

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ СТИРЛИНГА ПУТЁМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ВО ВНУТРЕННЕМ КОНТУРЕ

© 2016 В.А. Савченко, С.П. Столяров

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

### IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE STIRLING ENGINE BY REDISTRIBUTION OF HEAT FLOW IN AN INTERNAL CONTOUR

Savchenko V.A., Stolyarov S.P.

(Saint-Petersburg state marine technical university, Saint-Petersburg, Russian Federation)

*The article describes ways to improve efficiency of Stirling engines by redistributing heat fluxes in the inner loop. As agents influencing the heat flows, the contact thermal resistance, the shuttle conduction, the pumping loss, the heat flow inside the displacer by means of the radiation and convection are considered. The methodologies of calculating studied phenomena are described. The main aspects of a numerical model, which is intended for calculating shuttle conduction in tsilindro-piston group in Stirling engine, is provided. As a result of studying the ways of influencing the distribution of temperature fields of the internal parts of the internal circuit of Stirling engine the constructive measures to improve engine 1R30/6 were developed. As a result of these activities, the estimated reduction of heat loss is 1385 watts, which should help to increase the efficiency of the engine by 2%.*

Достижение максимальной эффективности термодинамического цикла машины Стирлинга требует создания максимального температурного градиента между горячим и холодным цилиндрами.

Добиться повышения эффективности цикла можно путём снижения тепловых протечек между полостями горячего и холодного цилиндров. В представленном исследовании перераспределение тепловых потоков во внутреннем контуре двигателя Стирлинга (ДС) осуществлялось посредством конструктивного воздействия на контактное термическое сопротивление (КТС), нестационарный челночный теплообмен поршневых вытеснителем (шатл-эффект), тепловые потери в газовом кольцевом зазоре между вытеснителем и цилиндрической втулкой (насосные потери), тепло и массообмен внутри вытеснителя.

Для получения численных значений рассматриваемых явлений все расчёты выполнены применительно к ДС  $\beta$ -схемы 1R30/6.

Величина КТС зависит от геометрических размеров деталей, свойств материалов, наличия и свойств поверхностных плёнок, наличия макрогеометрических отклонений, свойств заполняющей стык среды, характера и качества обработки поверхностей и многих других факторов.

Для вычисления тепловых потоков в системе газового зазора между поршневых вытеснителем и цилиндрической втулкой разработана математическая модель, в которой шатл-эффект рассматривается как квазистационарный сложный теплообмен, составными идеализированными составляющими которого являются конвекция и излучение.

Основные положения расчётного алгоритма: боковые поверхности поршня-вытеснителя и цилиндрической втулки, а также массив рабочего тела в зазоре представляются в виде набора конечных элементов, взаимодействия между которыми описываются уравнениями теплообмена излучением, законов Фурье и Ньютона-Рихмана. Краевые условия на границах расчётной сетки задаются режимом работы двигателя. В качестве рабочего тела могут быть использованы воздух, гелий, водород.

Математическая модель включает в себя алгоритм контроля теплового и массового балансов системы, условие обеспечения устойчивости решения вследствие нестационарности задачи. Оценка точности разработанного алгоритма производится встроенными тестовыми задачами.

Методика расчёта тепловых потоков в ДС верифицирована сравнением с данными, опубликованными по двигателю, разработанному компанией МТИ (США) для использования в качестве космического Стирлинг –

генератора мощностью 12,5 кВт. Полученные результаты удовлетворительно согласуются.

С помощью программы расчёта тепловых потоков во внутреннем контуре ДС разработаны рекомендации, направленные на снижение перетечки тепла из горячего в холодный цилиндр. По результатам скорректированного расчёта шатл-эффект снизился с 204 Вт до 12 Вт, насосные потери с 496 Вт до 43 Вт, перетечка тепла внутри поршня-вытеснителя уменьшилась с 128 Вт до 24 Вт. Суммарный тепловой поток рассматриваемыми явлениями удалось снизить с 828 Вт до 79 Вт. За счёт предлагаемых мероприятий удалось снизить суммарный негативный тепловой поток в ДС на 749 Вт или более чем в 10 раз.

За счёт рационального изменения КТС сопряжений элементов корпусных конструкций и цилиндрических втулок удалось добиться снижения теплового потока по корпусным элементам с 1970 Вт до 1334 Вт, по втулкам цилиндра с 88 Вт до 7 Вт.

Суммарные тепловые потери снизились на 1385 Вт.

Эффективный КПД двигателя без учёта рассматриваемых явлений составляет 27,7%. КПД двигателя с учётом изучаемых явлений, но без учёта изменений конструкции, направленных на перераспределение тепловых потоков во внутреннем контуре, составляет 26,6%. Расчётный эффективный КПД двигателя после реализации мероприятий, направленных на снижение шатл-эффекта, насосных потерь, тепловых перетечек внутри вытеснителя и тепловых потоков по элементам конструкции машины, составляет 28,8%. Предполагаемое увеличение КПД составляет 2%.

Было выполнено исследование целесообразности применения методов изменения КТС в других деталях и узлах двигателя 1Р30/6.

Результаты исследования и разработанные методики позволяют разрабатывать конструктивные мероприятия, направленные на повышение эффективности термодинамического цикла и надёжности ДС посредством перераспределения тепловых потоков во внутреннем контуре КТС, шатл-эффектом, насосными потерями и перетечками внутри вытеснителя.

УДК 621.452 (07)

## ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ В ТУРБИНЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 М.А. Мураева

Уфимский государственный авиационный технический университет

### ISOTHERMAL EXPANSION IN TURBINE OF GAS TURBINE ENGINE

Muraeva M.A. (Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation)

*The work is devoted to a comprehensive study of application of isothermal expansion in GTE turbine as an alternative approach to its improvement. The studies made allowed revealing the advantages and disadvantages of isothermal expansion in turbine as part of GTE operation process, stipulating the problems and issues for further study, as well as identifying a possible application field of isothermal expansion in gas-turbine equipment.*

Уровень термогазодинамического совершенства газотурбинных двигателей (ГТД) с каждым десятилетием приближается к своему пределу, что относится как к показателям эффективности работы узлов ГТД, так и к основным термодинамическим параметрам рабочего цикла ГТД. Поэтому из года в год возрастает количество исследований, посвя-

щенных организации работы ГТД по различным сложным термодинамическим циклам с целью совершенствования рабочего процесса[1].

Одним из направлений исследований в этой области является применение цикла ГТД с изотермическим расширением в турбине, в котором подвод тепла за счёт сжига-