

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Луханіна Олександра Олексійовича

«Математичні моделі та обчислювальні методи аналізу ефективності систем охолодження Li-ion батареї повітряним потоком»,

що представлена на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю

01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації. В дисертаційній роботі Луханіна О. О. розглянуті питання розробки математичних моделей теплових процесів в системах охолодження Li-ion батареї повітряним потоком та охолодження батареї за допомогою теплової трубки.

Li-ion батареї широко використовуються в транспорті, авіації, радіотехнічному та іншому обладнанні завдяки більшій щільності енергії та потужності в порівнянні з іншими акумуляторами. Управління температурним режимом акумуляторних систем безпосередньо впливає на динамічні характеристики автомобіля, тривалість терміну служби і вартість акумуляторних систем. Моделювання розподілу температури в Li-ion батареї представляє великий інтерес при проектуванні системи охолодження.

У зв'язку з викладеним, можна стверджувати, що розробка математичних моделей теплових процесів, моделювання розподілу температури на поверхнях елементів Li-ion батареї та розробка обчислювальних методів на основі комплексу проблемно-орієнтованого програмного продукту є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно робочих планів держбюджетних та конкурсних тем Національного Наукового Центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ) та спільного проекту ННЦ ХФТІ з BNL (США): проект III-6-11 «Дослідження фізичних процесів та оптимізація параметрів дослідних установок методами математичного моделювання» – державний реєстраційний номер 0111U009294; проект III-7-11 «Фундаментальні та прикладні дослідження з ядерної фізики для потреб медицини, народного господарства,



екології та енергетики» – державний реєстраційний номер 0111U009298; спільний проект ННЦ ХФТІ з BNL (США) – BNL-T2-371-UA «Розробка дослідного зразка системи термостабілізації Li-ion батарей». Дисертант в приведених вище роботах виступав в якості виконавця.

Наукова новизна, обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. На основі аналізу матеріалів дисертаційної роботи, публікацій автора, особистого внесок здобувача, приведеного в авторефераті, можна зробити наступний висновок.

Наукова новизна. На підставі виконаних досліджень отримано наступні наукові результати:

- запропоновано методи геометричного та математичного моделювання теплових процесів при охолодженні елементів Li-ion батареї повітряними потоками з малою швидкістю для багатоканальних структур на поверхнях елементів батареї на основі комплексу проблемно-орієнтованого програмного продукту та показано адекватність методу при порівнянні результатів математичного моделювання з експериментальними даними;

- вперше комплексно досліджені параметри теплових процесів при охолодженні Li-ion батарей з поверхнями типу «полупіни з округленими крайками», «скручені стрічки» та «відкриті піраміди», та отримані ефективності системи охолодження Li-ion батарей для чисельного та експериментального досліджень, на основі використання методів усереднення температурних полів на поверхнях елементів батареї;

- автором запропоновані математична модель теплової трубки та метод обчислення питомої теплопровідності трубки, оснований на мінімізації середньоквадратичного відхилення обчислених і вимірних температур на поверхні елемента батареї, одержанні ефективність охолодження Li-ion батареї тепловою трубкою та залежність питомої теплопровідності теплової трубки від середньої температури елемента батареї;

- розглянута задача оптимізації параметрів повітряного потоку для режиму роботи Li-ion батареї з максимальною ефективністю і на основі

одержаних даних вибрані параметри стенду для вимірювання ефективності охолодження окремих елементів та модулів Li-ion батареї, вперше розроблені експериментальна калориметрична камера та імітатори Li-ion батареї з теплотехнічними характеристиками елементів батареї.

Обґрунтованість. Наукові положення дисертаційної роботи та запропоновані методи базуються на основних законах теплопередачі, закономірностях аерогідродинаміки та механіки твердого тіла. Використано комплекс проблемно-орієнтованого програмного продукту для моделювання та оптимізації систем з розподіленими параметрами. Експериментальні дослідження виконані з використанням сучасних засобів вимірювання, методів обробки і статистичного аналізу експериментальних даних. Результати досліджень та висновки базуються на комплексному застосуванні аналітично-розрахункового і експериментального методів.

Вірогідність. Достовірність наукових результатів зумовлена коректною математичною постановкою завдань; використанням сучасних методів математичного моделювання процесу охолодження повітряним потоком; відповідністю результатів математичного моделювання з експериментальними даними; впровадженням в ННЦ ХФТІ методу математичного моделювання теплових процесів, оснований на використанні комплексу проблемно-орієнтованого програмного продукту, та методів вимірювання температури і обробки даних.

Оцінка змісту дисертації та автореферату. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків по розділам, загальних висновків, списку використаної літератури, та додатку про впровадження результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі розглянуто основні характеристики Li-ion батареї, приведено дані температурного режиму для найбільш ефективного використання та забезпечення максимального експлуатаційного ресурсу, надійності та безпеки. Розглянуто систему управління тепловими процесами в батареях, які використовуються в транспортних засобах, показано на

необхідність вивчення та оптимізацію систем охолодження батарей для використання в нових, більш потужних транспортних засобах. Показано, що розробка нових систем охолодження є задача багатокритеріальна з рядом обмежень. Показано, що для знаходження ефективності системи охолодження батареї необхідні знання полів температури, тиску та швидкостей в потоці охолоджуючого повітря.

У другому розділі розглянуті методи обчислювальної аерогідродинаміки для аналізу процесу охолодження батареї повітряним потоком та комплекс проблемно-орієнтованого програмного продукту SolidWorks Flow Simulation. Розглянута математична модель Li-ion батареї з плоскими поверхнями елементів, для визначення величини зазору між елементами батареї, величини швидкості повітряного потоку в зазорі та температури вхідного потоку для максимальної ефективності охолодження. Оптимізовані температура, величина потоку та тиск на вході в Li-ion батарею, що забезпечують максимальну ефективність охолодження. На основі одержаних числових результатів математичного моделювання вибрані основні характеристики стенда для дослідження систем охолодження батарей.

Третій розділ присвячено розробці геометричних та математичних моделей поверхонь елементів Li-ion батареї з багатоканальною періодичною структурою та моделі теплової трубки. Запропоновано моделі поверхонь типу «полупіни з округленими крайками», «скручені стрічки» та «відкриті піраміди», приведено математичні аналоги таких поверхонь та результати обчислень ефективності охолодження батареї. Оптимізовані параметри повітряного потоку для максимальної ефективності охолодження. Запропоновано метод обчислення питомої теплопровідності трубки на основі аналізу результатів моделювання та експериментальних даних, та розрахована ефективність охолодження Li-ion батареї тепловою трубкою.

У четвертому розділі приводяться результати розробки стенда для експериментального дослідження систем охолодження Li-ion батареї, теплової трубки, експериментальних калориметричних камер, імітаторів елементів Li-ion

багатоканальної системи реєстрації температури на поверхнях імітаторів та у вхідних і вихідних повітряних потоках.

У п'ятому розділі приведені експериментальні результати досліджень ефективності охолодження Li-ion батареї з поверхнями типу «полупіни з округленими крайками», «скручені стрічки», «відкриті піраміди» та при охолодженні батареї тепловою трубкою. Експериментальні результати порівнюються з даними математичного моделювання.

У цілому структура дисертації за обсягом, оформленням і змістом відповідає рівню кандидатської дисертаційної роботи. Зміст автореферату дисертації відповідає змісту дисертаційної роботи.

Практична цінність результатів роботи. В роботі запропоновані математичні моделі та методи розрахунку ефективності систем охолодження Li-ion батареї можуть бути використані в розробках різних систем теплообміну при проектуванні науково-дослідних установок, в автомобілебудуванні, в авіації та в різного роду накопичувачах електроенергії.

Методи математичного моделювання, чисельні методи розрахунків та метод вимірювання і обробки даних впроваджені в ННЦ ХФТІ, що підтверджено довідкою про їх використання в експериментальній установці «Мішень поляризованих ядер гелію 3» для моделювання теплових процесів в гелієвому осередку, в багатоканальній системі вимірювання температури мішені, в системі вимірювання поляризації ядер гелію 3 та в системі управління адіабатичним реверсом поляризації.

Повнота викладення основних результатів дисертації. Результати, отримані у дисертаційній роботі достатньо повно відображені у 12 наукових працях, із них: 2 статті в спеціалізованих виданнях України за технічними науками, 3 статті в періодичних міжнародних фахових виданнях, 1 стаття опублікована в міжнародній електронній бібліотеці, 12 публікацій - матеріали і тези доповідей на міжнародних науково - практичних конференціях, з них 3 опубліковані у вигляді електронних препринтів BNL (Brookhaven National Laboratory, USA), 5 публікацій входять в наукометричну базу SCOPUS.

Сукупність наукових результатів та їх практичне значення дозволяє зробити висновок про завершеність роботи. Публікації розкривають основний зміст дисертації та відповідають основним положенням і висновкам. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим. Рівень та кількість публікацій, рівень апробацій відповідають вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій в Україні.

Зауваження до змісту дисертації та автореферату.

1. У другому розділі приведено формули 2.10 – 2.21 в інтегральному та диференційному видах для кожного законів збереження послідовно. Більш інформативно було б об'єднати ці формули в таблицю.

2. У роботі результати обчислювальних експериментів для швидкості потоку повітря подаються лише у вигляді траєкторій та температури. Бажано було б розглянути використання знайдених параметрів потоку для знаходження інших характеристик потоку, зокрема, мінімальні та максимальні локальні швидкості.

3. У третьому розділі при поданні результатів ефективності охолодження не наведено кількість ітерацій, за яку зійшлися послідовні наближення з заданою точністю.

4. У третьому розділі п. 3.3 наведені числові дані математичного моделювання теплових процесів в тепловій трубці в стаціонарних умовах. При експлуатації Li-ion батареї в автотранспорті виникають додаткові сили при прискоренні руху, раптових зупинках і т. і. Бажано було б надати рекомендації для корекції математичної моделі для таких випадків.

5. В авторефераті при огляді п'ятого розділу не наведено результатів експериментального дослідження ефективності охолодження елементів Li-ion батареї та перепаду тиску в повітряному потоці, а приведено лише відносні відхилення їх з розрахованими даними по математичним моделям.

6. Дисертація оформлена належним чином, однак в списку літератури трапляються технічні помилки.

7. На завершення роботи доцільно було б навести економічну оцінку отриманих результатів.

Висновки по дисертаційній роботі. Вважаю, що відзначені недоліки ніякою мірою не знижують загальний рівень роботи, а дисертаційна робота «Математичні моделі та обчислювальні методи аналізу ефективності систем охолодження Li-ion батарей повітряним потоком» є завершеною актуальною науковою працею, в якій одержані нові результати, які вносять вагомий внесок в методи математичного моделювання та застосування обчислювальних методів на основі комплексу проблемно-орієнтованого програмного продукту і можуть бути поширені на інші фізико-технічні системи з розподіленими джерелами відповідних полів.

На підставі вищезазначеного вважаю, що кандидатська дисертаційна робота Луханіна Олександра Олексійовича «Математичні моделі та обчислювальні методи аналізу ефективності систем охолодження Li-ion батарей повітряним потоком» відповідає паспорту спеціальності та всім вимогам до кандидатських дисертацій згідно з «Порядком присудження наукових ступенів», а її автор, Луханін Олександр Олексійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,

завідувач кафедри прикладної математики

Харківського національного університету радіоелектроніки

д. т. н., проф.

А.Д. Тевяшев

Підпис Тевяшева А.Д. засвідчую,

учений секретар ХНУРЕ

Магдаліна І.В.

