

УДК 621.316

**М.К. Безродный**, д-р. техн. наук, проф., **ORCID**: 0000-0002-0788-5011

**Н.А. Притула**, канд. техн. наук, асис., **ORCID**: 0000-0002-3500-5165

**Т.А. Мисюра**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СХЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ АТМОСФЕРНО-ГО ВОЗДУХА И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

*Проанализирована эффективность теплонасосной системы отопления с использованием предварительно подогретого за счёт солнечной радиации атмосферного воздуха. Разработана теоретическая модель этой системы, и выполнен числовой анализ её термодинамической эффективности. Установлено, что использование данной системы позволяет обеспечить более благоприятные температурные условия работы ТН в холодный период года, уменьшить суммарные удельные затраты внешней энергии на отопление в сравнении с системой без подогрева. Получены графические зависимости с изображением оптимальных режимов работы теплонасосной системы.*

**Ключевые слова:** воздушный тепловой насос, солнечный коллектор, суммарные удельные затраты внешней энергии, низкотемпературная система отопления.

Надійшла 02.10.2017

Received 02.10.2017

УДК 536.24

**Ю.Е. Николаенко**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр., **ORCID** 0000-0002-3036-5305

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Б.И. Басок**, член-корреспондент НАН Украины, д-р техн. наук, проф. **ORCID** 0000-0002-8935-4248

**Институт технической теплофизики НАН Украины**

**Д.В. Козак**, аспирант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

### **ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

*Проблема энергосбережения является актуальной как для Украины, так и для других стран мира. От 19 до 22 % вырабатываемой в мире электроэнергии расходуется на освещение, значительная часть которой идет на внутреннее освещение помещений жилищного фонда и объектов социально-культурного назначения. В статье предложены новые схемы энергоэффективных светодиодных осветительных приборов с тепловыми трубами для использования их в энергоэффективных зданиях с минимальным потреблением электроэнергии. Экспериментально исследованы зависимости термического сопротивления тепловых труб от мощности светодиодных модулей. Исследовано влияние материала тепловых труб, типа капиллярной структуры и вида теплоносителей на термическое сопротивление тепловых труб. Показано, что для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодных осветительных приборов наиболее рациональными вариантами являются конструкции медных и алюминиевых тепловых труб с резьбовой капиллярной структурой, как более технологичные по сравнению с тепловыми трубами, имеющими другие типы капиллярных структур. Рекомендованными теплоносителями для медных тепловых труб являются этанол и хладон 141b, для алюминиевых тепловых труб – n-пентан и хладон 141b.*

**Ключевые слова:** тепловая труба, термическое сопротивление, светодиодный осветительный прибор, энергоэффективное здание.

## Введение

Проблема сокращения вредных выбросов в атмосферу, образующихся при сжигании органических видов топлива на тепловых электростанциях, является крайне актуальной. Улучшения экологического состояния окружающей среды можно достичь путем снижения использования органических видов топлива в структуре энергопотребления и расширения использования возобновляемых источников энергии – солнечной энергии и энергии ветра, а также путем более эффективного использования имеющихся энергоресурсов. Основными потребителями энергии в Украине, как и в большинстве европейских стран, являются жилые дома и объекты социально-культурного назначения. Ими потребляется более 30% конечной энергии [1].

Жилые здания и объекты социально-культурного назначения используют как тепловую, так и электрическую энергию. Большинство опубликованных в последние годы результатов научных исследований посвящено снижению потребления тепловой энергии, идущей на создание комфортных условий для нахождения человека в жилом помещении, путем реализации концепции построения энергоэффективных зданий пассивного типа с минимальным потреблением энергии и домов типа «ноль энергии» с полным исключением потребления традиционных источников энергии [2, 3].

Электрическая энергия в жилых зданиях и объектах социально-культурного назначения используется на работу бытовой электротехники (холодильник, кондиционер, компьютер, стиральная машина, пылесос, телевизор и др.) и на освещение помещений. И хотя осветительные приборы потребляют меньше энергии, чем бытовая техника, даже небольшое снижение энергопотребления, идущего на освещение помещения, в масштабах города или страны может привести к существенному сокращению энергопотребления и объемов сжигаемого органического топлива. Вопросы снижения потребления электрической энергии в жилых помещениях и помещениях социально-культурного назначения, идущей на освещение, рассмотрены в [1, 4]. С этой целью предлагается использовать возобновляемые источники энергии и высокоэффективные светодиодные источники света вместо традиционных ламп накаливания. Использование светодиодных источников света вместо ламп накаливания позволит в 10 раз снизить энергопотребление за счет более высокой световой отдачи, и, кроме того, дополнительно снизить на 40-50 % потребление электроэнергии за счет возможности автоматизации управления освещением [1].

Решение проблемы снижения энергопотребления освещением, с помощью возобновляемых источников энергии и светодиодных источников света осуществляется в основном двумя путями:

- в индивидуальных домах, оснащенных мощными фотоэлектрическими установками (ФЭУ), преобразовывающими солнечную энергию в напряжение 220 В переменного тока, необходимое для питания бытовых электроприборов – путем подключения осветительных приборов к этой сети;
- в многоквартирных домах – путем перехода на использование в подвесных люстрах вместо ламп накаливания светодиодных ламп прямой замены (СДЛПЗ), подключенных к централизованной электросети, которые по конструктивному исполнению идентичны лампам накаливания.

Использование мощных ФЭУ для питания бытовой электротехники и осветительных приборов в многоквартирных домах, преобладающих в жилищном секторе, является проблематичным из-за необходимых значительных площадей для установки ФЭУ. Это не позволяет широко использовать солнечную энергию для освещения помещений в многоквартирных домах. Решение указанной проблемы может быть достигнуто путем использования комбинированных систем электропитания осветительных приборов на основе индивидуально установленных небольших солнечных панелей на фасадах, балконах и крышах многоквартирных домов [5].

Положительной особенностью электропитания и работы светодиодных источников света является использование источников постоянного тока и небольшое значение прямого падения напряжения на светодиоде (СД). Это дает возможность питать светодиодные источники тока постоянным током от относительно маломощных солнечных ФЭУ без промежуточного преобразования постоянного тока в переменный [6]. Однако ограниченные габаритные размеры СДЛПЗ, устанавливаемых в существующие люстры, и низкая эффективность теплообмена между радиатором СДПЗ и окружающим воздухом внутри плафона, приводят к тому, что тепловой режим СДЛПЗ существенно ухудшается, что снижает надежность светодиодных источников света. В [7, 8] впервые было предложено принципиально новое техническое решение использования светодиодных источников света в бытовых осветительных приборах. Суть предложенного технического решения заключается в выполнении каркаса люстры из тепловых труб (ТТ), обладающих в десятки и сотни раз более высокой эквивалентной теплопроводностью по сравнению с металлами. При этом источниками света вместо СДЛПЗ служат объемные светодиодные модули (СДМ), устанавливаемые в зоне испарения ТТ. Благодаря высокой эффективности отвода теплоты с помощью ТТ, мощность СДМ в люстре, а соответственно и их световой поток, могут быть увеличены, по крайней мере, вдвое по сравнению со СДЛПЗ без нарушения нормального теплового режима СД. Это позволяет вдвое уменьшить количество источников света в люстре или количество люстр, необходимое, например, для освещения помещений большой площади или помещений с высокими потолками.

Особенностями конструкций ТТ, предназначенных для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса люстры, являются их значительная длина (700-900 мм) и короткая (40-50 мм) зона испарения. Исследования тепловых характеристик подобных конструкций ТТ крайне ограничены [9], что обуславливает актуальность задачи экспериментального исследования тепловых характеристик наиболее рациональных конструкций ТТ применительно к использованию их в каркасах светодиодных люстр энергоэффективных зданий

### Цель статьи

Целью данной работы является разработка, изготовление и экспериментальное исследование термического сопротивления ТТ, предназначенных для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодной люстры, которые были бы технологичными в изготовлении в условиях действующих предприятий машиностроительного или приборостроительного профиля.

### Основные типы светодиодных люстр с ТТ и наиболее рациональные конструкции экспериментальных образцов ТТ

Конструктивно-технологические варианты построения подвесных светодиодных люстр с ТТ можно свести к трем основным типам (рис.1): первый тип (рис.1,а), в котором декоративный каркас люстры изготовлен из ТТ с отогнутыми вверх концами и с установленными на них СДМ; второй тип (рис.1,б), в котором концы ТТ с установленными СДМ отогнуты вниз и третий тип (рис.1,в), в котором концы ТТ с установленными на них СДМ расположены горизонтально. Для упрощения на рис.1 показаны схемы люстр с двумя рожками, практически их может быть любое количество (преимущественно от 3 до 8). Источники постоянного тока (драйверы), по-возможности, лучше выносить за пределы люстры и располагать в составе индивидуальной фотоэлектрической установки.

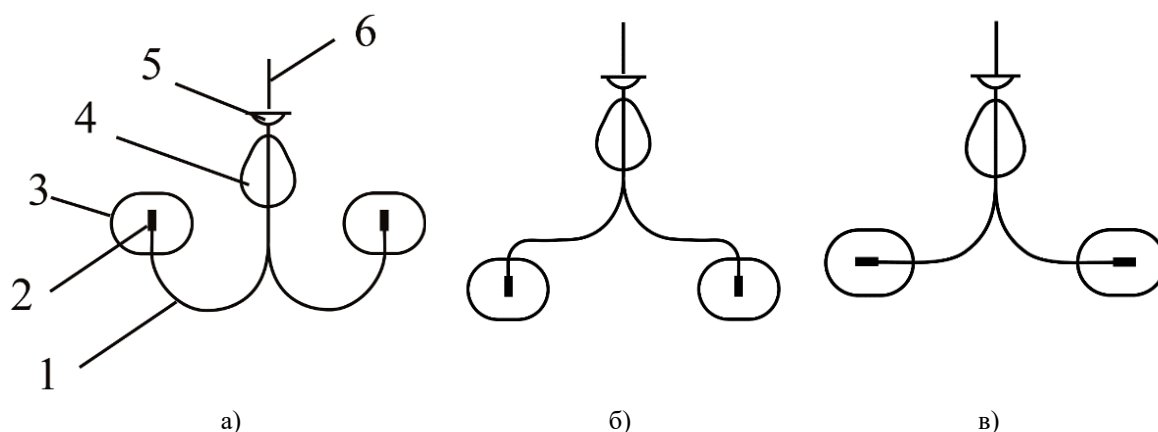


Рисунок 1 – Схемы вариантов конструкций светодиодных люстр с ТТ: а) – первый тип; б) – второй тип; в) – третий тип. 1 – ТТ; 2 – светодиодный модуль; 3 – плафон; 4 – радиатор; 5 – подвес; 6 – электрические соединительные провода

В первом типе люстр обязательно должна использоваться ТТ с капиллярной структурой (КС), обеспечивающей достаточный капиллярный напор для подъема жидкого теплоносителя из изогнутого колена до СДМ, например, металловолоконная капиллярная структура (МВКС), порошковая или композиционная капиллярная структура, спеченная из металлических волокон и порошков [10]. Во втором и третьем типах люстр, кроме МВКС, порошковой и композиционной капиллярных структур, возможно использование более простой и более технологичной в изготовлении капиллярной структуры – резьбовой [11], поскольку возврат жидкого теплоносителя из зоны конденсации в зону испарения осуществляется за счет действия силы гравитации. Основная функция КС в этом случае состоит не в транспортировке жидкого теплоносителя в зону испарения против силы гравитации, а в увеличении потенциальных центров парообразования и стабилизации процесса теплообмена в зоне испарения. Более того, во втором типе люстр может использоваться ТТ без КС, т.е. гладкостенный термосифон с затопленной теплоносителем зоной испарения.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены экспериментальные образцы ТТ (табл.1) применительно к использованию их во втором типе светодиодных люстр.

Таблица 1 – Характеристики тепловых труб

№ ТТ	Материал корпуса и КС	Тип КС	Теплоноситель
1	Медь М2	Резьбовая	Этанол
2	Медь М2	МВКС	Этанол
3	Медь М2	Резьбовая	Хладон 141b
4	Медь М2	Без КС	Хладон 141b
5	Медь М2	МВКС	Вода
6	Медь М2	Без КС	Вода
7	Медь М2	Без КС	Хладон 113
8	Медь М2	Резьбовая	Ацетон
9	Алюминиевый сплав АД31Т	Резьбовая	Хладон 141b
10	Алюминиевый сплав АД31Т	Резьбовая	Н-пентан

Длина всех ТТ – 830 мм. Внешний диаметр – 12 мм, внутренний диаметр – 10 мм, за исключением ТТ № 10, в которой внутренний диаметр составлял 8 мм. Ориентация ТТ в пространстве – вертикальная, зона испарения расположена внизу. Длина зоны испарения – 50 мм. Подвод теплоты при проведении экспериментов осуществлялся омическим нагревателем. Длина зоны конденсации у медных ТТ – 520 мм, у алюминиевых ТТ № 9 и № 10 – 640 мм и 680 мм соответственно. Отвод теплоты осуществлялся естественной конвекцией воздуха без использования дополнительных радиаторов. Описание экспериментальной установки и методики проведения экспериментов описаны в [12]. Для исключения теплооттоков поверхность участка нагрева тщательно теплоизолировалась путем размещения его в термосе с полыми вакуумированными стенками. Увеличение мощности на нагревателе ТТ осуществлялось ступенчато и ограничивалось достижением температуры в зоне испарения ТТ 100 °С.

В медных ТТ № 2 и № 5 МВКС наносилась на внутреннюю поверхность корпуса ТТ в зоне испарения и спекалась из медных волокон диаметром 50 мкм. Толщина слоя МВКС – 0,5 мм. Пористость – 85 %. В медных ТТ № 1, № 3, № 8 и в алюминиевых ТТ № 9 и № 10 капиллярная структура выполнена в виде мелкой метрической резьбы с шагом 0,5 мм на длине 55 мм от нижнего конца ТТ. Диаметр резьбы – 11 мм, кроме ТТ № 10, в которой он составлял 9 мм. Внутренняя поверхность корпуса ТТ в зонах транспорта и конденсации капиллярной структурой не покрывалась. В медных ТТ № 4, № 6, № 7 капиллярная структура в зоне испарения отсутствовала, т.е. эти ТТ представляли собой гладкостенный термосифон.

### Результаты исследований

Термическое сопротивление  $R$  определялось как отношение перепада температуры  $\Delta t$  по тепловой трубе к подводимому тепловому потоку  $Q$ . Значение перепада температуры  $\Delta t$  по длине тепловой трубы определялось как разность средних значений температуры корпуса в зонах испарения и конденсации в установившемся стационарном тепловом режиме. Погрешность определения термического сопротивления не превышала 3,8 %.

На рис.2 приведены экспериментально полученные зависимости термического сопротивления  $R$  шести экспериментальных образцов ТТ от подводимого теплового потока  $Q$  в условиях отвода теплоты естественной конвекции воздуха.

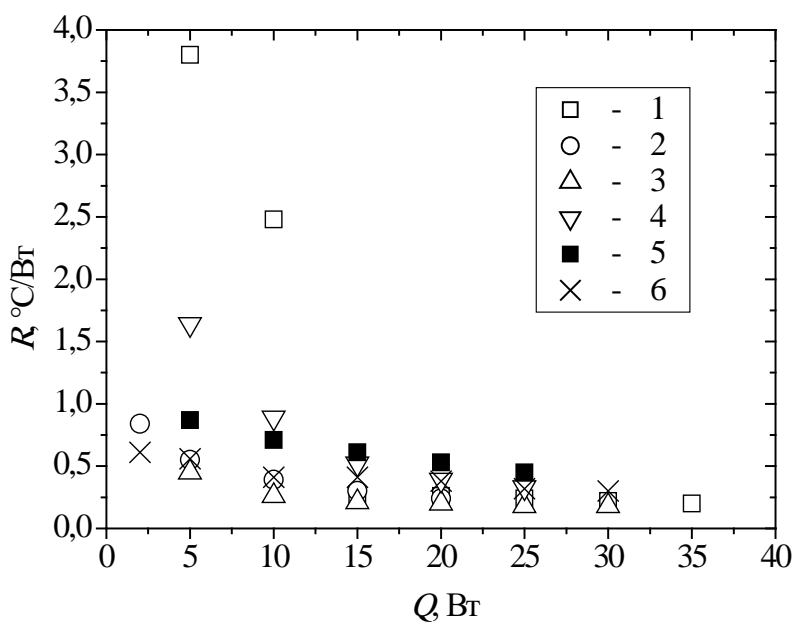


Рисунок 2 – Термічне опору медних ТТ: 1 – № 1 (етанол, різьба); 2 – № 3 (хладон 141b, різьба); 3 – № 5 (вода, МВКС); 4 – № 7 (хладон 113, гладка стінка); 5 – № 8 (ацетон, різьба); 6 – № 2 (етанол, МВКС)

Аналіз представлених графічних залежностей показує, що при малих значеннях теплового потоку, в діапазоні від 2 до 10 Вт включительно, теплообмін в зоні випарювання здійснюється в основному шляхом теплопровідності і конвекції теплоносія, що обумовлює найбільш високе значення термічного опору ТТ. Максимальне значення термічного опору спостерігалося у ТТ № 1 (етанол, різьба) при значенні підведеного теплового потоку 5 Вт, яке становило 3,74  $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . При подальшому підвищенні підведеного теплового потоку до 15 Вт відбувається перехід від випарильного режиму роботи до режиму кипіння теплоносія, при якому інтенсивність теплообміну суттєво підвищується. Це призводить до зниження термічного опору ТТ – до 0,47  $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Найменшими значеннями термічного опору в усьому досліджуваному діапазоні підведеного теплового потоку володіють ТТ з МВКС з теплоносителями вода (ТТ № 5) і етанол (ТТ № 2). Близькі до них значення термічного опору мала і ТТ № 3 з різьбовою КС, заповнена хладоном 141b. Незважаючи на більш низьке значення термічного опору медних ТТ з МВКС, їх суттєвим недоліком порівняно з ТТ з різьбовою КС є складність технологічного процесу виготовлення МВКС, що вимагає використання високотемпературного термічного обладнання при спеканні МВКС, вакуумної робочої середовища або захисної атмосфери.

Залежність значень термічного опору  $R$  алюмінієвих гравітаційних ТТ з різьбовою КС від підведеного теплового потоку  $Q$  наведено на рис. 3. З рисунка видно, що вплив виду теплоносія (хладон 141b і н-пентан) на термічне опору ТТ не суттєво. Так, з збільшенням підведеного теплового потоку від 5 до 25 Вт різниця в термічному опору ТТ № 9 (хладон 141b) і ТТ № 10 (н-пентан) зменшується і їх термічні опору практично порівнюються при теплово́му потоку, рівному 30 Вт.

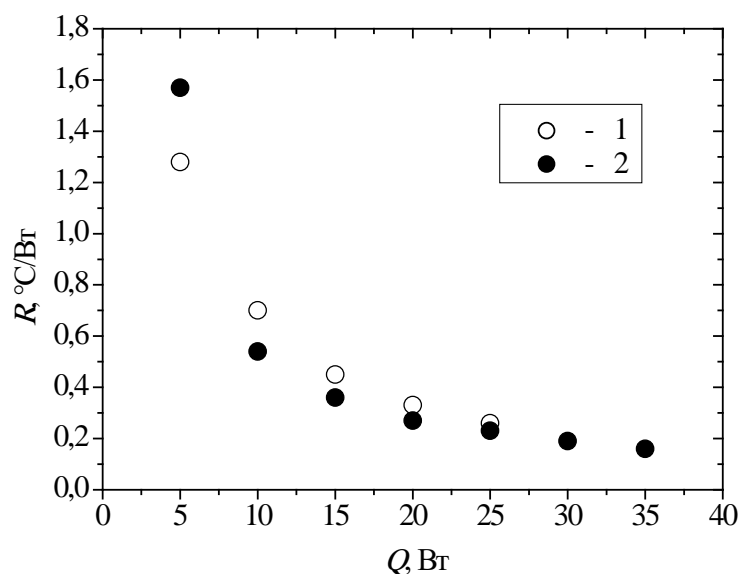


Рисунок 3 – Термическое сопротивление алюминиевых ТТ с резьбовой КС, заправленных хладоном 141b (1) и н-пентаном (2)

Влияние материала корпуса (медь М2 и алюминиевый сплав АД31Т) на термическое сопротивление ТТ показано на рис. 4. Как видно из рис. 4, материал корпуса ТТ не влияет на характер зависимости термического сопротивления от подводимого теплового потока. Однако, абсолютные значения термического сопротивления исследованных ТТ с резьбовой КС с одним и тем же теплоносителем (хладоном 141b) существенно отличаются между собой. Так, в диапазоне значений подводимого теплового потока от 5 до 25 Вт термическое сопротивление медной ТТ в 2,0-1,4 раза ниже, чем алюминиевой ТТ.

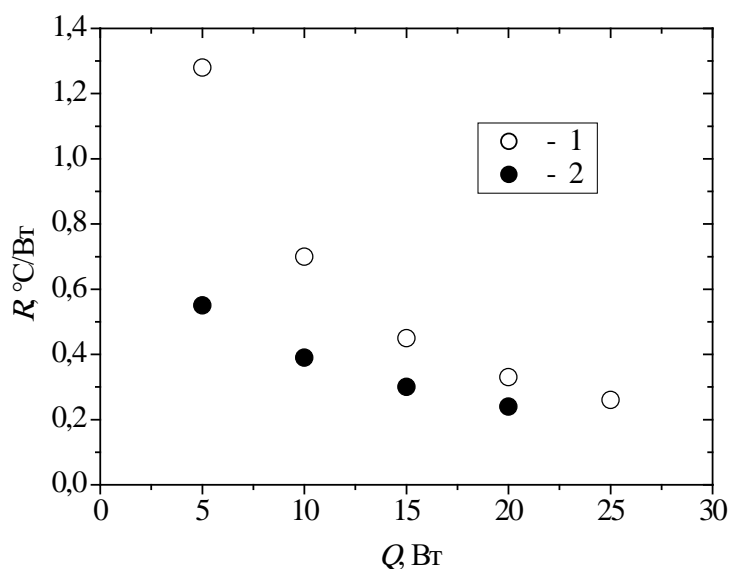


Рисунок 4 – Термическое сопротивление алюминиевой (1) и медной (2) ТТ с резьбовой КС, теплоноситель – хладон 141b

Об эффективности использования резьбовой капиллярной структуры на внутренней поверхности корпуса ТТ в зоне испарения можно судить по результатам сравнения экспериментально полученных зависимостей термического сопротивления ТТ с резьбовой КС № 3 и ТТ № 4 без КС (термосифона одинаковых размеров) с одним и тем же теплоносителем (хладоном 141b) от подводимого теплового потока  $Q$ , приведенных на рисунке 5. Из рисунка 5 видно, что в диапазоне значений подводимого теплового

потока от 5 до 20 Вт термическое сопротивление  $R$  ТТ с резьбовой КС в 4,5-2 раза меньше, чем у гладкостенного термосифона. Наибольший выигрыш в термическом сопротивлении наблюдается при меньших значениях теплового потока (5–10 Вт).

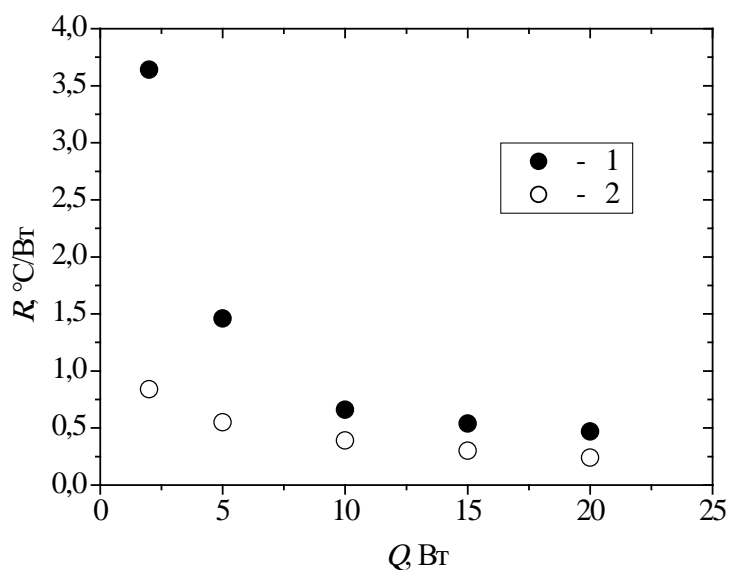


Рисунок 5 – Термическое сопротивление медной ТТ № 4 без КС (1) и медной ТТ № 3 с резьбовой КС (2), заправленных хладоном 141b, в зависимости от подводимого теплового потока

С использованием исследованных медных ТТ с резьбовой КС (теплоносители – этанол и хладон 141b) в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» был изготовлен действующим образец пятирожковой светодиодной л (см. рис.6). Экспериментальные исследования электрических и тепловых характеристик люстры показали, что температура основания светодиодных модулей в диапазоне потребляемой каждым СДМ мощности от 2,3 до 26, 7 Вт не превышала 56 °С при температуре окружающего воздуха 25±1 °С [6].



Рисунок 6 – Внешний вид светодиодной люстры с тепловыми трубами

#### Выводы и рекомендации

1. Одним из путей снижения потребления электрической энергии на освещение помещений энергоэффективных жилых зданий и объектов социально-культурного назначения является переход на светодиодное освещение с комбинированным электропитанием на основе использования солнечной энергии.

2. Выполнение каркаса светодиодной люстры из тепловых труб позволяет, по меньшей мере, вдвое

увеличить мощность объемных светодиодных модулей по сравнению со светодиодными лампами прямой замены без нарушения нормального теплового режима светодиодных источников света, и, соответственно, вдвое увеличить световой поток люстры и за счет этого – уменьшить необходимое количество источников света и осветительных приборов.

3. Для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодных люстр наиболее рациональными вариантами являются конструкции медных и алюминиевых ТТ с резьбовой капиллярной структурой, как более технологичные по сравнению с ТТ, имеющими металловолоконистую капиллярную структуру, и как более эффективные по термическому сопротивлению по сравнению с гладкостенными термосифонами. Рекомендуемыми теплоносителями для медных ТТ являются этанол и хладон 141b, для алюминиевых ТТ – н-пентан и хладон 141b.

5. Полученные графические зависимости термического сопротивления от подводимого теплового потока в исследованных диапазонах параметров можно использовать при тепловом конструировании светодиодных люстр с тепловыми трубами

Авторы выражают благодарность д.т.н. Кравцу В.Ю. за помощь в изготовлении ТТ.

#### **Список использованной литературы**

1. Бабаев В. М. Энергобережения в системах теплоснабжения та освітлення будівель / В. М. Бабаев, П. П. Говоров, В. П. Говоров, О. В. Король // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 169–173. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_33](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_33).

2. Долінський А. А. Концептуальні основи створення експериментального будинку типу “нуль енергії” / А. А. Долінський, Б. І. Басок, О. М. Недбайло, Т. Г. Беляєва, М. А. Хибина, М. В. Ткаченко, М. П. Новіцька // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 222–227. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_44](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_44).

3. Басок Б. І. Концептуальні основи створення експериментального будинку пасивного типу (загальною площею 300 кв. м) / Б. І. Басок, Г. Г. Фаренюк // Будівельні конструкції. – 2014. – Вип. 81. – С. 233–243. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2014\\_81\\_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2014_81_30).

4. Рабич Е. В. Проблемы энергоэффективного освещения в зданиях / Е. В. Рабич, Л. А. Чумак, Т. А. Ковтун-Горбачева // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 328–333. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_65](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_65).

5. Николаенко Ю.Е Патент України на корисну модель № 101963, МПК (2015.01) F21S 8/00, F21L 4/08 (2006.01). Світлодіодна люстра з комбінованим електроживленням // НТУУ “КПІ” / Ю.Є. Ніколаєнко, Ю.О. Хмельов, Д.А. Герасименко, Т.Ю. Ніколаєнко – Опубл. 12.10.2015. – Бюл. № 19. Заявка у 201503322 від 09.04.2015 р.

6. Николаенко Ю.Е. Экспериментальное исследование характеристик светодиодной люстры с тепловыми трубами с возможностью питания ее от возобновляемых источников энергии / Ю.Е. Николаенко, А.В. Баранок, 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. <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20610>

7. Николаенко Ю.Е. Решение тепловой проблемы мощных светодиодных светильников с помощью тепловых труб // Труды XIII международной научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии”, 4–8 июня 2012 г. – Одесса. – С. 203. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/17392>

8. Николаенко Ю.Е Патент України на корисну модель № 68831, МПК (2012.01) F21S 8/00, F21V 7/00. Люстра // Ю.Є. Ніколаєнко, Т.Ю. Ніколаєнко. – Опубл. 10.04.2012. – Бюл. № 7. Заявка у 2011 12026 від 13.10.2011 р.

9. Kate Smith, Samuel Siedel, Anthony J. Robinson, Roger Kempers. The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosyphon // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 101. – Pp. 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.024>

10. Kostornov AG, Moroz AL, Shapoval AA, Kabov O, Strizhak P, Legros JC. Composite structures with gradient of permeability to be used in heat pipes under microgravity // Acta Astronaut – 2015. – Vol. 115. – Pp. 52–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.04.022>

11. Николаенко Ю.Є. Патент України на корисну модель № 109840, МПК (2006.01) F28D 15/02. Гравітаційна тепла труба / НТУУ “КПІ” // Ю.Є. Ніколаєнко. – Опубл. 12.09.2016. – Бюл. № 17. Заявка у 201602421 від 14.03.2016 р. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19508>

12. 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/TKEA2017.4-5.24. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20956>



Yu. Nikolaenko, Dr. Sc. Sciences, Senior Researcher, ORCID 0000-0002-3036-5305  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
B. Basok, Cor. Mem. of the NAS of Ukraine, Dr. Sc. Sciences, Prof., ORCID 0000-0002-8935-4248  
Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine  
D. Kozak, PhD student  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### THERMAL RESISTANCE OF HEAT PIPES FOR LED LIGHTING FIXTURES OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

*The problem of energy saving is relevant both for Ukraine and for other countries of the world. From 19 to 22% of the electricity produced in the world is consumed by lighting, a significant part of which goes for interior lighting of houses and of social and cultural facilities. One of the ways to reduce the consumption of electrical energy used for illumination of the premises of energy-efficient residential buildings and social and cultural facilities is switching to a LED lighting with a combined power supply systems based on the use of solar energy. Introduction of powerful photovoltaic systems in individual houses and introduction of individual low-power photoelectric plants in multi-apartment buildings will significantly reduce consumption of electricity from the centralized electrical network in the housing sector, reduce the use of organic fuels for electricity generation and reduce the amount of harmful emissions into the atmosphere. The article suggests new schemes of energy-efficient LED lighting devices with heat pipes which can be used in energy-efficient buildings with a minimum consumption of electricity. The dependences of the thermal resistance of heat pipes on the power of the LED modules are studied experimentally. The influence of the material of heat pipes, the type of the capillary structure, and the type of heat carriers on the thermal resistance of heat pipes was investigated. It is shown that, the designs of copper and aluminum heat pipes with a threaded capillary structure, which are more technological as compared to the heat pipes having other types of capillary structures, comprise the most rational choice for the heat-transfer elements of the frame of light-emitting diode lighting fixtures. Ethanol and chladone 141b are recommended as heat carriers for copper heat pipes while n-pentane and chladone 141b are recommended for aluminum heat pipes.*

**Keywords:** heat pipe, thermal resistance, LED lighting, energy-efficient building

#### References

1. Babaev V.M., Govorov P.P., Govorov V.P., Korol O.V. [Energy saving in the systems of heat supply and lighting of buildings] // *Budivelnye konstrukcii*. – 2013. – Iss. 77. – Pp. 169–173 [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_33](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_33)
2. Dolinsky A.A., Basok B.I., Nedbaylo O.N., Belyaeva T.G., Khibina M.A., Tkachenko M.V., Novitskaya M.P. [Conceptual foundations for the creation of an experimental building of the "zero energy" type] // *Budivelnye konstrukcii*. – 2013. – Iss. 77. – Pp. 222–227 (in Ukrainian) [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_44](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_44)
3. Basok B. I., Fahrenyuk G. G. [Conceptual foundations for the creation of an experimental passive type building (with a surface area of 300 sq. m)] // *Budivelnye konstrukcii*. – 2014. – Iss. 81. – Pp. 233–243 (in Ukrainian) [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2014\\_81\\_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2014_81_30)
4. Rabich E.V., Chumak L.A., Kovtun-Gorbacheva T.A. [Problems of energy-efficient lighting in buildings] // *Budivelnye konstrukcii*. – 2013. – Iss. 77. – Pp. 328–333 (in Russian) [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_65](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_65)
5. Pat. 101963 Ukraine. [LED lamps with a combined power supply]. Nikolaenko Yu.Ye., Khmelev Yu.O., Gerasimenko D.A., Nikolaienko T.Yu. – 2015. – Bull. No.19 (in Ukrainian).
6. Nikolaenko Yu.E., Baranyuk A.V., Nikolaienko T.Yu. [Experimental study of the characteristics of LED chandelier with thermal pipes with the possibility of feeding it from renewable energy sources] // *Proceedings of International Conference "Fundamental and Applied Problems of Physics"*. Section III: Renewable Energy and Heliummatology, Applied Aspects, 13-14 June 2017, Tashkent, Uzbekistan, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, NPO "Physics-Sun" Physical-Technical Institute. – Pp. 149-154 (in Russian) <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20610>
7. Nikolaenko Yu.E. [Solution of the heat problem of high power LED lamps with heat pipes] // *Proc. of 13 th ISPC "Modern Information and Electronic Technologies" ("MIET-2012")*, Odessa, Ukraine, 4-8 June 2012, Pp. 203 (in Russian). <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/17392>
8. Pat. 68831 Ukraine. [Chandelier] // Nikolaenko Yu.E., Nikolaienko T.Yu. – 2012. – Bull. No 7 (in Ukrainian).
9. Kate Smith, Samuel Siedel, Anthony J. Robinson, Roger Kempers. The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosyphon // *Applied Thermal Engineering*. – 2016. – Vol. 101. – Pp. 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.024>

10. Kostornov AG, Moroz AL, Shapoval AA, Kabov O, Strizhak P, Legros JC. Composite structures with gradient of permeability to be used in heat pipes under microgravity // Acta Astronaut – 2015. – Vol. 115. – Pp. 52–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.04.022>

11. Pat. 109840 Ukraine. [Gravity heat pipe]. Nikolaenko Yu. E. – 2016. – Bull. No 17 (in Ukrainian). <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19508>

12. Nikolaenko Yu.E., Kozak D.V. [Thermal resistance of an aluminum gravity heat pipe with threaded capillary structure] // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. – 2017. – No. 4-5. – Pp. 24-31 (in Russian). DOI: 10.15222 / TKEA2017.4-5.24. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20956>

**УДК 536.24**

**Ю.Є. Ніколаєнко**, д-р техн. наук, ст. наук. співр., **ORCID 0000-0002-3036-5305**  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**Б.І. Басок**, член-кореспондент НАН України, д-р техн. наук, проф. **ORCID 0000-0002-8935-4248**  
**Інститут технічної теплофізики НАН України**  
**Д.В. Козак**, аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**ТЕРМІЧНИЙ ОПІР ТЕПЛОВИХ ТРУБ ДЛЯ**  
**СВІТЛОДІОДНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ**

*Проблема енергозбереження є актуальною як для України, так і для інших країн світу. Від 19 до 22% виробленої в світі електроенергії витрачається на освітлення, значна частина якої йде на внутрішнє освітлення приміщень житлового фонду та об'єктів соціально-культурного призначення. У статті запропоновані нові схеми енергоефективних світлодіодних освітлювальних приладів з тепловими трубами для використання їх в енергоефективних будівлях з мінімальним споживанням електроенергії. Експериментально досліджено залежності термічного опору теплових труб від потужності світлодіодних модулів. Досліджено вплив матеріалу теплових труб, типу капілярної структури і виду теплоносія на термічний опір теплових труб. Показано, що для використання в якості теплопередавальних елементів каркасу світлодіодних освітлювальних приладів найбільш раціональними варіантами є конструкції мідних і алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою, як більш технологічні в порівнянні з тепловими трубами, що мають інші типи капілярних структур. Рекомендованими теплоносіями для мідних теплових труб є етанол і хладон 141b, для алюмінієвих теплових труб – n-пентан і хладон 141b.*

**Ключові слова:** теплова труба, термічний опір, світлодіодний освітлювальний прилад, енергоефективна будівля.

Надійшла 22.11.2017  
Received 22.11.2017