Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. 2023. С \_ \_ - \_ \_.

Energy and resource saving XXI century. 2023. P. \_ \_ - \_ \_.

[Энергосберегающие электротехнологические процессы и установки в машиностроении, металлургии и др. отраслях экономики](http://www.myconfs.ru/energosber2023/sections/view/313)

**Обоснование внедрения иммерсионного охлаждения для светодиодной аппаратуры**

Научная статья

УДК 004.353.254.5

**Гладков Олег Борисович**1

1ФГБОУ ВО Орловский ГАУ Орёл, Россия,

[1gladkoff.oleg2010@yandex.ru](mailto:1gladkoff.oleg2010@yandex.ru), [https://orcid.org/0000-0002-5033-0185](https://orcid.org/0000-0003-0221-1963)

Автор, ответственный за переписку: Гладков Олег Борисович, [gladkoff.oleg2010@yandex.ru](mailto:gladkoff.oleg2010@yandex.ru)

***Аннотация.*** В статье рассматривается одна из актуальных проблем эксплуатации светодиодной аппаратуры, касающаяся продления срока службы светодиодных источников света. Практическая целесообразность внедрения инновационной технологии иммерсионного охлаждения в работу светодиодных осветительных приборов обусловлена необходимостью автоматической регуляции оптимального температурного режима, установленных в них светодиодных источников света. Кроме того, обоснованием внедрения, является и необходимость снижения эксплуатационных затрат, а также капитальных вложений, характеризующих эффективность работы светодиодной осветительной сети. В качестве действующего агента, необходимого для реализации перечисленных задач выступает фторкетон, данное вещество обладает необходимыми электротехническими характеристиками и уникальными химическими свойствами, обуславливающими его массовое использование при производстве светодиодных осветительных приборов как промышленного, так и бытового назначения.

***Ключевые слова:*** двухфазное жидкостное иммерсионное охлаждение, фторкетон, светодиодная аппаратура, срок службы, температурный режим, эффективный теплоотвод.

***Для цитирования:*** Гладков О.Б. Обоснование внедрения иммерсионного охлаждения для светодиодной аппаратуры // Энерго-и ресурсосбережение – XXI век. 2023. С. \_ \_ - \_ \_.

Energy-saving electrotechnological processes and installations in mechanical engineering, metallurgy and other sectors of the economy

**Justification of the introduction of immersion cooling for LED equipment**

Gladkov Oleg Borisovich1

1FGBOU VO Orlovsky GAU Orel, Russia,

1gladkoff.oleg2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5033-0185

The author responsible for the correspondence: Gladkov Oleg Borisovich, gladkoff.oleg2010@yandex.ru

***Annotation.*** The article discusses one of the current problems in the operation of LED equipment, which concerns extending the service life of LED light sources. The practical feasibility of introducing innovative immersion cooling technology into the operation of LED lighting devices is due to the need for automatic regulation of the optimal temperature regime of the LED light sources installed in them. In addition, the justification for implementation is the need to reduce operating costs, as well as capital investments that characterize the efficiency of the LED lighting network. Fluoroketone is the active agent necessary for the implementation of these tasks; this substance has the necessary electrical characteristics and unique chemical properties, which determine its widespread use in the production of LED lighting devices for both industrial and household purposes.

***Keywords:*** two-phase liquid immersion cooling, fluoroketone, LED equipment, service life, temperature conditions, effective heat removal.

***For citation:*** Gladkov O.B. Justification of the introduction of immersion cooling for LED equipment // Energy and resource saving – XXI century. 2023. p. \_ \_ - \_ \_.

**Введение.** В настоящее время технология иммерсионного охлаждения приобретает

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

© Гладков О.Б. 2023

всеобщее внедрение в охлаждение светодиодной аппаратуры, серверов, компьютеров и устройств хранения данных. Разработки на эту тему велись давно, и сейчас ее востребованность неуклонно растет.

На кафедре «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ к данному направлению также проявлен особый интерес. В рамках выполнения поисковых научно-исследовательских работ, автором данной публикации, на сегодняшний день получены результаты, объективно подтверждающие целесообразность использования технологии иммерсионного охлаждения для обеспечения оптимального температурного режима светодиодных источников света.

**Основная часть.** Иммерсионное охлаждение оборудования отличается своей работоспособностью, а один из главных их плюсов – высокая эффективность охлаждения. В зависимости от характеристик оборудования, могут использоваться различные жидкости и хладагенты, которые являются диэлектриками и не проводят электрический ток.

В качестве хладагента предполагается использование Novec® 1230, или фторкетон. Рассмотрим подробнее. Фторкетоны – это синтетические органические вещества, в молекуле которых все атомы водорода заменены на прочно связанные с углеродным скелетом атомы фтора, что в свою очередь делает вещество инертным с точки зрения взаимодействия с другими молекулами. Novec 1230 (ФК-5-1-12) (флуорокетон С-6) представляет собой бесцветную прозрачную жидкость со слабовыраженным запахом, которая тяжелее воды в 1,6 раз и не проводит электричество. Также является огнетушащим веществом. Его диэлектрическая проницаемость – 2,3 (за единицу в качестве эталона принят осушенный азот) [1].

Одно из главных достоинств ФК-5-1-12, которое продолжают использовать производители систем пожаротушения – это его практически нулевая токсичность. При этом Novec® 1230 и его преемники под брендами с приставкой \*1230 по-прежнему противопоставляются как другим видам хладонов (хладон 125, хладон 227 еа), так и ФК-5-1-12 других производителей. Фторкетон имеет более высокий порог безопасности для человека по сравнению с хладонами 125 и 227 еа. Уровень, не вызывающий воздействий (NOEL), составляет 10% при огнетушащей концентрации почти в 2 раза меньше. То есть условно человек сможет спокойно дышать в помещении, где произошло срабатывание системы пожаротушения на основе фторкетона и максимум, что ему грозит, это раздражение слизистой глаз. Этот показатель безопасности применим только к случаям ложных сработок системы. При пожаре главную опасность для человека представляют продукты горения. Даже самый «безопасный» газ при контакте с очагом разлагается на опасные ядовитые вещества. Согласно протоколу испытаний ФК-5-1-12 во ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора при проведении испытания на тестовом очаге возгорания «установлено, что время безопасной эвакуации не должно превышать 8 минут и будет зависеть от материалов отделки данного помещения».

Для эффективного тушения необходимо перевести фторкетон из жидкого состояния в газообразное. ФК-5-1-12 является ГОТВ комбинированного действия. Подавление пожара осуществляется за счет эффекта охлаждения (70%) и только потом за счет химической реакции ингибирования. В идеале система распыления фторкетона должна создавать облако тонкодисперсной смеси. При таком условии в районе очага возгорания ФК-5-1-12 будет резко переходить в газовую фазу, активно поглощать тепловую энергию огня и даст необходимый охлаждающий эффект, затем сработает как ингибитор, прекратив реакцию горения [2].

Особую необходимость приобретает охлаждение светодиодной аппаратуры. Срок службы светодиода зависит от используемого полупроводникового материала, а также отношения тока светодиода к количеству выделяемого тепла. Вследствие постепенной эксплуатации световая отдача постепенно снижается.

При достижении 50% от начального значения, заявленный срок службы светодиода истекает. Срок службы светодиодов может варьироваться от нескольких десятков тысяч до 100 000 часов. Но, при изменении температурного режима, происходит сокращение срока службы светодиодной аппаратуры [3].

Управление температурным режимом является необходимым условием для светодиодных светильников, поскольку высокая температура отрицательно влияет на их производительность. Основная цель – это создание эффективного теплового тракта между светодиодами и теплоотводом при максимизации конвективной теплопередачи теплоотвода.

Перегрев материалов (пластиковые и пластмассовые детали), широко используемых в светотехнической аппаратуре может возникнуть вследствие ослабления контактного соединения источников света в цоколе лампы, патроне, ослабления контактного соединения проводов; окисления контактируемых поверхностей в местах подключения питающих проводов [4].

Повышение температуры вызывает сбои в системах светодиодного освещения. Исторически управление температурой не было конструктивным фактором для ламп накаливания, флуоресцентных или металлогалогенных ламп. Отработанная энергия, образующаяся в этих лампах, рассеивается в виде инфракрасной энергии в луче света и в виде тепла, что не требует дополнительного управления [5].

Светодиоды не излучают тепловую ИК-энергию в своем световом спектре, но вся избыточная энергия, полученная в результате электрооптического преобразования и преобразования длины волны, преобразуется в нерадиационную тепловую энергию, которая остается в полупроводниковых диодах. В связи с этим предполагается использование фторкетона для охлаждения светодиодной аппаратуры.

Фторкетон вводится в герметичный корпус светодиода, с целью регулирования температурного режима. Экспериментальные замеры температур проводились при помощи разработанного лабораторно-испытательного стенда, выполненного на микропроцессорной базе для трех вариантов корпусов светодиодных светильников – из пластика и из алюминия, внутри которых осуществлялось естественное воздушное охлаждение, а также для герметичного алюминиевого корпуса светильника, внутри которого осуществлялось жидкостное двухфазное иммерсионное охлаждение светодиодов [6]. Замеры температуры для каждого варианта корпуса и способа охлаждения производились при различных температурах окружающей среды – +20°С, +30°С, +40°С и +45°С.

Согласно экспериментальным замерам температур следует, что при максимальной температуре воздуха +45°С, температура кристалла светодиода, находящегося в герметичном стальном корпусе при иммерсионной двухфазной системе жидкостного охлаждения не превышает +50°С, при этом температура кристалла светодиода, находящегося в поликарбонатном корпусе с естественной системой воздушного охлаждения, достигает отметки +60°С [7].

Согласно справочных данных, срок службы светодиода при иммерсионной системе двухфазного жидкостного охлаждения при температуре окружающей среды +45°С составляет более 110 тысяч часов при снижении светового потока на 50% или 55000 часов при 100% световом потоке, заявленным производителем, а для светодиода при естественной воздушной системе охлаждения, находящимся в поликарбонатном корпусе, срок службы светодиода составляет 70 тысяч часов, при снижении светового потока на 50% или 35000 часов при 100% световом потоке, заявленным производителем.

Кроме того, фторкетон, переходя из жидкого состояния в газообразное, обеспечивает более равномерное распределение яркости свечения внутри рассеивателя герметичного светодиодного светильника, что в значительной степени снижает слепящий эффект и обеспечивает более качественный уровень освещенности рабочих поверхностей.

**Заключение.** Таким образом, срок службы светодиодов с двухфазным жидкостным иммерсионным охлаждением, находящимся в герметичном металлическом корпусе более чем на 60 % выше срока службы светодиодов с естественным воздушным охлаждением, размещенных в поликарбонатном корпусе.

В целом, окупаемость инвестиций в иммерсионное охлаждение составляет около 5-6 месяцев. После окупаемости доход относительно воздушного охлаждения увеличивается на 30 - 50%. Экономия электрической энергии на охлаждении составляет до 30%.

Предлагаемое инженерно-техническое решение об использовании фторкетона для повышения эффективности функционирования светодиодных источников света, может быть весьма полезным для проектировщиков и производителей светодиодных светильников, т.к. данное креативная идея обеспечит повышенное внимание к данной светотехнической продукции, а учитывая ее повышенную надежность, гарантирует стопроцентное конкурентное преимущество.

**Список источников**

1. Сухая вода Novec® 1230 для защиты серверных и не только [Электронный ресурс] <https://habr.com/ru/companies/3mrussia/articles/200840/> (дата обращения 13.11.2023).
2. Фторкетон (ФК-5-1-12): маркетинговые мифы и реальность [Электронный ресурс] <https://zarya.one/blog/ftorketon-fk-5-1-12-marketingovye-mify-i-realnost/> (дата обращения 13.11.2023).
3. Лотар Н., Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов [Электронный ресурс] // Полупроводниковая светотехника. № 3. 2010. – С. 13. URL: <https://led-e.ru/led-cooling/ohlazhdenie-i-regulirovanie-temperaturnyh-rezhimov-svetodiodov/>.
4. Чернышов В.А., Гладков О.Б., Обеспечение пожаробезопасности светотехнической аппаратуры жилых и общественных помещений // Актуальные вопросы энергетики в АПК. Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ответственный редактор О. А. Пустовая, редактор Е. С. Дубкова. Благовещенск, 2019. - С. 9-11.
5. Технологии терморегулирования для систем светодиодного освещения [Электронный ресурс] <https://m-focus.ru/termoregulirovanie-svetodiodnyh-svetilnikov> (дата обращения 13.11.2023).
6. Чернышов В.А., Гладков О.Б. Обеспечение эффективного теплоотвода в конструкциях светодиодной осветительной аппаратуры // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Материалы XVII международной научно-практической конференции. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. –С. 78-84.
7. Чернышов В.А., Гладков О.Б. Оценка эффективности теплоотвода проектируемой светодиодной осветительной аппаратуры с использованием микропроцессорной базы // Цифровая трансформация в энергетике. Материалы Всероссийской научной конференции (17\*18 декабря 2019 года, г. Тамбов). – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. - С. 130-134.

**References**

1. Novec ® 1230 dry water for server protection and not only [Electronic resource] https://habr.com/ru/companies/3mrussia/articles/200840 / (accessed 13.11.2023).
2. Fluorocetone (FC-5-1-12): marketing myths and reality [Electronic resource] https://zarya.one/blog/ftorketon-fk-5-1-12-marketingovye-mify-i-realnost / (accessed 13.11.2023).
3. 2. Lotar N., Cooling and regulation of temperature modes of LEDs [Electronic resource] // Semiconductor lighting engineering. No. 3. 2010. – P. 13. URL: https://led-e.ru/led-cooling/ohlazhdenie-i-regulirovanie-temperaturnyh-rezhimov-svetodiodov/.
4. 3. Chernyshov V.A., Gladkov O.B., Ensuring fire safety of lighting equipment of residential and public premises // Actual issues of energy in the agro-industrial complex. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Responsible editor O. A. Pustovaya, editor E. S. Dubkova. Blagoveshchensk, 2019. - pp. 9-11.
5. 4. Thermoregulation technologies for LED lighting systems [Electronic resource] https://m-focus.ru/termoregulirovanie-svetodiodnyh-svetilnikov (accessed 13.11.2023).
6. 5. Chernyshov V.A., Gladkov O.B. Ensuring effective heat removal in LED lighting equipment designs // Energy and resource saving - XXI century. Materials of the XVII International Scientific and practical conference. – The Eagle: OSU named after I.S. Turgenev, 2019. –pp. 78-84.
7. 6. Chernyshov V.A., Gladkov O.B. Evaluation of the efficiency of the heat sink of the projected LED lighting equipment using a microprocessor base // Digital transformation in power engineering. Materials of the All-Russian Scientific Conference (December 17\*18, 2019, Tambov). – Tambov: Publishing Center of FGBOU VO "TSTU", 2020. - pp. 130-134.

**Информация об авторах**

О.Б. Гладков – старший преподаватель.

**Information about the authors**

O.B. Gladkov is a senior lecturer.

Статья поступила в редакцию 06.10.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 14.10.2022.

The article was submitted 06.10.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 14.10.2022.