

УДК 539.43:620.17

М.М. Можаровський, викл.
Житомирський державний технологічний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕХАНІЧНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ЕНЕРГІЇ НА АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

(Представлено д.т.н., проф. Грабаром І.Г.)

В роботі вказується на актуальність питань, пов'язаних з акумулюванням та збереженням енергії в екологічному плані. Як один з варіантів перспективними можуть бути акумулятори кінетичної енергії (маховики) з композитних матеріалів. В свою чергу, конструкції таких маховиків будуть мати свої особливості при експлуатації. Розглядається питання використання нових матеріалів для створення перспективних конструкцій роторів маховиків з метою їх практичного використання при створенні конструкцій гібридних двигунів для АТЗ.

Вступ. Питання, пов'язані з накопиченням енергії, зберіганням і збільшенням її щільності, є досить актуальними з точки зору екології, оскільки акумульована енергія необхідна майже в будь-якій машині та системі, де має місце її споживання і перетворення. При цьому необхідно зазначити, що акумульована енергія значно дешевша, а її використання екологічно безпечне.

Перспективність використання акумуляторів кінетичної енергії (маховиків) в екологічному плані розглядалась в роботах [1, 2]. В цих роботах було показано, що використання нових конструкційних матеріалів (волокнистих композитів) у конструкціях роторів маховиків суттєво підвищить їхні питомі енергетичні характеристики, а це, в свою чергу, з метою акумулювання та зберігання енергії зробить їх використання перспективним.

Мета і завдання. Деякі розрахунки, що фігурують в технічній літературі, показують, що близько 65 % енергії, що споживається міськими транспортними засобами, витрачається на їх прискорення, а потім ця енергія майже повністю розсіюється при гальмуванні. Ці розрахунки ще раз підкреслюють, наскільки актуальним є питання регенерації енергії, що вивільнюється при гальмуванні транспортних засобів.

Основна частина. Якщо розглядати конкретно режим рекуперативного гальмування, то потрібно зазначити, 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 екстремному 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, хоча і меншою мірою, і одночасно зменшується питома енергоємність. За результатами досліджень питомої потужності й енергоємності накопичувачів енергії і двигунів внутрішнього згорання різних типів (рис. 1), 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 через низький ККД та низької масової енергоємності. Більш придатними можуть стати гідроакумулятори та акумулятори пружної енергії.

Але умовам роботи АТЗ здебільшого будуть відповідати маховичні накопичувачі завдяки їх високій питомій потужності. Враховуючи при цьому низький рівень акустичного і хімічного забруднення середовища в поєднанні зі збільшенням терміну служби основного двигуна, високий комфорт і ймовірне зниження експлуатаційних витрат роблять доцільною розробку АТЗ з гібридним приводом навіть тоді, коли ККД його буде не більшим, ніж в основного двигуна. Це підтверджується і розрахунковими оцінками потенційних можливостей схем компоновки і керування гібридними приводами, а також ефективності таких транспортних засобів, що наводяться в роботах [4] і [5].

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

Можливі схеми транспортних засобів з гібридним приводом можуть мати вигляд, що представлений на рис. 2.

цьому випадку для створення безпеки експлуатації ротора маса захисних конструкцій буде надто значною, що значно понизить ефективність використання АКЕ.

Використання нових матеріалів для створення АКЕ. Поява нових 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 у декілька разів може перевищувати міцність високолегованих сталей. Руйнування таких матеріалів є відносно безпечним і не потребує створення захисних пристроїв великої ваги. На шляху переходу до практичного використання волокнистих композитів у конструкціях роторів АКЕ необхідно вирішити ряд 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 у конструкціях роторів маховиків наводяться в роботі [7].

Для оцінки ефективності використання волокнистих композитів у конструкціях роторів маховиків можна навести теоретичні характеристики енергоємності [6], що представлені в таблиці 1. Ці характеристики відповідають міцності при короткочасних випробуваннях і відповідають дуже тонким кільцям, які при обертанні працюють лише на розтягування в коловому напрямі. Вони являють собою ідеальний випадок використання волокнистих композитів у конструкції роторів.

Але, як з'ясувалось при проведенні експериментальних досліджень в лабораторії ЖДТУ, реалізація високих потенційних можливостей – не тільки міцності, але і технологічних – наштовхнулася на ряд труднощів, що притаманні композитам як конструкційним матеріалам.

Прагнення до отримання максимальної міцності в коловому напрямі пов'язане з використанням колової намотки. При цьому збільшення колової міцності супроводжується проявленням традиційних недоліків волокнистих композитів – низькою зсуваючою міцністю і міцністю на поперечний відрив, що, в свою чергу, стає причиною розшаровування енергоємнішого обода ротора як в процесі розгону чи гальмування, так і при обертанні з постійною швидкістю.

При конструюванні роторів маховиків з композитних матеріалів на практиці необхідно підходити зі сторони ефективного використання матеріалу. При цьому необхідний аналіз таких факторів, які вважаються другорядними чи не розглядаються взагалі при використанні ізотропних матеріалів. До них можна віднести, наприклад, малі радіальні розтягуючі напруження і особливості напруженого стану поблизу кінців арматури, з якої намотується виріб [8, 9].

Таблиця 1

Матеріал	Границя міцності при розтягуванні вздовж волокон (Π^+) кг/мм ²	Питома вага г/см ³	Питома масова енергоємність Вт*год/кг
Склопластик (на E-волокнах)	110	2,1	73
Склопластик (на S ₂ -волокнах)	175	2,0	122
Вуглепластик (на волокнах HS – графіт)	180	1,6	160
Органопластик (на волокнах Kevlar – 49)	180	1,35	187

При конструюванні роторів маховиків з композитних матеріалів на практиці підходять зі сторони ефективного використання матеріалу. При цьому необхідний аналіз таких факторів, які рахуються другорядними чи не розглядаються взагалі при використанні ізотропних матеріалів. До них можна віднести, наприклад, малі радіальні розтягуючі напруження і особливості напруженого стану поблизу кінців арматури, з якої намотується виріб [7].

Створення системи початкових напружень при намотці роторів, що пропорційні товщині намотаного шару (виробу) і при певній товщині, можуть стати причиною появи тріщин у готовому виробі [6].

В зв'язку з великою перспективністю використання композитних матеріалів ведеться активний пошук конструктивних рішень і технологічних прийомів, що дозволяють створювати оптимальні конструкції роторів маховиків з максимальною питомою енергоємністю.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження в даному напрямку виділяють, в основному, чотири способи підвищення питомої енергоємності при збереженні достатньо високої масової:

- перехід від тонкостінних до товстостінних кілець і дисків;
- профілювання кілець і дисків;
- проектування гібридних роторів, що складаються з декількох матеріалів;

– використання різних схем армування одного і того ж композитного матеріалу.

Можна рахувати, що до даного часу склались основні уявлення про шляхи ефективного використання композитних матеріалів у конструкціях роторів маховиків. Але практична сторона цього питання ще далека від завершення. Заміна композиту однорідним анізотропним матеріалом у розрахунках міцності не відповідає суті явищ втоми і руйнування в ньому. В той же час не розглядаються такі явища, як механіка мікроруйнування. В результаті цього 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 майже не розглядалися. Все це робить актуальними питання експериментального дослідження міцності роторів маховиків з композитних матеріалів.

Для реальної оцінки теоретичних розрахунків питомої масової енергоємності волокнистих композитів (табл. 1) проводились розгінні випробування достатньо тонких кілець за допомогою спеціального пристосування. Результати даних досліджень представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Тип моделі, матеріал	Питома вага *10 ³ , кг/м ³	Міцність, *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

Представлені результати показують, що досягнуті питомі масові енергоємності близькі до розрахункових граничних значень і суттєво перевищують аналогічні характеристики суцільних дисків рівного опору з ізотропного матеріалу.

Але на практиці конструкція роторів повинна бути такою, в якій максимально використовуються як масова, так і об'ємна енергоємності. Тому реальні конструкції будуть відрізнятися від модельних кілець.

В лабораторії ЖДТУ проводились експериментальні дослідження реальних моделей і конструкцій роторів маховиків з волокнистих композитів. Для проведення таких досліджень були сконструйовані та виготовленні спеціальні експериментальні стенди.

Результати проведених експериментальних досліджень міцності роторів з композитних матеріалів є малочисельними роботами в даному напрямку і являють собою цінну інформацію, яка необхідна при подальшому удосконаленні конструкції і технології виготовлення. Через розсіювання досягнутих граничних швидкостей на периферії маховиків можна говорити про те, що їх конструкції ще далекі від досконалих.

В табл. 3 представлено результати проведених досліджень деяких конструкцій декількох типорозмірів роторів з волокнистих композитів. Ротори являли собою ободкові конструкції, в яких енергоємнішим є обід, крутний момент від якого до вала передавався безпосередньо одиночними шпичками, які виконані хордовою намоткою.

Таблиця 3

Тип	№	Відносний розмір r/R обода	Матеріал	Колова швидкість, м/с	Кінетична енергія, КДж	Питома масова енергоємність, Дж/г
ротора						
Г	13	0,8	Склопластик	754	1404	141
	14	0,8	Органопластик	849	1294	218

	15	0,8	Органопластик	967	1728	291
	16	0,8	Органопластик	834	1328	215
	17	0,8	Органопластик	789	1370	188
	18	0,8	Органопластик	847	1312	188
	19	0,8	Вуглепластик + органопластик	742	878	157
Д	20	0,8	Органопластик	713	592,7	205,9
	21	0,76	Вуглепластик	714	890,6	197,5
	22	0,79	Органопластик	725	837	204,7

Представлені в табл. 3 результати показують реалізацію повної та питомої масової енергоємності волокнистих композитів у конструкціях роторів, що наближаються до вигляду реальних.

Висновки. На основі проведеного теоретичного аналізу і виконаних досліджень можна говорити про те, що використання маховиків у поєднанні з двигуном внутрішнього згоряння на транспортних засобах є на даний час актуальним питанням.

Розвиток та створення виробництва нових матеріалів з високими питомими характеристиками міцності дозволяє створити високоефективні ротори для маховиків.

Експериментальні результати, отримані при випробуваннях роторів, більш ніж в два рази нижчі за гранично можливі на конструкціях тонких кілець (табл. 2). Руйнування проходить раніше, ніж досягається розрахунковий рівень колових напружень, близький до границі міцності матеріалу. На основі цього можна говорити, що в конструкції і технології виготовлення роторів маховиків з композитних матеріалів містяться ще приховані резерви підвищення їх характеристик, а це, в свою чергу, підтверджує можливість створення на практиці ефективного гібридного двигуна для автотранспортних засобів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Можаровський М.М.* Екологічні перспективи та деякі проблеми використання акумуляторів кінетичної енергії // Вісник ДААУ. – № 2. – 1998. – С. 55–65.
2. *Можаровський М.М.* До питання акумулявання та зберігання енергії як одного з варіантів покращення 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. – Pp. 93–100.
4. *Kulkarni S.V.* Composite-Material Flywheels and Containment Systems, Energy and Tech. Rev., L.L.N. Lab., March 1982. – Pp. 18–29.
5. *Genta G.* Utilizzazione degli accumulatori di energia cinetica su veicoli urbani di Superficie, ATA. – Apr. 1976. – Pp. 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.
8. *Портнов Г.Г.* Влияние низкой сдвиговой прочности полимерного слоя на несущую способность труб из стеклопластиков // Механика полимеров. – 1967. – № 3. – С. 553–556.
9. *Портнов Г.Г., Кулаков В.Л.* Разрушение размоткой маховиков из композитов // Механика композитных материалов. – 1979. – № 4. – С. 656–662.

МОЖАРОВСЬКИЙ Микола Мар'янович – викладач кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– прогресивні технології створення нових конструкційних матеріалів;
– енергозберігаючі технології транспортних засобів.
Тел. (дом.): (80412) 33-80-77.

Подано 03.07.2008

Можаровский Н.М. Перспективы использование механических аккумуляторов энергии на автотранспортных средствах

Можаровский М.М. Перспективи використання механічних акумуляторів енергії на автотранспортних засюбах

Mozharovsky N.M. Prospect use of mechanical accumulators of energy on vehicles

УДК 539.43:620.17

Перспективы использование механических аккумуляторов энергии на автотранспортных средствах // Н.М. Можаровский

В работе указывается на актуальность вопросов связанных с аккумулярованием и хранением энергии в экологическом аспекте. Как один из вариантов перспективными могут быть аккумуляторы кинетической энергии (маховики) из композитных материалов. В свою очередь конструкции таких маховиков будут иметь свои особенности при эксплуатации. Рассматривается вопрос использования новых материалов для создания перспективных конструкций роторов маховиков с целью их практического использования при создании конструкций гибридных двигателей для АТС.

УДК 539.43:620.17

Prospect use of mechanical accumulators of energy on vehicles // N.M. Mozharovsky

In work it is underlined a urgency of questions connected with accumulation and storage of energy in ecological aspect. As one of variants accumulators of kinetic energy (flywheels) from composit materials can be perspective. In turn designs of such flywheels will have the features at operation. The question of use of new materials for creation of perspective designs of rotors of flywheels is considered{*examined*} with the purpose of their practical use at creation of designs of hybrid engines for automatic telephone exchange.