

УДК 620.1

К ВОПРОСУ ФОРСИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ МАШИН СТИРЛИНГА

©2011 В. Н. Белозерцев

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Вопрос форсирования тепловых машин Стирлинга представляется важным. Увеличение мощности двигателя и холодопроизводительности холодильной машины осуществляется посредством изменения давления заправки и частоты вращения привода. Для работы с минимальными суммарными потерями мощности и холодопроизводительности давление заправки и частота вращения должны меняться не произвольно. Связь между ними осуществляется через одинаковые минимальные суммарные потери в регенераторе.

Двигатель, холодильная машина, мощность, холодопроизводительность, регенератор, гидравлические потери, тепловые мосты, минимальные суммарные потери, давление заправки, частота вращения привода.

Эффективность решения многих задач в авиационной и космической технике определяется достижениями в области бортовых систем летательных аппаратов. Как энергопроизводящие, так и энергопотребляющие бортовые системы требуют новых идей и конструктивных решений, позволяющих улучшить их эффективность и эксплуатационные характеристики. В основном это установки, работающие по замкнутым циклам Ренкина, Брайтона, Стирлинга мощностью до 200 кВт и более. Определенное место занимают бортовые системы с мощностью до 5 кВт, относящиеся к области микроэнергетики. Среди энергопроизводящих это резервные или аварийные системы, использующие указанные выше циклы. Энергопотребляющие – это бортовые системы обеспечения теплового режима, системы охлаждения, криогенные системы, насосы и компрессоры, входящие в состав технологического и научного оборудования. Помимо этого системы авиационно-космического назначения чаще работают в определенном интервале величин внешних параметров (по уровню температур, по уровню максимальных мощностей для двигателей и уровню располагаемой холодопроизводительности для холодильных машин). Однако возможны ситуации, когда внешние факторы могут отклоняться от своих средних значений: увеличивается нагрузка на вал двигателя, увеличиваются теплопритоки из окружающей среды в зону термостатирования холодильной машины. Поэтому актуальным является изучение того, как будут вести себя тепловые машины бортовых систем в таких условиях, будут ли изменяться их технико-экономические характеристики и каким образом компенсировать изменение

внешних условий сохраняя работоспособность этих машин. В данной работе за основу берется анализ условий работы газовых холодильных машин и тепловых двигателей, работающих по циклу Стирлинга. Двигатели и холодильные машины Стирлинга для реализации термодинамических циклов содержат одинаковый набор основных элементов их рабочих модулей: детандерные и компрессорные полости, теплообменники внешнего подвода и отвода теплоты, регенератор. Отличаются они полезным эффектом и уровнем температур, при которых находятся детандерные и компрессорные полости. Общеизвестны также и методы форсирования этих тепловых машин: по давлению заправки и частоте вращения привода [1,2]. Эти параметры непосредственно влияют на уровень подводимой и отводимой тепловой мощности теплообменных аппаратов, их массогабаритные размеры, а также на уровень потерь, в них возникающих. Поэтому целью данной работы является выявление зависимости параметров цикла, потерь, возникающих в теплообменных аппаратах при работе от частоты вращения привода и давления заправки, а также определение рабочих интервалов давлений и частоты. Работ, посвященных изучению влияния этих параметров на характеристики тепловых машин, тоже достаточно много. Так, в упомянутых выше работах отмечается, что с увеличением давления заправки увеличивается мощность в двигателе и располагаемая холодопроизводительность в холодильной машине. Это является следствием роста рабочего тела в тепловой машине, что приводит к увеличению тепловой нагрузки в регенеративном теплообменнике и теплообменниках внешнего под-

вода теплоты компрессорной и детандерной полости (рис. 1).

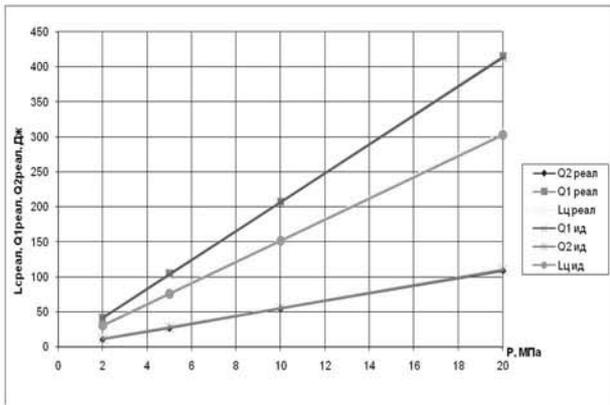


Рис. 1. Зависимость параметров цикла холодильной машины от давления заправки

С увеличением частоты вращения энергетические характеристики цикла остаются без изменения, однако растут тепловые мощности рабочих полостей (рис. 2.).

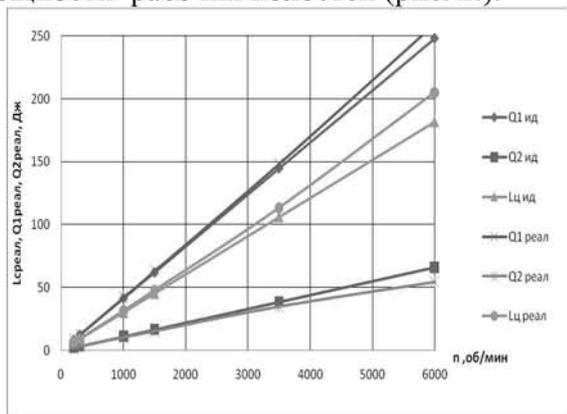


Рис. 2. Графики зависимости реальных параметров холодильной машины от частоты

При форсировании тепловых машин Стирлинга по этим параметрам меняются режимы работы теплообменных аппаратов. Если конструктивно теплообменные аппараты внешнего подвода теплоты в двигателях и холодильных машинах могут отличаться друг от друга, то регенераторы большим разнообразием не отличаются. Методики их расчета абсолютно одинаковы как для двигателей, так и для холодильных машин. Суммарные потери в регенераторе

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_{H1} + Q_{\Delta P} + \Delta Q_{HP}$$

включают потери на недорекуперацию [1]:

$$\Delta Q_{H1} = 0,5(1 - \eta_P) Q_P,$$

где величина тепловой нагрузки регенератора рассчитывается из выражения:

$$Q_P = G \cdot C_P (T_G - T_X) + 2 \cdot \varepsilon \cdot V_{PG} (P_{\max} - P_{\min}) \frac{1}{\tau_{Ц}};$$

$$-\text{гидравлические сопротивления } Q_{\Delta P} = \Delta P \frac{G}{\rho};$$

- за счет теплопроводности по корпусу и насадке регенератора

$$\Delta Q_{HP} = A_H \cdot \lambda_{\Phi} \cdot F_P (T_G - T_X) \frac{1}{l_P},$$

где A_H - коэффициент, учитывающий неравномерность тепловой нагрузки регенератора по длине, равный 1,3...1,4.

Эти потери приводят к уменьшению мощности двигателя и действительной холодопроизводительности холодильной машины. Изменение давления заправки и частоты вращения привода по разному сказываются на темпе изменения энергетических характеристик. Но общим является то, что суммарные тепловые потери в регенераторе при определенном соотношении между его длиной и диаметром $\Lambda_P = \frac{l_P}{d_P}$ при фиксированных p_3 и n принимают минимальное значение (рис. 3,4.)

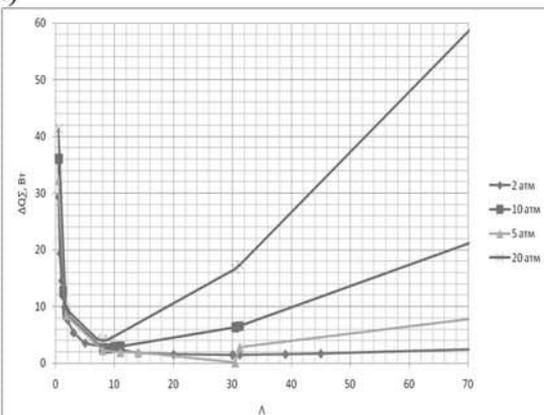


Рис. 3. Зависимость суммарных потерь от Λ_P при разных давлениях заправки для холодильной машины

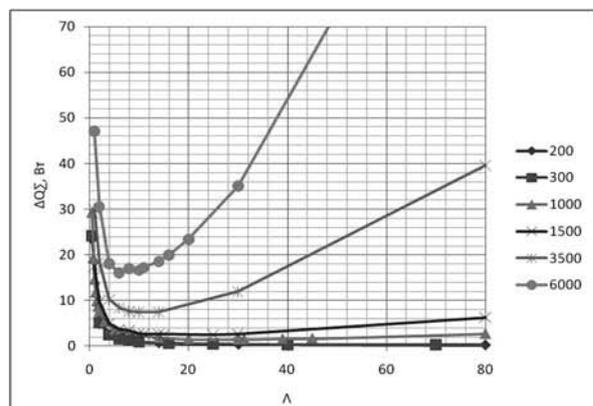


Рис. 4. Зависимость суммарных потерь от Λ_P при разных частотах для холодильной машины

Такое соотношение приведенной длины регенератора Λ_p можно считать оптимальным ($\Lambda_{p \text{ опт}}$). Для каждого давления заправки и частоты вращения будут свои $\Lambda_{p \text{ опт}}$. Зависимости $\Lambda_{p \text{ опт}} = f(p_3)$ и $\Lambda_{p \text{ опт}} = f(n)$, найденные при одинаковых значениях суммарных тепловых мощностей в регенераторе, позволяют установить, зависимость $p_3 = f(n)$, соответствующую оптимальным режимам работы машин с максимальными действительными энергетическими характеристиками. Поэтому при форсировании тепловых машин Стирлинга необходимо изменять одновременно оба параметра в соответствии с определенными выше условиями (рис. 5) (суммарный рабочий объем холодильной машины составил 15 см^3).

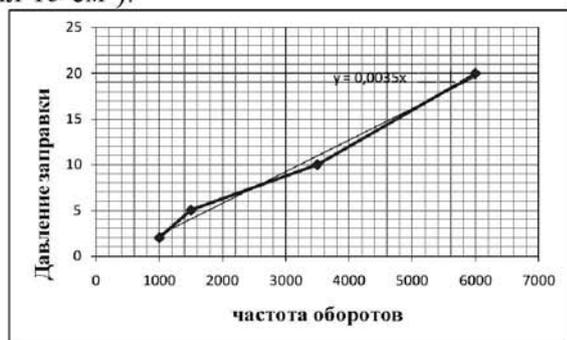


Рис. 5. Зависимость рабочих интервалов давлений заправки и частот вращения для холодильной машины

Вид корреляционной кривой $p_3 = f(n)$ для каждой конструкции машин должен быть определен предварительно по предложенной выше методике. Как видно из рис. 4 и 5, при давлениях заправки меньше 10 кг/см^2 и частотах вращения не более 6000 об/мин тепло-

вые потери носят достаточно пологий характер. Это позволяет выбирать переразмеренные по тепловой нагрузке (а следовательно и по массе) регенераторы с Λ_p от 10 до 80, что и делается на практике [1].

Выводы

Для форсирования тепловых машин Стирлинга по давлению заправки и частоте вращения привода и достижения при этом минимальных потерь в регенераторе, а следовательно и достижения большей эффективности в цикле, должны использоваться переразмеренные регенераторы и одновременно должны меняться оба параметра в соответствии с рабочей характеристикой для каждой машины (рис. 5).

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки), на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

Библиографический список

- 1 Новотельнов, В.Н. Криогенные машины [Текст] / В.Н. Новотельнов, А.Д. Суслов, В.Б. Полтараус – СПб.: Политехника 1991. – 332 с.
- 2 Уокер, Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга [Текст] / Г. Уокер – М.: «Энергия», 1978. – 145 с.
- 3 Грезин, А.К. Микрокриогенная техника [Текст] / А.К. Грезин, В.С. Зиновьев – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.

TO A QUESTION OF FORCING UP OF THERMAL STIRLINGS MACINE

©2011 V. N. Belozertcev

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The question of forcing up of Stirlings thermal machine. working on a cycle is considered. As key parameters of speeding up of power characteristics of thermal cars pressure of refueling of a working body and frequency of rotation of a drive are chosen. For work on modes with the minimum losses of capacity in engines and the valid thermal capacity in refrigerating to the car pressure of refueling and frequency of rotation of a drive should change not any way. The parity between them is established through calculation of losses in a regenerator. Their values are accepted to operating conditions on speeding up parameters corresponding to identical minimum total losses in a regenerator.

The engine, the refrigerator, capacity, thermal capacity at the minimum temperature in cycle, a regenerator, hydraulic, termal bridges, the minimum total losses, pressure of refueling, frequency of the rotation.

Информация об авторах

Белозерцев Виктор Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 267-45-66. Область научных интересов: тепло-массообмен, тепловые двигатели.

Belozertcev Viktor Nikolaevich, candidate of technical Sciences, associate professor, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 267-45-66. Area of research: engine, hydraulic, thermal bridges.