	Міцність, $\cdot 10^2$, МПа	Гранична питома масова енергоємність, Дж/г		Гранична колова швидкість, м/с
			Розрахунок	Експеримент	
Тонкий обід Kevlar 49 + епокс. зв'язка	1,36	21,5	790	630	1156
Kevlar 29 + епокс. зв'язка	1,36	17,5	650	560	1093
Скло (на E- волокнах + епокс. зв'язка)	2,07	15,0	370	250	733
Скло (на S – волокнах + епокс. зв'язка).	2,03	18,9	470	460	986

Результати експериментальних досліджень, отримані при проведенні стендових випробувань роторів маховиків в лабораторії Державного університету «Житомирська політехніка» показують, що в реальних конструкціях ще недостатньо використовується висока питома міцність волокнистих композитних матеріалів. Руйнування конструкцій відбувається раніш, ніж досягається розрахунковий рівень напружень, близький до границі міцності матеріалу. Так, для реальних роторів маховиків із органопластику (на волокнах Kevlar – 49), масова енергоємність складала 206 Дж/г.

На основі викладеного можна стверджувати, що в конструкції і технології виготовлення роторів маховиків АKE з волокнистих композитних матеріалів містяться ще сховані резерви підвищення їх характеристик, а це в свою чергу підтверджує можливість створення на практиці ефективного гібридного двигуна для автотранспортних засобів, що експлуатуються на внутрішньоміських перевезеннях.

Література

1. Можаровський М.М. Екологічні перспективи та деякі проблеми використання акумуляторів кінетичної енергії, // Вісник ДААУ. – 1998. – №2 – С.55 – 65.
2. Можаровський М.М. До питання акумулювання та зберігання енергії як одного з варіантів покращання екологічного стану навколишнього середовища, // Вісник ДААУ. – 1999. №1 - 2 – С.105 – 117.
3. Johnson D.E., Corman I.I. Maximum Energy Densities for Composites Flywheels, -1980 Flywheel Technology Symposium, October 1980, p.93-100.
4. Kulkarni S.V., Composite-Material Flywheels and Containment Systems, Energy and Tech. Rev., L.L.N. Lab., March 1982, p.18-29.
5. Genta G. Utilizzazione degli accumulatori di energia cinetica su veicoli urbani di Superficie, ATA, apr. 1976, p. 174-180.
6. Beacheley N.H., Ascomb C. et al., Minimization of Energy Storage Requirements for Internal Combustion Engine Hybrid Vehicles, ASME Paper 82-WA/DSC-20,1982.
7. Портнов Г.Г., Протасов В.Д.,Тарнопольский Ю.М. Маховики из композитов.-М.:ЦНИИ информации, 1982, 148 с.