

## Список использованных источников

1. Нормы лётной годности двигателей воздушных судов: АП-33: утв. Постановлением 32-й сессии совета по авиации и использованию воздушного пространства 17.02.2012. 3-е изд. с поправками 1–2. – М.: Авиаиздат, 2012. 85 с.
2. Лепешкин, А.Р. Метод термоуправляемого обрыва лопаток при испытаниях корпусов авиационных ГТД на непробиваемость / А.Р. Лепешкин, П.А. Ваганов, Н.Г. Бычков // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4. – С. 1576-1578.
3. E. Giner, An Abaqus implementation of the extended finite element method / E. Giner, N. Sukumar, J.E. Tarancón, F.J. Fuenmayor // Engineering Fracture Mechanics. – 2009. – Vol. 76. – P. 347-368.

УДК 62:539:519.243

*И.Ю. Коваль, Н.А. Сургутанов, Е.Ю. Печенина,  
С.А. Анисимов, С.С. Лаврентьева*

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАМЕНЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА ПОЛИМЕР В КОРПУСЕ ТЕРМОСТАТА ДВС: СНИЖЕНИЕ МАССЫ И СТОИМОСТИ**

**Введение.** В современном автомобилестроении оптимизация материалов для компонентов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является важной задачей. Замена металлических сплавов на полимеры позволяет снизить массу и стоимость изделия, сохраняя функциональность и надёжность. Данная работа посвящена многокритериальному выбору материалов для корпуса термостата ДВС автомобиля, изначально изготовленного из литейного алюминиевого сплава А356.0 (аналог АК7пч по ГОСТ 1583-93). Для анализа использовались программные средства УМКАМатериалы 3.3, Ansys 2022R2, сравнение по весовым коэффициентам через Microsoft Excel. Основное внимание уделяется расчётам в Ansys, обеспечивающим соответствие проектным требованиям [1-3].

**Объект исследования и цели.** Объектом исследования является корпус термостата автомобиля, выполненный из алюминиевого сплава

A356.0. Этот материал обладает высокой прочностью и коррозионной стойкостью, но его плотность (2,7 г/см<sup>3</sup>) и стоимость (ориентировочно 200 руб/кг) ограничивают возможности оптимизации [4, 5].

Цель проекта – замена алюминиевого сплава на инженерный полимер для снижения массы изделия, что улучшает топливную эффективность автомобиля; снижения стоимости за счёт использования более дешёвых и технологичных материалов.

Проектные ограничения: рабочая температура в подкапотном пространстве: от -30°C до +60°C; температура внутренней среды корпуса: от -30°C до +120°C; рабочее внутреннее давление: 0,2 МПа; достаточная жёсткость для крепления к головке блока цилиндров (ГБЦ); первые шесть собственных частот конструкции: более 1000 Гц.

**Методика подбора материала для замены.** Задача заключается в подборе полимерного материала, удовлетворяющего указанным требованиям при помощи модуля “Многокритериальный выбор” программы УМКАМатериалы 3.3, с последующей оценкой его характеристик методом конечных элементов (МКЭ) в Ansys 2022R2 и технико-экономическим сравнением с использованием весовых коэффициентов в Excel. Расчёты носят качественный характер, а стоимость материалов взята из открытых источников [6-8].

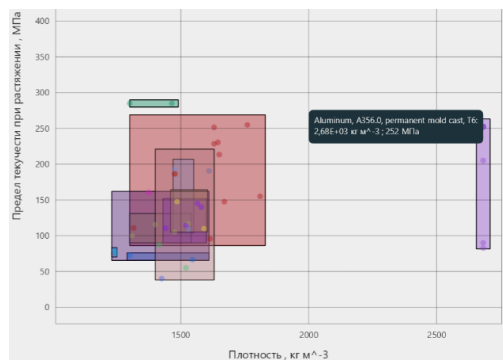
Результатом «Многокритериального выбора» инженерных полимеров для литья под давлением являются: полиамиды (РА), полифталамиды (РРА), полипропилены (РР), полиэфирсульфоны (PESU), полисульфоны (PSU) и фторопласты (PTFE) [8].

На одном из этапов вводятся дополнительные ограничения к полимерам: температура стеклования >140°C; предел текучести >40 МПа.

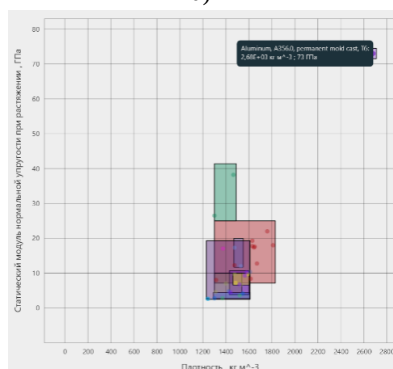
«Многокритериальный выбор» ПО УМКАМатериалы 3.3 в данном случае позволил выбрать материал для конкретного применения. Один фактор не был единственным или определяющим, и имелась необходимость сбалансировать различные требования [8]. На рис. 1 показаны диаграммы удельных показателей.

Сравнение материалов проводилось в Excel с использованием весовых коэффициентов, которые приведены в табл. 1 [4].

Стоимости материалов взяты из открытых источников (например, РРА (30% углеродного волокна) – 585 руб/кг, PSU – 189 руб/кг). Оптимальным оказался полифталамид РРА (30% углеродного волокна), алюминий занял 8-е место [2-3, 6].



а)



б)

Рис. 1. Диаграммы удельных показателей:  
а) удельная прочность; б) удельная жёсткость

Табл. 1. Весовые коэффициенты характеристик

| Свойство              | Вес | Направление  |
|-----------------------|-----|--------------|
| предел текучести, МПа | 0,1 | максимизация |
| стоимость, руб/кг     | 0,4 | минимизация  |
| плотность, кг/м³      | 0,2 | минимизация  |
| клтр, 1/°С            | 0,3 | минимизация  |

**Поверочные расчёты.** В Ansys Workbench выполнялись [7]:

1. Прочностной анализ: эквивалентные напряжения под давлением 0,2 МПа для алюминия (~50 МПа, предел текучести ~200 МПа) и РРА (~110 МПа, в пределах допуска);

2. Термический анализ: проверка деформаций при температурах - 30°C...+120°C. РРА с КЛТР  $20 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  показал допустимые деформации;

3. Модальный анализ: собственные частоты РРА (1100–1400 Гц) соответствуют требованиям ( $>1000 \text{ Гц}$ ).

Результаты расчётов для полимерного корпуса показаны на рис. 2.

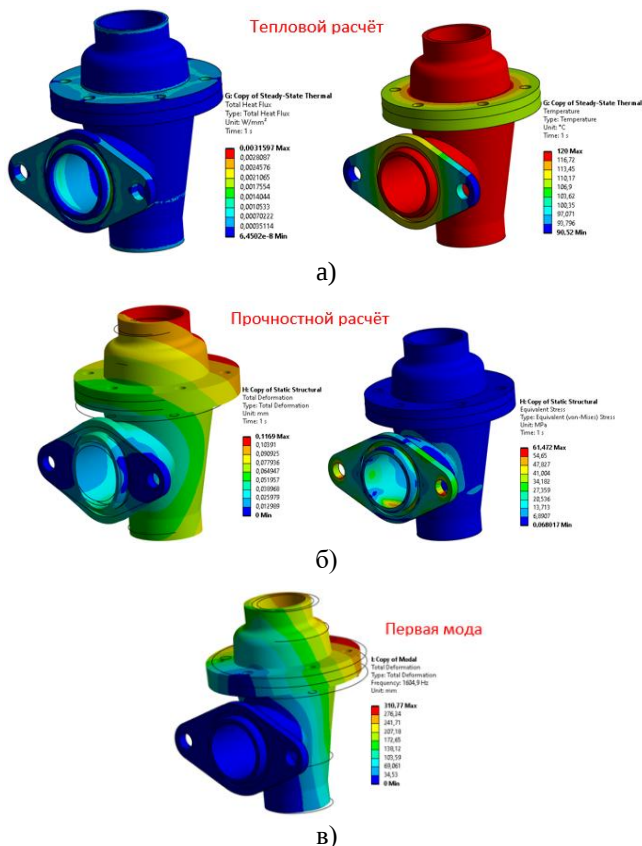


Рис. 2. Результаты расчёта для полимерного корпуса:

а) распределения теплового потока ( $\text{Вт/мм}^2$ ) и температуры ( $^\circ\text{C}$ );

б) поля распределения напряжений ( $\text{МПа}$ ) и деформаций ( $\text{мм}$ );

в) характер перемещений при первой моде колебаний ( $\text{мм}$ ) и первая мода колебаний ( $\text{Гц}$ )

**Заключение.** Таким образом, применение полифталамида РРА (30% углеродного волокна) позволило:

- снизить массу на ~50%;
- уменьшить стоимость на ~10%;
- сохранить прочность, термическую устойчивость и частоты >1000 Гц.

Многокритериальный подход с использованием УМКАМатериалы, Ansys и Excel обеспечил эффективный выбор материала, снизив массу и стоимость корпуса термостата. Дальнейшие исследования могут включать экспериментальную верификацию.

#### **Список использованных источников**

1. Проектирование детали: учеб. пособие / Д.М. Козлов, В.Н. Майнсков, Г.А. Резниченко; под. ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Комарова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 80 с.
2. Ashby, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design – USA: Elsevier Ltd., 2005. – С. 251. – ISBN 978-0-7506-6168-3.
3. Ashby, Michael[англ.]. Materials Selection in Mechanical Design – 3rd. – Burlington, Massachusetts: Butterworth-Heinemann[англ.], 1999. – ISBN 0-7506-4357-9.
4. Jahan, A., Edwards, K. L., Bahraminasab, M. Multi-criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2016.
5. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.
6. Callister, W. D., Rethwisch, D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. 10th ed. Wiley, 2020.
7. Ansys Documentation. Ansys Workbench User's Guide. Ansys Inc., 2022.
- 8 УМКАМатериалы 3.3. Руководство пользователя. УМКА, 2023.