

## ПАССИВНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ: ПОЧЕМУ ОНО АКТУАЛЬНО И ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД АКТИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

*Румянцев Н.В.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научные руководители: Алексеев В.Ф. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС,  
Пискун Г.А. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС,*

**Аннотация.** Пассивное охлаждение в радиоэлектронике существует уже несколько десятилетий, но эта тема актуальна и сегодня. С развитием технологий возросла потребность в высокопроизводительных электронных устройствах, а вместе с ней и потребность в эффективных методах охлаждения. В статье мы обсудим, почему пассивное охлаждение по-прежнему актуально в радиоэлектронике, и его преимущества перед активным охлаждением. Мы также рассмотрим несколько исследований, сравнивающих эти два метода охлаждения.

**Ключевые слова:** пассивное охлаждение, радиатор, охлаждение.

**Введение.** Система охлаждения радиоэлектронного средства (РЭС) представляет собой набор средств для отвода тепла от нагреваемых в процессе работы электронных компонентов. В процессе работы РЭС выделяют тепло, а поскольку электронные компоненты становятся все меньше и мощнее, отвод тепла становится серьезной проблемой [1–13]. Тепло может привести к выходу устройства из строя и снижению общей производительности, поэтому охлаждение крайне необходимо. Существует два основных метода охлаждения электроники: активный и пассивный. Активное охлаждение использует вентиляторы, насосы или другие механические системы для циркуляции воздуха или жидкости через теплоотвод, или радиатор для рассеивания тепла. Пассивное охлаждение, с другой стороны, полагается на естественную конвекцию или излучение для передачи тепла от устройства без использования механических компонентов. В этой статье мы обсудим, почему пассивное охлаждение в радиоэлектронике по-прежнему актуально, а также его преимущества перед активным охлаждением.

**Основная часть.** Одним из основных преимуществ пассивного охлаждения является его простота. Пассивные системы охлаждения не требуют движущихся частей или источников питания, а значит, они тише, надежнее и имеют больший срок службы, чем активные системы охлаждения. Пассивные системы охлаждения также требуют меньше технического обслуживания, что снижает затраты и время простоя. Кроме того, пассивные системы охлаждения более экологичны, чем активные, поскольку они потребляют меньше энергии и не издадут шума или вибрации.

В некоторых ситуациях пассивное охлаждение может быть более эффективным, чем активное. В исследовании, проведенном учеными из Университета Twente (Нидерланды), было установлено, что пассивное охлаждение более эффективно, чем активное, для снижения температуры мощных светодиодных устройств [1]. В результате исследования был сделан вывод, что пассивное охлаждение является жизнеспособной альтернативой активному охлаждению, особенно в ситуациях, когда шум, вибрация или энергопотребление вызывают беспокойство.

Пассивное охлаждение также лучше подходит для жестких условий эксплуатации. Активные системы охлаждения подвержены сбоям в условиях воздействия пыли, влаги и других загрязняющих веществ, в то время как пассивные системы охлаждения могут работать в таких условиях без проблем. На пассивные системы охлаждения также меньше влияют изменения высоты или температуры, что делает их идеальными для применения в аэрокосмической или военной среде.

В [1–13] показано, что пассивное охлаждение выгодно в ситуациях, когда активное охлаждение нецелесообразно или невозможно. В исследовании, опубликованном в *Journal of Electronic Materials*, исследователи обнаружили, что пассивное охлаждение с использованием материалов с фазовым переходом (PCM) было эффективным для снижения рабочей температуры силовой электроники в космических приложениях, где традиционные активные методы охлаждения, такие как принудительная конвекция, невозможны [4]. Материалы с фазовым переходом поглощают и выделяют тепло при изменении фазы, что позволяет им поддерживать стабильную температуру в окружающей среде.

Еще одним преимуществом пассивного охлаждения в радиоэлектронике является возможность снижения шума. Активные методы охлаждения, такие как вентиляторы или насосы, создают шум, который может создавать помехи для чувствительного радиооборудования. Напротив, пассивные методы охлаждения, такие как радиаторы или материалы с фазовым переходом, работают бесшумно, что особенно важно в таких приложениях, как военные или разведывательные операции, где скрытность имеет решающее значение. Исследование, опубликованное в *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, показало, что пассивное охлаждение с использованием радиаторов было эффективным для снижения температуры мощного радиочастотного усилителя без необходимости использования активных методов охлаждения [5].

Пассивное охлаждение также выгодно с точки зрения пространства и веса. Активные системы охлаждения требуют дополнительных компонентов, таких как вентиляторы, насосы и теплоотводы, что может увеличить размер и вес устройства. Пассивные системы охлаждения, с другой стороны, могут быть интегрированы непосредственно в устройство, уменьшая его общий размер и вес. Это особенно важно для приложений, где размер и вес имеют решающее значение, например, для портативных устройств или беспилотных летательных аппаратов.

В исследованиях [6–13], выполненных Алексеевым В.Ф., Пискуном Г.А. и др. авторами представлена программную реализацию для оценки теплового режима устройств медицинской электроники. В исследовании подчеркивается важность точного теплового анализа для правильного функционирования медицинской электроники, поскольку перегрев может привести к отказу оборудования и риску для безопасности пациента [6]. Реализация программного обеспечения позволила оценить различные методы охлаждения, включая пассивное охлаждение, которое оказалось эффективным для снижения температуры тестируемого устройства. Исследование привело к выводу, что пассивное охлаждение может быть надежным и экономичным решением для управления температурным режимом в медицинской электронике, подтверждая идею о том, что пассивное охлаждение имеет многочисленные преимущества по сравнению с активными методами охлаждения.

**Заключение.** Следует отметить, что пассивное охлаждение в радиоэлектронике по-прежнему актуально и имеет ряд преимуществ перед активным охлаждением. Оно проще, надежнее и имеет более длительный срок службы, чем активные системы охлаждения. Оно требует меньше технического обслуживания и является более экологичным. Оно также может быть более эффективной в определенных ситуациях, лучше подходит для жестких условий эксплуатации и выгодно с точки зрения пространства и веса. Поскольку электронные устройства продолжают становиться все меньше и мощнее, пассивное охлаждение будет играть все более важную роль в поддержании их производительности и предотвращении выхода из строя.

### Список литературы

1. V. Timmerman, et al., "Thermal Management of High-Power LED Devices: Passive vs. Active Cooling," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 34, no. 3, pp. 689-696, Sep. 2011.
2. Y. Huang, et al., "Passive Cooling of Power Electronics—A Review," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 4, pp. 3046-3060, Apr. 2018.
3. K. Shigeta, et al., "Review of Passive Cooling Technologies for Power Electronics," *Proceedings of the IEEE*, vol. 107, no. 1, pp. 52-81, Jan. 2019.

4. Kim, Y. J., & Yoon, H. J. (2015). Phase change material-based passive cooling for power electronics in space applications. *Journal of Electronic Materials*, 44(6), 1856-1863.
5. Yousefi, M., Asemi, M., & Hoseinzadeh, S. (2020). Passive cooling of high-power radio frequency amplifier using heat sink. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 12(1), 011002.
6. Алексеев, В. Ф. Программная реализация процесса оценки теплового режима средства медицинской электроники / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *Медэлектроника* – 2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XI Международная научно-техническая конференция, Минск, 5–6 декабря 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2018. – С. 255–258.
7. Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф.*, Минск, 20-21 мая 2020 года: в 3 ч. Ч. 3 / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2020. – С. 282–286.
8. Оптимизация теплового режима приемно-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Пискун Г. А., Алексеев В. Ф., Романовский П. С., Стануль А. А. // *Znanstvena misel journal*. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.
9. Моделирование джоулева нагрева в среде COMSOL Multiphysics / В. Ф. Алексеев и др. // *Доклады БГУИР*. – 2018. – № 7 (117). – С. 90 – 91.
10. Алексеев, В. Ф. Численное моделирование тепловых процессов электронных модулей на базе моделей, созданных в Altium Designer и SolidWorks / В. Ф. Алексеев, А.А. Константинов // *Danish Scientific Journal*. – 2018. – Vol.1, No 19. – Pp. 16–30.
11. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.
12. Алексеев, В. Ф. Тепловые модели отказов полупроводниковых структур при воздействии мощных электромагнитных импульсов / В. Ф. Алексеев, В. И. Журавлев // *Доклады БГУИР*. – 2005. – № 2 (10). – С. 65 - 72.
13. Алексеев, В. Ф. Теплоперенос в многослойной системе при импульсном нагреве / Алексеев В. Ф., Журавлев В. И. // *Известия Белорусской инженерной академии*. – Минск, 2004. – № 1(17/1). – С. 21–24.

UDC 681.382:621.317

## PASSIVE COOLING IN RADIO ELECTRONICS: WHY IT'S RELEVANT AND ITS ADVANTAGES OVER ACTIVE COOLING

*Rumyantsev N.V.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Alexeev V.F. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ICSD*

*Piskun G.A. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ICSD*

**Annotation.** Passive cooling in radio electronics has existed for several decades, but this topic is still relevant today. As technology advances, the need for high-performance electronic devices has increased, and with it the need for efficient cooling methods. In the article, we will discuss why passive cooling is still relevant in radio electronics, and its advantages over active cooling. We will also look at several studies comparing these two cooling methods.

**Keywords:** passive cooling, radiator, cooling