

Розробка та дослідження алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою для охолодження світлодіодних освітлювальних приладів.

Разработка и исследование алюминиевых тепловых труб с резьбовой капиллярной структурой для охлаждения светодиодных осветительных приборов.

Development and research of aluminum heat pipes with threaded capillary structure for cooling LED lighting devices.

1. Номер державної реєстрації теми: 0116U003780.

2. Науковий керівник: д.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник кафедри АЕС і ІТФ, ТЕФ.НИКОЛАСНКО Юрій Єгорович, НИКОЛАЕНКО Юрій Єгорович, Nikolaenko Yu. E., doctor of technical sciences.

3. Суть розробки, основні результати:
(укр.)

На освітлення в світі витрачається від 19 до 22 % електроенергії, що виробляється. Впровадження енергозберігаючих технологій в системи освітлення дозволить забезпечити значну економію електроенергії та покращити екологічний стан за рахунок зменшення викидів теплових електростанцій в навколишнє середовище. Одним з шляхів економії енергії в освітленні є перехід на світлодіодне освітлення. Світлова віддача світлодіодних джерел світла в 10 разів перевищує світлову віддачу ламп розжарювання та в 2 рази - компактних люмінесцентних ламп, що містять ртуть. Однак, при створенні світлодіодних освітлювальних приладів виникає проблема забезпечення нормального теплового режиму світлодіодних джерел світла.

Вирішити цю проблему можна за допомогою теплових труб, теплопровідність яких перевищує теплопровідність міді в сотні разів. Разом з тим, технологія виготовлення мідних теплових труб з металоволокнистими або порошковими капілярними структурами є складною. Крім того, вони мають значну масу. Тому перспективним є застосування в світлодіодних приладах більш легких та більш дешевих - алюмінієвих теплових труб. Найкращі алюмінієві теплові труби з капілярними омега-подібними канавками були розроблені для космічного призначення і є дорогими, оскільки отримання капілярної структури здійснюється методом екструзії з використанням високотемпературного металургійного обладнання.

В даній науково-дослідній роботі вперше розроблено та досліджено нові конструктивно-технологічні рішення зі створення гравітаційних алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою, яка виконана у вигляді метричної різьби на внутрішній поверхні корпусу теплової труби в зоні випаровування. Такі теплові труби, на відміну від існуючих алюмінієвих теплових труб з омега-подібними канавками, більш технологічні у виробництві, що дозволяє виготовляти їх в умовах існуючих невеликих вітчизняних підприємств, здешевлює їх виробництво та підвищує конкурентоздатність.

В результаті роботи розроблено ескізу конструкторську документацію на теплову трубу з різьбовою капілярною структурою, на імітатор теплового потоку на основі алмазоподібних плівок та на світлодіодний світильник з розробленою тепловою трубою. Створено 5 експериментальних зразків теплових труб з теплоносіями: хладон 141b, н-пентан та ізобутан. Експериментально отримано: нові графічні залежності коефіцієнта тепловіддачі в зоні випаровування та в зоні конденсації від тиску насиченої пари при постійній густині теплового потоку, а також – залежності коефіцієнта тепловіддачі в зоні випаровування та в зоні конденсації від густини теплового потоку при постійному тиску насиченої пари. Отримано графічні залежності: термічного опору від кута нахилу теплової труби, перепаду температури по тепловій трубі від теплового потоку, що передається, визначено ступінь рівномірності температурного поля та значення максимального теплового потоку, що передається тепловою трубою.

На основі отриманих залежностей розроблено інженерну методику розрахунку та рекомендації щодо впровадження алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою в світлодіодні освітлювальні пристрої.

(рос.)

На освещение в мире расходуется от 19 до 22% вырабатываемой электроэнергии. Внедрение энергосберегающих технологий в системы освещения позволит обеспечить значительную экономию электроэнергии и улучшить экологическое состояние за счет уменьшения выбросов тепловых электростанций в окружающую среду. Одним из путей экономии энергии в освещении является переход на светодиодное освещение. Световая отдача светодиодных источников света в 10 раз превышает световую отдачу ламп накаливания и в 2 раза - компактных люминесцентных ламп, содержащих ртуть. Однако, при создании светодиодных осветительных приборов возникает проблема обеспечения нормального теплового режима светодиодных источников света.

Решить эту проблему можно с помощью тепловых труб, теплопроводность которых превышает теплопроводность меди в сотни раз. Вместе с тем, технология изготовления медных тепловых труб с металловолкнистыми или порошковыми капиллярными структурами является сложной. Кроме того, они имеют значительную массу. Поэтому перспективным является применение в светодиодных приборах более легких и более дешевых - алюминиевых тепловых труб. Лучшие алюминиевые тепловые трубы с капиллярными омега-образными канавками были разработаны для космического назначения и являются дорогостоящими, поскольку получение капиллярной структуры осуществляется методом экструзии с использованием высокотемпературного металлургического оборудования.

В данной научно-исследовательской работе впервые разработаны и исследованы новые конструктивно-технологические решения по созданию гравитационных алюминиевых тепловых труб с резьбовой капиллярной структурой, которая выполнена в виде метрической резьбы на внутренней поверхности корпуса тепловой трубы в зоне испарения. Такие тепловые трубы, в отличие от существующих алюминиевых тепловых труб с омега-образными канавками, технологичнее в производстве, что позволяет изготавливать их в условиях существующих небольших отечественных предприятий, удешевляет их производство и повышает конкурентоспособность.

В результате работы разработана эскизная конструкторская документация на тепловую трубу с резьбовой капиллярной структурой, на имитатор теплового потока на основе алмазоподобных пленок и на светодиодный светильник с разработанной тепловой трубой. Созданы 5 экспериментальных образцов тепловых труб с теплоносителями: хладон 141b, н-пентан и изобутан. Экспериментально получены: новые графические зависимости коэффициента теплоотдачи в зоне испарения и в зоне конденсации от давления насыщенного пара при постоянной плотности теплового потока, а также - зависимости коэффициента теплоотдачи в зоне испарения и в зоне конденсации от плотности теплового потока при постоянном давлении насыщенного пара. Получены графические зависимости: термического сопротивления от угла наклона тепловой трубы, перепада температуры по тепловой трубе от передаваемого теплового потока, определена степень равномерности температурного поля и значение максимального теплового потока, передаваемого тепловой трубой.

На основе полученных зависимостей разработана инженерная методика расчета и рекомендации по внедрению алюминиевых тепловых труб с резьбовой капиллярной структурой в светодиодные осветительные устройства.

(англ.)

For lighting in the world, 19 to 22% of the generated electricity is consumed. The introduction of energy-saving technologies in lighting systems will provide significant energy savings and improve the environmental state by reducing emissions of thermal power plants in the environment. One way to save energy in lighting is to switch to LED lighting. Light output of LED light sources is 10 times higher than the light output of incandescent lamps and 2 times -

compact fluorescent lamps containing mercury. However, when creating LED lighting products, the problem arises of ensuring a normal thermal regime of LED light sources.

Solve this problem by using heat pipes whose thermal conductivity exceeds the thermal conductivity of copper by hundreds of times. At the same time, the technology of manufacturing copper heat pipes with metal fibers or powder capillary structures is complicated. In addition, they have a significant mass. Therefore, it is promising to use lighter and cheaper aluminum heat pipes in LED devices. The best aluminum heat pipes with capillary omega-shaped grooves were developed for space purposes and are costly, since the capillary structure is obtained by extrusion using high-temperature metallurgical equipment.

In this research work, new design and technological solutions for the creation of gravitational aluminum heat pipes with a threaded capillary structure, which is made in the form of a metric thread on the inner surface of the shell of the heat pipe in the evaporation zone, were first developed and investigated. Such heat pipes, in contrast to existing aluminum heat pipes with omega-shaped grooves, are more technologically efficient in production, which makes it possible to manufacture them in the conditions of existing small domestic enterprises, make their production cheaper and increase competitiveness.

As a result of the work, sketch design documentation for a heat pipe with a threaded capillary structure, a heat flux simulator based on diamond-like films and an LED lamp with a developed heat pipe was developed. Five experimental samples of heat pipes with heat carriers were created: chladone 141b, n-pentane and isobutane. Experimentally obtained: new graphical dependences of the heat transfer coefficient in the evaporation zone and in the condensation zone on the saturated vapor pressure at a constant density of the heat flux, and also on the dependence of the heat transfer coefficient in the evaporation zone and in the condensation zone on the density of the heat flux at constant saturated vapor pressure. Graphical dependencies are obtained: the thermal resistance from the slope of the heat pipe, the temperature drop across the heat pipe from the transmitted heat flux, the degree of uniformity of the temperature field and the value of the maximum heat flux transferred by the heat pipe are determined.

Based on the obtained dependencies, an engineering methods for calculation and recommendations for the introduction of aluminum heat pipes with threaded capillary structure into LED lighting devices have been developed.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності:

- Патент України на корисну модель № 109840, МПК (2006.01) F28D 15/02. Гравітаційна теплова труба // НТУУ «КПІ» / Ю.Є. Ніколаєнко. – Опубл. 12.09.2016. Бюл. № 17. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19508> ;

- Патент України на корисну модель № 114068, МПК (2016.01) F21V 29/00, F21S 8/00, F21Y 115/10). Світлодіодний освітлювальний пристрій // НТУУ «КПІ» / Ю.Є. Ніколаєнко. – Опубл. 27.02.2017. Бюл. № 4. <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=232641> ;

- Патент України на корисну модель № 115372, МПК (F21V 19/04 (2006.01), F21V 29/70 (2015.01), F21S 2/00, H01L 33/64 (2010.01), F21W 131/00. Об'ємним світлодіодний модуль // Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” / Ю.Є. Ніколаєнко. Опубл. 10.04.2017. Бюл. № 7. <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search> ;

- Патент України на корисну модель за заявкою № u201706054 від 16.06.2017 р, МПК H05B 3/08, H05B 3/20 (2017.01). Імітатор теплового потоку // Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” / Ю.Є. Ніколаєнко, Р.С. Мельник, О.І. Руденко, С.М. Ротнер. Опубл. 25.12.2017. Бюл. № 24; Рішення про видачу патенту від 05.11.2017 р.

- Патент Російської Федерації на корисну модель за заявкою № 2017112447 від 11.04.2017 р., МПК F21V 29/00, F21S 8/00, F28D 15/04 (2017.01). Светодиодное осветительное устройство // Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” / Ю.Е. Николаенко. Рішення про видачу патенту від 22.11.2017 р.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Отримані результати відповідають світовому рівню. В науковій літературі відсутні публікації закордонних та вітчизняних вчених щодо запропонованого технічного рішення та результатів дослідження процесів теплообміну в зонах випаровування та конденсації алюмінієвих гравітаційних теплових труб з різьбовою капілярною структурою та затопленою теплоносієм короткою зоною випаровування, що характерно для теплових труб даного типу та призначення. Вітчизняні вчені Смирнов Г.Ф. та Бурдо О.Г. з учнями (ОНАХТ, м. Одеса) досліджували процеси теплообміну в канавчастих капілярних структурах різного профілю на металевих підкладках, а вчені НТУУ «КПІ» під керівництвом Хайрнасова С.М. – теплопередавальні характеристики алюмінієвих теплових труб з омега-подібними канавками. В публікаціях закордонних вчених досліджувались алюмінієві теплові труби також лише з поздовжніми канавками. Проблема розробки відносно дешевих гравітаційних алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою та дослідження процесів внутрішнього теплообміну в них в т.ч. в залежності окремо від густини теплового потоку та від тиску пари в умовах затоплення зони випаровування теплоносієм, в даній роботі досліджено вперше.

Максимальна довжина експериментальних зразків теплових труб (ТТ) 830 мм, діаметр 12 мм, теплоносії – хладон 141b, ізобутан та н-пентан. Теплові труби характеризуються відносно невеликою масою: маса ТТ з хладоном 141b з товщиною стінки 1 мм становила 89,1 г., з товщиною стінки 1,5 мм – 108, 9 г, ТТ з ізобутаном з товщиною стінки 1,5 мм – 108, 2 г., ТТ з н-пентаном з товщиною стінки 2 мм – 135,9 г. Тобто, розроблені алюмінієві ТТ з різьбовою капілярною структурою у 3,28 разів легші, ніж аналогічні мідні ТТ з металоволокнистою капілярною структурою, що зменшує масу освітлювального приладу з п'ятьма ТТ на 1,24-1,55 кг та знижує його вартість за рахунок використання більш легкого матеріалу та спрощення капілярної структури. На відміну від існуючих алюмінієвих теплових труб з омега-подібними поздовжніми канавками при однаковій масі конструкція створених гравітаційних алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою більш технологічна у виробництві, що дозволяє налагодити їх виробництво в умовах існуючих невеликих вітчизняних підприємств без залучення складного технологічного обладнання.

6. Економічна привабливість розробки для просування на ринок (*вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники*).

Застосування розроблених алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою в каркасі світлодіодного освітлювального приладу дозволить створити енергоефективні світлодіодні освітлювальні прилади для внутрішнього освітлення приміщень у вигляді, наприклад, підвісних люстр з потужністю світлодіодних модулів по 24 Вт кожний. Потенційний обсяг економії електроенергії при впровадженні, наприклад, 1000 одиниць світлодіодних люстр з п'ятьма ріжками з алюмінієвими ТТ з такими світлодіодними модулями, складатиме 1 млн. 642 тис. 500 кВт•год на рік за рахунок того, що світлодіодний освітлювальний прилад при випромінювання однакового світлового потоку споживає 120 Вт електроенергії, що в 5-10 разів менше, ніж при використанні ламп розжарювання (600-1200 Вт).

Витрати, що необхідні для просування розробки на ринок (проведення дослідно-конструкторських робіт, маркетингових досліджень, виготовлення дослідних партій та їх випробувань, підготовки виробництва тощо), оцінити складно, але можна передбачити, що вони будуть значно меншими, ніж очікувана економічна ефективність від впровадження розроблених люстр лише в новобудовах одного року в м. Києві.

7. Потенційні користувачі (*галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації*).

Потенційними галузями застосування результатів роботи є - світлотехніка, електроніка, приладобудування, промислова теплотехніка, альтернативна енергетика тощо.

Створена в даній науково-дослідній роботі науково-технічна продукція є науково-технологічною основою для подальшого проведення дослідно-конструкторських робіт з розробки відповідної робочої конструкторсько-технологічної документації на теплові труби з різьбовою капілярною структурою для світлодіодних освітлювальних приладів та для інших сфер застосування.

Потенційними користувачами результатів роботи можуть бути науково-дослідні інститути, конструкторські і проектні організації України та інших країн, підприємства-члени асоціації виробників світлодіодної техніки, приватні підприємства, які розробляють нові, більш енергоефективні освітлювальні прилади для освітлення приміщень та електронну апаратуру для інших сфер застосування. Наприклад, потреба в алюмінієвих теплових трубах з різьбовою капілярною структурою для систем охолодження електронної апаратури подвійного призначення підтверджена листом потенційного замовника - ПАТ «НВП «Сатурн», м. Київ, від 08.07.2015 р. № 01-2/0457.

8. Стан готовності розробки.

Розроблено методику інженерного розрахунку алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою. Розроблено ескізу конструкторську документацію на алюмінієву теплову трубу з різьбовою капілярною структурою, на імітатор теплового потоку на основі алмазоподібних плівок та на настінний світлодіодний світильник з тепловою трубою. Виготовлено 5 експериментальних зразків теплових труб.

9. Існуючі результати впровадження.

Укладено ліцензійний договір від 29.09.2017 р. № Л/17-4 про надання права ТОВ «Завод Світлотехніка», м. Запоріжжя, на використання об'єкта права інтелектуальної власності - корисної моделі «Світлодіодний освітлювальний пристрій» з розробленою тепловою трубою, який охороняється патентом України № 114068 від 27.02.2017 р.

Результати роботи передано до Асоціації виробників світлодіодної техніки з метою впровадження в перспективні розробки освітлювальної техніки на підприємствах-членах асоціації (довідка про передачу від 07.11.2017 р., № 33).

Виробництво алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою може бути налагоджене на існуючих вітчизняних підприємствах машинобудівної та приладобудівної галузей.

Результати роботи № 2917-п впроваджено в навчальний процес на кафедрі АЕС і ІТФ теплоенергетичного факультету: запроваджено новий лекційний курс «Нетрадиційні джерела енергії» (розділ «Сонячна енергетика»); використано при оновленні циклу лабораторних робіт з лекційного курсу «Технічні засоби теплофізичного експерименту».

10. Форма участі інвестора (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті %, частка від прибутку %, інше)

Кращою формою участі інвесторів було б придбання ліцензій на право використання об'єктів права інтелектуальної власності, створених при виконанні роботи, та налагодження промислового виробництва світлодіодних освітлювальних приладів на основі теплових труб, а також застосування теплових труб з різьбовою капілярною структурою в електронній апаратурі подвійного призначення.

11. Обсяг інвестицій (необхідна для результатів проекту сума інвестицій у доларах США).

Визначається інвестором.

12. Мета інвестицій (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

Розробка дослідних зразків та дослідних партій алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою, світлодіодних освітлювальних приладів на їх основі, проведення випробувань та налагодження промислового виробництва на існуючих підприємствах України.

13. Назва підрозділу, телефон, e-mail: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (КПІ ім. Ігоря Сікорського), теплоенергетичний факультет (ТЕФ), кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики (АЕС і ІТФ), робочий тел./факс: (044) 204-95-26, e-mail: y.nikolaenko@kpi.ua

14. Фото розробки



Зовнішній вигляд різьбової капілярної структури на внутрішній поверхні корпусу алюмінієвої теплової труби в зоні випаровування у збільшеному масштабі



Світлодіодний настінний світильник з розробленою тепловою трубою

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання:

1. Николаенко Ю.Е. Термическое сопротивление алюминиевой гравитационной тепловой трубы с резьбовой капиллярной структурой / Ю.Е. Николаенко, Д.В. Козак // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2017. – № 4-5. – С. 24–31.

DOI: 10.15222/ТКЕА2017.4-5.24.

2. Николаенко Ю.Е. Термическое сопротивление тепловых труб для светодиодных осветительных приборов энергоэффективных зданий / Ю.Е. Николаенко, Б.И. Басок, Д.В. Козак // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 4. – 6 с.

3. Kozak D.V. The Working Characteristics of Two-Phase Heat Transfer Devices for LED Modules / D.V. Kozak, Yu. E. Nikolaenko // 2016 IEEE International Conference on Electronics and Information Technology (EIT'16). Conference Proceeding. Ukraine, Odessa, May 23-27, 2016. – Odessa. 2016. – P. 10–13. ISBN 978-1-5090-2224-3.

DOI: 10.1109/ICEAIT.2016.7500980 (Scopus)

4. Thermal Performance of Aluminium Grooved Heat Pipes / Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Anna Anisimova // 2016 IEEE International Conference on Electronics and Information Technology (EIT'16). Conference Proceeding. Ukraine, Odessa, May 23-27, 2016. – Odessa. 2016. – P. 6–9. ISBN 978-1-5090-2224-3. DOI: 10.1109/ICEAIT.2016.7500979 (Scopus)

5. Козак Д.В. Термічний опір алюмінієвої теплової труби з різьбовою капілярною структурою с изобутаном / Д.В. Козак, Ю.Є. Ніколаенко // Сучасні проблеми наукового

забезпечення енергетики: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 25 – 28 квітня 2017 р. У 2 т. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – Т. 1.– 190 с. – С. 68. - ISBN 978-966-622-827-0.

6. Melnyk R.S. Heat Transfer Limitations of Heat Pipes for a Cooling Systems of Electronic Components / R.S. Melnyk, Yu.E. Nikolaenko, Ye.S. Alekseiik, V.Yu. Kravets // The 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kyiv, Ukraine, May 29 – June 2, 2017, pp. 692-695. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100316 (Scopus)

7. Николаенко Ю.Е. Сравнение тепловых характеристик термосифона и гравитационной тепловой трубы одинаковых размеров / Ю.Е. Николаенко, Д.В. Козак, В.Ю. Кравец, С.М. Хайрмасов // Труды XVII международной научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии”, 23-27 мая 2016 г. – Одесса. – С. 164-165.

8. Николаенко Ю.Е. Коэффициенты теплоотдачи в зонах испарения и конденсации алюминиевой тепловой трубы с резьбовидной капиллярной структурой / Ю.Е. Николаенко, Д.В. Козак, С.М. Хайрмасов // Труды XVIII міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні та електронні технології”. – Електронні дані. - Одесса. – Політехперіодика, 2017. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – С. 37-38. ISSN 2308-8060.

9. Мельник Р.С. Новая система охлаждения для светодиодных осветительных приборов / Р.С. Мельник, Ю.Е. Николаенко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету, м. Київ, 18 – 21 квітня 2016 р. У 2 т. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – Т. 1.– 218 с. – С. 87. - ISBN 978-966-622-697-9 (Заг.), ISBN 978-966-622-695-5 (Т. 1).

10. Козак Д.В. Термическое сопротивление гравитационной тепловой трубы с резьбовидной капиллярной структурой / Д.В. Козак, Ю.Е. Николаенко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету, м. Київ, 18 – 21 квітня 2016 р. У 2 т. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – Т. 1.– 218 с. – С. 81. - ISBN 978-966-622-697-9 (Заг.), ISBN 978-966-622-695-5 (Т. 1).

11. Николаенко Ю.Е. Конструктивно-технологические особенности имитатора теплового потока на основе малмазо-подобных пленок / Ю.Е. Николаенко, Р.С. Мельник // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2017. – № 6. – 5 с.

12. Мельник Р.С. Влияние основных ограничивающих факторов на пределы теплопереноса в тепловых трубах с различными теплоносителями / Р.С. Мельник, Ю.Е. Николаенко, В.Ю. Кравец, Е.С. Алексеик // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2017. – № 1-2. – С. 47–54. DOI: 10.15222/ТКЕА2017.1-2.47. ISSN 2225-5818.

13. Николаенко Ю.Е. Алюминиевые тепловые трубы для светодиодных осветительных приборов. Aluminum heat pipes for LED lighting devices / Ю.Е. Николаенко, Д.В. Козак // Конференція LED Progress “Світлодіоди – Новинки. Практика. Перспективи”. Офіційний каталог виставки світлодіодних рішень “LEDExpo Ukraine 2017”, 13-15 вересня 2017 р., Київ, КиївЕкспоПлаза, вул. Салютная 2-Б. – С. 48.

14. Nikolaenko Yu.E., Kravets V.Yu., Naumova A.N., Baranyuk A.V. Development of the ways to increase lighting energy efficiency of living space // International Journal of Energy for a Clean Environment. – 2018. – Vol. 19, Iss. 1. – 6 p. (Scopus)

15. Nikolaenko Yu. E. Experimental study of thermal contact resistance in the area of the threaded plug connection contact surfaces / Yu. E. Nikolaenko and A.S. Postol // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2018. – Vol. 91, No 4. – 14 с. (Scopus).

16. Heat Pipes Application to Solar Energy Systems / S. M. Khairnasov and A. M. Naumova // Applied Solar Energy, 2016, Vol. 52, No. 1, pp. 47–60. (Scopus)

17. Heat pipes with variable thermal conductance property for space applications / V. Kravets, Ye. Alekseiik, O. Alekseiik, S. Khairnasov, V. Baturkin, T. Ho and L. Celotti // Journal

of Mechanical Science and Technology 31(6) (2017) 2613~2620. DOI 10.1007/s12206-017-0503-8 (Scopus)

18. Development of advanced high porosity wicks for the high temperature heat pipes of concentrating solar power / S. Khairnasov, C.E. Andraka, V. Baturkin, V. Zaripov, O. Nishchuk // Applied Thermal Engineering (2017), 17 p.

doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.109> (Scopus)

19. Николаенко Ю.Е. Экспериментальное исследование контактного термического сопротивления в зоне резьбового разъемного соединения соприкасающихся поверхностей / Ю.Е. Николаенко, А.С. Постол // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т.91, № 4. – 14 с. (Scopus).

20. Николаенко Ю.Е. Светодиодная люстра с тепловыми трубами и результаты исследования ее тепловых характеристик. LED fixture with heat pipes and the results of its thermal characteristics study / Ю.Е. Николаенко // Конференція LED Progress “Світлодіоди – Новинки. Практика. Перспективи”. Офіційний каталог виставки світлодіодних рішень “LEDExpo Ukraine 2016”, 14-16 вересня, Київ, КиївЕкспоПлаза, вул. Салютная 2-Б. – С. 53-54.

21. Николаенко Ю.Е. Экспериментальное исследование характеристик светодиодной люстры с тепловыми трубами с возможностью питания ее от возобновляемых источников энергии / Ю.Е. Николаенко, А.В. Баранюк, Т.Ю. Николаенко // Труды международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Секция III: Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение, их прикладные аспекты, 13-14 июня 2017 г, г. Ташкент, Узбекистан, Академия наук Республики Узбекистан, НПО “Физика-Солнце” Физико-технический институт. - С. 149-154.

Подані статті, що знаходяться в стадії розгляду:

22. Nikolaenko Yu.E., Baranyuk A.V., Nikolaienko T.Yu. Experimental research of LED chandelier with heat pipes and power supply from renewable energy sources // Applied Solar Energy. – 2018. – V. 00, N 0. – P. 00–00. (Scopus)

23. Николаенко Ю.Е. Экспериментальное исследование светодиодной люстры с тепловыми трубами и питанием от возобновляемых источников энергии / Ю.Е. Николаенко, А.В. Баранюк, Т.Ю. Николаенко // Гелиотехника. – 6 с. (Scopus)

16. Ключові слова до розробки: тепла труба, різьбова капілярна структура, теплові характеристики, світлодіодний освітлювальний прилад, світлодіодний модуль, охолодження світлодіодів.