

## **Микротурбина с эффективным КПД более 43%**

к.т.н. доц. Костюков А.В.  
Университет машиностроения  
[kostukov123@yandex.ru](mailto:kostukov123@yandex.ru)

*Аннотация.* Приводятся результаты математического моделирования теплодеформированного состояния керамического каркаса роторного теплообменника многоцелевого газотурбинного двигателя мощностью 300 кВт. Получен вывод о том, что выполнение каркаса теплообменника из графитокарбидокремниевой керамики обеспечит возможность проектирования роторного теплообменника со сверхвысокой степенью регенерации (95-97%) без увеличения величины утечек воздуха через уплотнения теплообменника.

*Ключевые слова:* роторный теплообменник, степень регенерации, тепловые деформации каркаса.

В настоящее время большая часть субъектов РФ – 52 из 80 (или 65%) являются дефицитными по электроэнергии, из них значительная часть – 35 субъектов (44%) с дефицитом более трети региональной потребности в электроэнергии. В то же время рост спроса на энергоносители со стороны потребителей относительно небольшой мощности говорит о наличии огромного рынка потребителей микротурбинных энергетических установок, обеспечивающих меньшую стоимость производимой электроэнергии по сравнению с поршневыми аналогами (за счет практически полного отсутствия технического обслуживания, большого ресурса и применения дешевого топлива). По оценкам, сделанным ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН и др., ожидается, что в ближайшие годы на рынке микротурбин произойдут существенные изменения в сторону увеличения. Продажа микротурбин оценивается величиной около 42 млн. USD ежегодно.

Значительные перспективы имеются и для применения микротурбин на транспорте. Связано это с перспективами развития рынка автомобилей с гибридными силовыми установками. Так, по результатам исследования японской аналитической компании Yano Research Institute, ожидается 16-кратный рост рынка гибридных автомобилей в течение десяти лет – с 0,32 млн. ед. в 2005 г. до 5,37 млн. в 2015 г.

Несмотря на огромный спрос, в России энергоустановки на базе регенеративных микротурбин не производятся. Импортные энергоустановки на базе микротурбин имеют очень высокую стоимость (что в значительной степени связано с монополией нескольких ведущих фирм-производителей, таких как Capstone Turbine Corp. и др.) и меньший электрический КПД (до 34%) по сравнению с энергоустановками на базе дизельных и газовых двигателей (до 40%).

Увеличение электрической эффективности энергоустановок с микротурбинами до 43-50% можно получить за счет роста максимальной температуры газа и применения теплообменника со сверхвысокой степенью регенерации (95-97%). Первое направление возможно за счет применения в малоразмерных газотурбинных двигателях (ГТД) высокотемпературной керамики, и поэтому может рассматриваться только в качестве перспективы, а второе вполне реально для настоящего времени, причем с опорой на отечественную разработку компактного роторного теплообменника. Теплообменник прошел многочасовые испытания на стенде и в составе малоразмерных транспортных микротурбин мощностью 150 и 300 кВт, разработанных на Горьковском автомобильном заводе (ГАЗ) при активном участии Университета машиностроения (МАМИ) [1]. Полученная эффективность теплообменника составила 86%. Увеличение степени регенерации роторного теплообменника до 95% приведет, как показали расчетные оценки, почти к двукратному увеличению его размеров и массы, что вследствие высокой компактности теплообменника не приведет к недопустимому ухудшению габаритно-массовых показателей газотурбинного двигателя. Вместе с тем увеличение размеров теплообменника приведет к увеличению длины уплотнений и потенциально к росту утечек воздуха высокого давления и, соответственно, к меньшему увеличению КПД газотурбинного

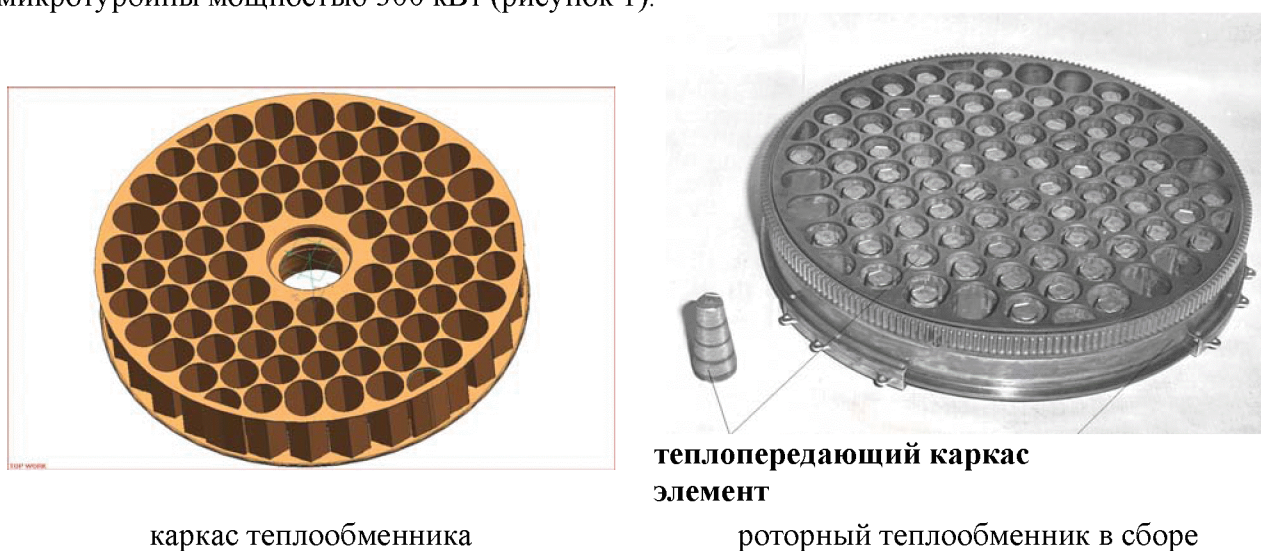
двигателя от подъема степени регенерации.

В роторном теплообменнике МАМИ-ГАЗ уплотнения работают по плоским поверхностям дисков его каркаса (рисунок 1) [2]. В процессе работы каркас в связи с наличием температурной неравномерности деформируется. Величина этих деформаций по сути и определяет эффективность работы уплотнений. Почти двукратное снижение деформаций каркаса обеспечивает его охлаждение, предложенное и исследованное в работах [3, 4, 5].

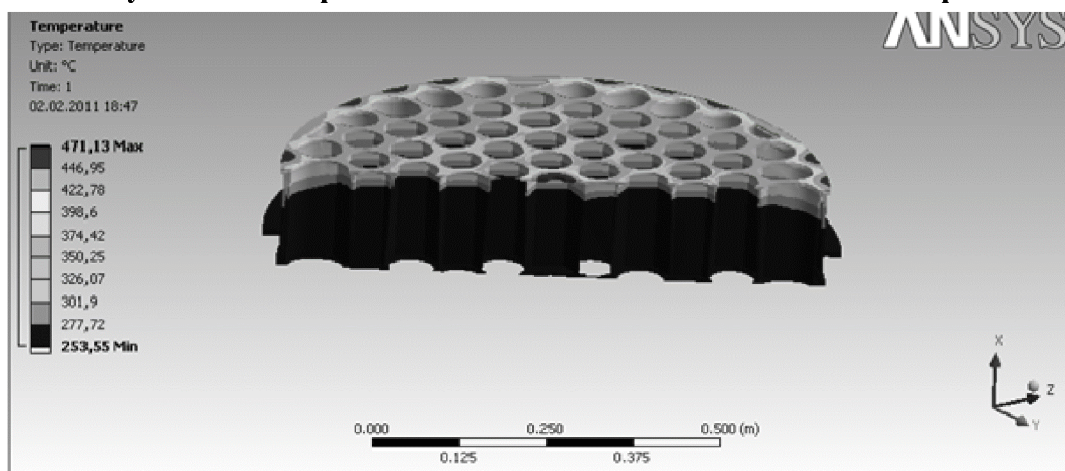
Весьма интересным представляется рассмотреть возможность снижения деформаций за счет выполнения каркаса не из стали, а из графитокарбидкремниевой керамики (силицированный графит) с низким коэффициентом теплового расширения  $(3.9...4.6) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Помимо снижения тепловых деформаций силицированный графит, имеющий по сравнению со сталью почти в два раза большую теплопроводность, обеспечит более эффективное охлаждение каркаса, производимое для работоспособности уплотнительных элементов из термостойкого графита.

Для выполнения поставленной задачи было проведено математическое моделирование теплodeформированного состояния каркаса из силицированного графита и для сравнения из стали 20.

В качестве объекта исследования взят каркас роторного теплообменника транспортной микротурбины мощностью 300 кВт (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Роторный теплообменник МАМИ-ГАЗ и его каркас**



**Рисунок 2 – Температурное поле охлаждаемого стального (сталь 20) каркаса теплообменника ГТД мощностью 300 кВт**

Коэффициенты теплоотдачи и температуры теплоносителей брались из результатов математического моделирования теплогидравлических процессов в теплообменнике [5].

Исходные данные:

- температура газа на входе в теплообменник 915К;
- температура воздуха на входе в теплообменник 497К;
- материал каркаса силицированный графит и сталь 20.

Результаты выполненного математического моделирования приведены на рисунках 2-5.

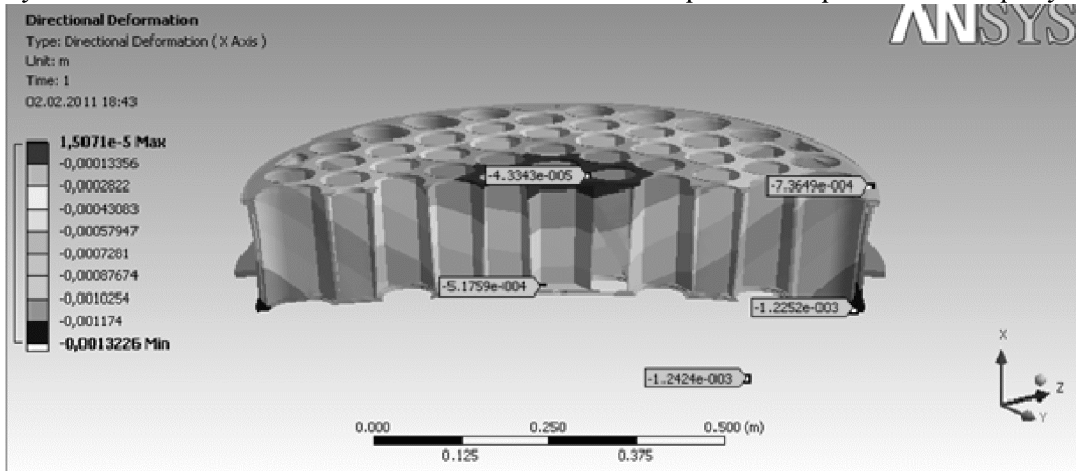


Рисунок 3 – Тепловые деформации охлаждаемого стального (сталь 20) каркаса теплообменника ГТД мощностью 300 кВт по оси X

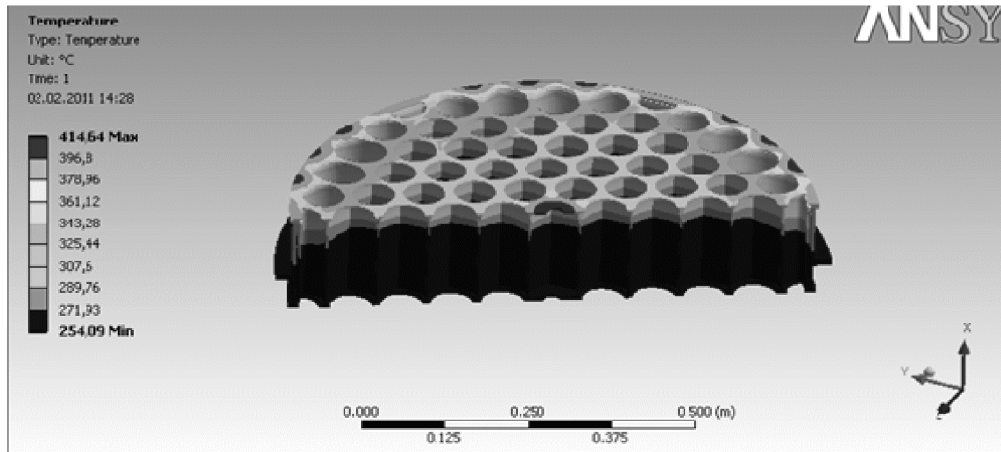


Рисунок 4 – Температурное поле охлаждаемого керамического каркаса теплообменника ГТД мощностью 300кВт

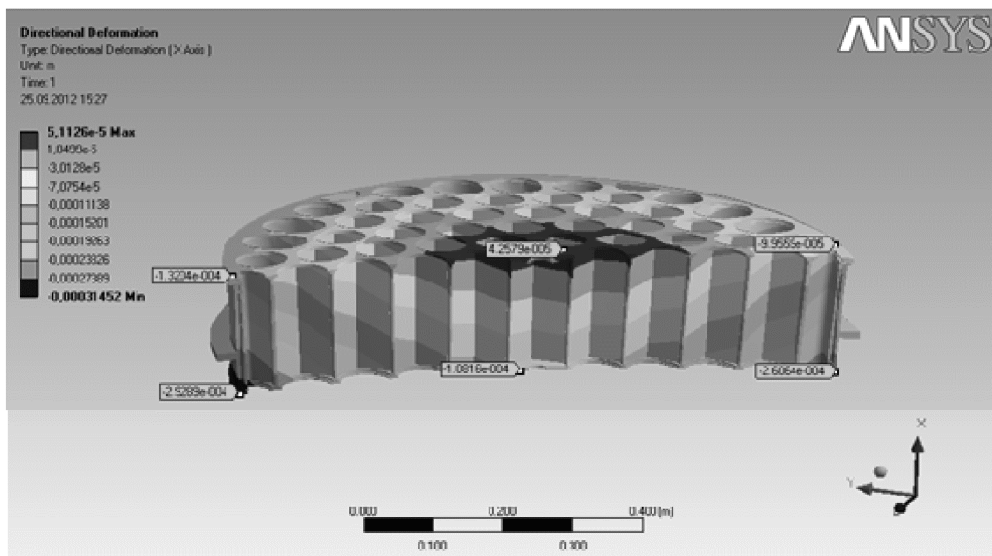


Рисунок 5 – Тепловые деформации охлаждаемого керамического каркаса теплообменника ГТД мощностью 300 по оси X

Как видно из рисунков, выполнение каркаса из силицированного графита приводит к снижению деформаций поверхностей дисков каркаса (с которыми контактируют уплотнения) в направлении оси вращения (на рисунках ось  $x$ ) теплообменника до значения 0.14 мм (деформация дисков каркаса выполненного из стали 20 – 0.64 мм). Причем связано это не только с меньшим коэффициентом теплового расширения, но и с существенно большей теплопроводностью карбидокремниевой керамики по сравнению с металлом (сталь 20).

Действительно, максимальная температура керамического каркаса почти на 60 градусов меньше температуры стального каркаса (рисунки 2 и 4).

Таким образом, применение графитокремниевой керамики позволит почти в четыре раза снизить деформации каркаса и, как следствие, значительно повысить эффективность работы уплотнений теплообменника, что обеспечит возможность повышения эффективности теплообменника до 95% без увеличения утечек воздуха высокого давления.

#### Литература

1. Костюков А.В., Кустарев Ю.С., Елисеев С.Ю. Транспортные газотурбинные двигатели. Общероссийский н/т журнал «Полёт». № 5, 2003 г. с. 32-35.
2. Костюков А.В., Кустарев Ю.С. и др. Исследование роторного теплообменника малоразмерного регенеративного газотурбинного двигателя. Общероссийский н/т журнал «Полёт», № 1, 2005г., с. 38-42.
3. Распределение температур и деформаций в каркасе дискового теплообменника при нестационарных условиях. Инженерно-физический журнал ANSYS SOLUTION. Русская версия. № 1(1), 2005.
4. Костюков А.В., Елисеев С.Ю. и др. Способ охлаждения каркаса вращающегося дискового теплообменника и устройство для его осуществления. Патент на изобретение №2296930, 2007 г.
5. Костюков А.В., Кустарев Ю.С. и др. Исследование системы охлаждения каркаса роторного теплообменника. Известия МГТУ «МАМИ», № 2(4), 2007 г.

#### **Сравнительная оценка вибродемпфирующих характеристик материалов для модификации масляного поддона и клапанных крышек двигателя**

Круглов К.М., к.т.н. проф. Щербаков В.И.  
Университет машиностроения  
+7-495-223-05-23 доб. 1357, [shar2k@list.ru](mailto:shar2k@list.ru)

*Аннотация.* В статье приведены результаты экспериментов по виброотклику пластин из пяти различных материалов с варьированием геометрических размеров и видов закрепления. Наряду с традиционными материалами рассмотрены перспективные композиционные материалы. Основное внимание авторы уделили изменению частотного спектра колебаний пластин и коэффициенту затухания колебаний. Приведены сравнительные диаграммы коэффициентов затухания колебаний. Сделаны выводы и рекомендации.

*Ключевые слова:* *вибрационные свойства, вибропоглощающие материалы, виброзащита, коэффициент затухания колебаний, базальтопластик, снижение вибраций и шума двигателя.*

В последнее время в области машиностроения все больше возрастают экологические и санитарные требования. В частности, это касается требований по уровню шума автомобиля, прописанных в нормах ЕЭК ООН №51-02.

В автомобиле множество источников шума, но основным является его двигатель. Излучение звука вследствие вибрации наружных поверхностей корпусных деталей является одним из основных источников шума двигателя. Корпусные детали двигателя, а именно, масляный поддон, клапанные крышки и передняя крышка представляют собой тонкостенные пластинки и оболочки. Каждая корпусная деталь двигателя вносит вклад в образование структурного шума пропорционально площади своей поверхности. На рисунке 1 показана