

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО САБВУФЕРА В ПЕРФОРИРОВАННОМ И ГЕРМЕТИЧНОМ КОРПУСАХ

*Петкевич Д.В., Насанович М.В.*

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

*Научный руководитель: Алексеев В.Ф. –к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС*

**Аннотация.** Экспериментально исследованы тепловые режимы в перфорированном и герметичном корпусах. Установлено, что в перфорированном корпусе охлаждение компонентов осуществляется лучше, чем в герметичном.

**Ключевые слова:** тепловой режим, герметичный корпус, перфорированный корпус

**Введение.** Акустические системы, в частности сабвуферы, играют ключевую роль в создании качественного звукового оформления в различных аудиовизуальных системах. Одним из важных аспектов, влияющих на их производительность, является тепловой режим, который определяет надежность и долговечность работы устройства. При работе сабвуфера, особенно на низких частотах, происходит значительное выделение тепла, что может привести к перегреву и, как следствие, к ухудшению акустических характеристик или даже повреждению компонентов.

Авторами в статье рассматриваются тепловые режимы низкочастотного сабвуфера на базе операционного усилителя *TL074*, помещенного как в перфорированные, так и в герметичные корпуса. Эти два типа конструкций имеют различные акустические и термические характеристики, что непосредственно сказывается на эффективности работы сабвуфера. Исследование направлено на анализ влияния различных конструктивных решений на тепловые процессы, происходящие в сабвуфере, а также на определение оптимальных условий эксплуатации для достижения максимальной производительности [1–3].

**Основная часть.** Низкочастотные сабвуферы играют ключевую роль в формировании звукового ландшафта, особенно в аудиосистемах, требующих воспроизведения глубоких басов. Одним из основных факторов, влияющих на качество работы сабвуфера, является его тепловой режим. Авторами исследуются тепловые характеристики сабвуфера на основе операционного усилителя *TL074*, сопоставляя его работу в двух различных типах корпусов: перфорированном и герметичном.

Тепловые режимы сабвуфера определяются несколькими ключевыми параметрами, включая мощность, выделяемую в процессе работы, эффективность теплоотвода и конструктивные особенности корпуса. Операционный усилитель *TL074*, характеризующийся высоким качеством звука и низким уровнем искажений, может выделять значительное количество тепла при больших нагрузках. Поэтому важно правильно организовать теплообмен в конструкции сабвуфера.

Для моделирования в *ELCUT* тепловых режимов низкочастотного сабвуфера на основе *TL074* в перфорированном и герметичном корпусах, необходимо подготовить исходные данные, которые могут включать в себя следующие параметры:

*Общие характеристики сабвуфера:*

- модель: низкочастотный сабвуфер;
- тип усилителя: *TL074* (операционный усилитель);
- номинальная мощность: 1 Вт;
- частотный диапазон: ниже 240 Гц.

*Корпус:*

- тип корпуса: Перфорированный и герметичный;
- объем корпуса: 0,15 литра;
- материал корпуса: дюралюминий;
- толщина стенки: 20 мм;
- площадь перфорации (для перфорированного корпуса): 3 см<sup>2</sup>.

*Технические параметры динамика:*

- импеданс: 8 Ом;
- чувствительность: 85 дБ;
- максимальное звуковое давление: 105 дБ;
- частота резонанса: 40 Гц.

*Тепловые параметры:*

- коэффициент теплопроводности материала корпуса: 140 Вт/(м·К);
- теплоемкость материала корпуса: 900 Дж/(кг·К);
- температура окружающей среды: 40 °С;
- максимальная допустимая температура динамика: 100 °С.

*Рабочие условия:*

- временной режим работы: непрерывный;
- уровень воспроизводимого сигнала: 10 В.

Для моделирования в *ELCUT* в качестве исходных данных были выбраны следующие параметры: давление в корпусе нормальное и составляет  $P=101500$  Па. Согласно ГОСТ 15150-69 выбрана категория исполнения УХЛ 4.2. В таблице, учитывая исполнение изделия, показаны значения температуры воздуха.

Таблица 1 – Значение температуры воздуха при эксплуатации

Значение температуры воздуха при эксплуатации, С°:			
Рабочее:		Предельно рабочее:	
Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее
+35	+10	+40	+1

Материала платы – *FR-4*. Геометрические размеры ПП – 100\*50\*1,5 Из основных компонентов платы можно выделить: резисторы, конденсаторы, операционный усилитель *TL074*. Для моделирования объединим их в группы (на рисунках выделены прямоугольниками).

Выбор корпуса для расчета теплового режима обусловлено несколькими факторами: место применения устройства; климатические факторы;

Тепловой анализ был проведен путем компьютерного моделирования в программе *ELCUT*. В процессе моделирования были рассмотрены только наиболее нагревающиеся элементы.

Моделирование теплового режима в перфорированном корпусе представлено на рисунке 1.

Тепловой режим герметичного корпуса представляет собой сложный процесс, включающий внутренний и внешний теплообмен. Он зависит от различных факторов, такие как мощность элементов, температура корпуса, габаритные размеры корпуса.

Внутренний теплообмен герметичного корпуса происходит за счет конвекции и излучения. Воздух внутри корпуса перемещается из-за разницы температур между нижней и верхней частями корпуса, что способствует отводу тепла от нагретых элементов к стенкам корпуса.

Внешний теплообмен реализуется также за счет конвекции и излучения. Тепло от стенок корпуса передается окружающей среде. Результат моделирования в герметичном корпусе представлен на рисунке 2.

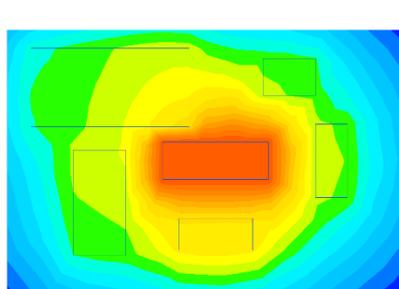


Рисунок 1 – Моделирование теплового режима в перфорированном корпусе

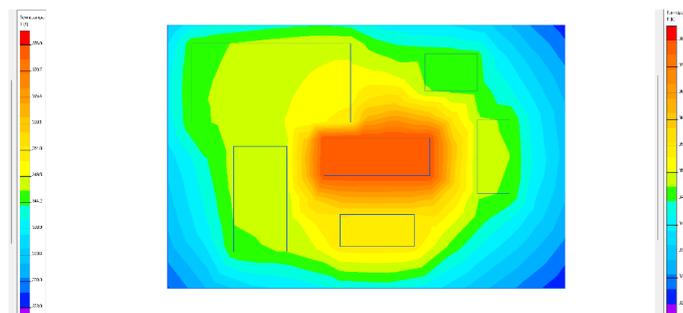


Рисунок 2 – Моделирование теплового режима в герметичном корпусе

Анализ результатов моделирования показал, что перфорированный корпус обеспечивает лучший теплоотвод за счет наличия отверстий, которые способствуют циркуляции воздуха. В процессе экспериментов было установлено, что сабвуфер в перфорированном корпусе демонстрирует более низкую температуру при одинаковых условиях работы по сравнению с герметичным.

Герметичный корпус, напротив, не обеспечивает такой же эффективной вентиляции, что может привести к перегреву компонентов, особенно при длительной работе на высоких мощностях. В этом случае необходимо учитывать дополнительные меры по теплообмену.

**Заключение.** Сравнительный анализ тепловых режимов показывает, что выбор между перфорированным и герметичным корпусами зависит от специфики применения устройства. Перфорированный корпус более предпочтителен для длительной работы на высоких мощностях, тогда как герметичный может быть использован в условиях, где важна защита от внешних факторов, но с учетом необходимости в дополнительном охлаждении.

### Список литературы

1. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cchgeu.ru/upload/iblock/9fd/t1vy4rjd1fuiq0mdla8jk9scj3qexzq0/OKTPRES-UMD-LR4.pdf>. Дата доступа: 25.03.2025.
2. Алексеев, В. Ф. Алгоритмы иерархического анализа тепловых процессов радиоэлектронных средств / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский // Цифровая среда: технологии и перспективы : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября–1 ноября 2024 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобьта (гл. ред.) [и др.] – Брест, 2024. – С. 221–226.
3. Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / 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 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Бозуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.
4. Алексеев, В. Ф. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум : пособие в 2 ч. Ч. 1 : Моделирование физических процессов в радиоэлектронных средствах с помощью программных комплексов / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2016. – 70 с.

UDC 621.396.6

## STUDY OF THERMAL CONDITIONS OF A LOW-FREQUENCY SUBWOOFER IN A PERFORATED AND SEALED ENCLOSURE

Petkevich D.V., Nasanovich M.V.

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

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

**Annotation.** The thermal conditions in perforated and sealed enclosures have been experimentally investigated. It has been established that the cooling of components is better in a perforated case than in a sealed one.

**Keywords:** thermal regime, sealed housing, perforated housing.