

# Двигатели Стирлинга

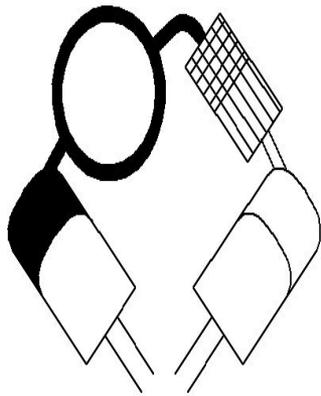
Двигатели Стирлинга в технической и популярной литературе часто упоминаются под различными названиями, в которых выделяются некоторые принципиальные и конструктивные особенности. Наиболее часто употребляются следующие:

*двигатель Стирлинга, двигатель с внешним подводом теплоты, газовая тепловая регенеративная машина, поршневой регенеративный двигатель, поршневой двигатель на горячем газе, газовый поршневой регенеративный двигатель.*

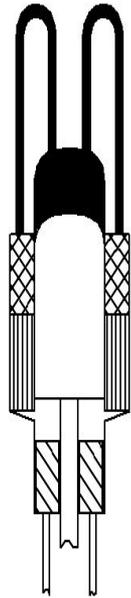
Для осуществления термодинамического цикла Стирлинга тепловая машина должна содержать следующие элементы: горячий цилиндр, называемый также полостью расширения, нагреватель, регенератор, охладитель, холодный цилиндр (полость сжатия).

Соединенные между собой в названной последовательности указанные элементы образуют внутренний контур, в котором осуществляется термодинамический процесс.

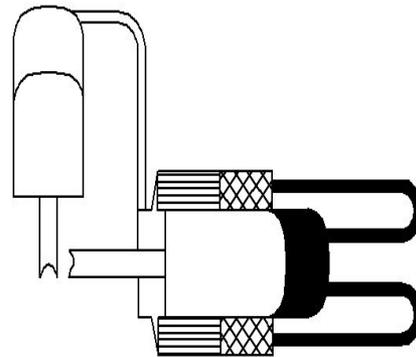
По расположению рабочих полостей и теплообменных аппаратов машины Стирлинга разделяются на четыре основные типа:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -схемы, а также машины двойного действия.



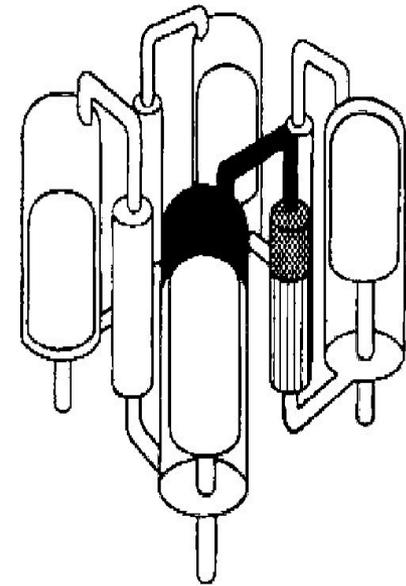
*$\alpha$ -схема*



*$\beta$ -схема*



*$\gamma$ -схема*



*Двойного действия*

■ *Нагреватель*

▨ *Охладитель*

▩ *Регенератор*

# Преимущества двигателей Стирлинга в энергетических установках

В соответствии с принципами действия и конструктивными особенностями современных образцов двигателю присущи следующие специфические свойства, обеспечивающие ему устойчивый интерес в различных областях применения.

**Возможность работы практически от любого источника теплоты.**

Подвод теплоты к рабочему телу через теплообменную стенку нагревателя дает возможность применять практически любые источники теплоты не разрушающие теплообменной поверхности. К настоящему времени в опытных и промышленных образцах ДС в качестве источников теплоты опробованы камеры сгорания на различных видах жидкого, газообразного и твердого топлива, тепловые аккумуляторы, химические реакторы, электрические нагреватели, концентраторы солнечной энергии, промышленные изотопные источники.

## **Хорошие виброакустические характеристики.**

Из всех поршневых двигателей ДС имеют рабочий процесс, который характеризуется исключительно малой жесткостью. Зависимость давления в рабочем контуре от фазы рабочего процесса теоретически близка к гармонической. Вследствие этого перекладки в подшипниках, крейцкопфах и цилиндрах сопровождаются малой величиной энергии удара.

## **Двигатель может быть приспособлен для работы без доступа атмосферного воздуха.**

Эта возможность реализуется с использованием соответствующих источников теплоты. Достоинством ДС при этом является то, что эффективность рабочего процесса теоретически не зависит от внешнего давления.

В энергетических установках, разработанных для подводных лодок фирмой «Kockums», во внешнем контуре с камерой сгорания на углеводородном топливе и кислороде поддерживается давление около 2,2 МПа, что позволяет выбрасывать охлажденные продукты горения за борт без дополнительных затрат энергии.

## **Низкая токсичность при работе на углеводородных топливах.**

Камеры сгорания непрерывного горения с многократной внутренней рециркуляцией обеспечивают ДС значительно меньшие уровни токсичности по различным компонентам, по сравнению с существующими двигателями внутреннего сгорания. Соответственно, энергоустановки на базе ДС будут обладать пониженной следностью.

## **Хорошие тяговые характеристики и высокая эффективность при работе на долевых режимах.**

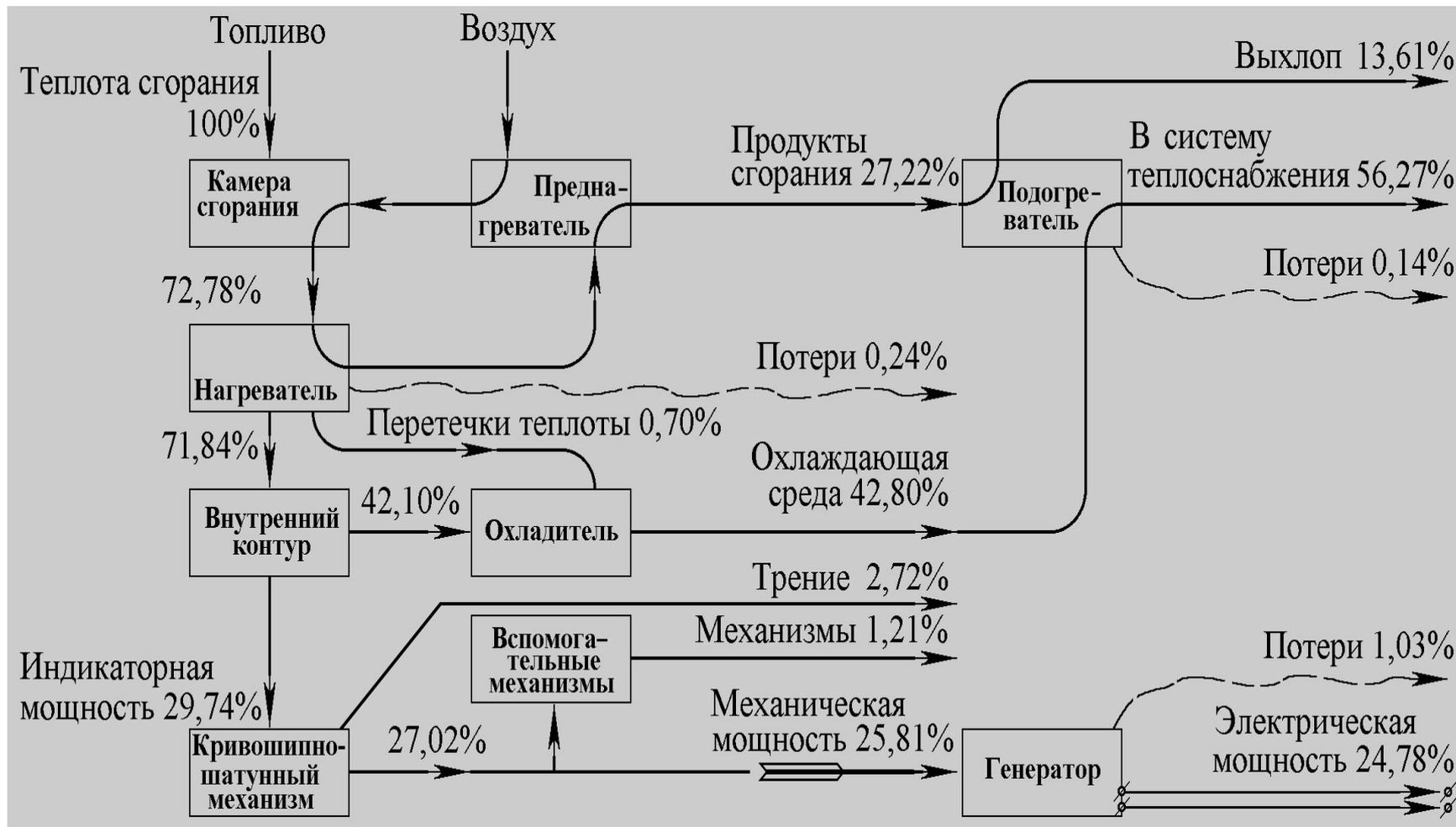
Это достоинство может быть реализовано путем создания системы регулирования мощности двигателя посредством изменения давления во внутреннем контуре или изменением рабочего объема цилиндров. Важно, чтобы при этом на режимах меньшей мощности, в том числе при пониженной частоте вращения, температура нагревателя оставалась постоянной, близкой к номинальной величине.

**При рассмотрении достоинств ДС необходимо иметь в виду и его определенные недостатки.**

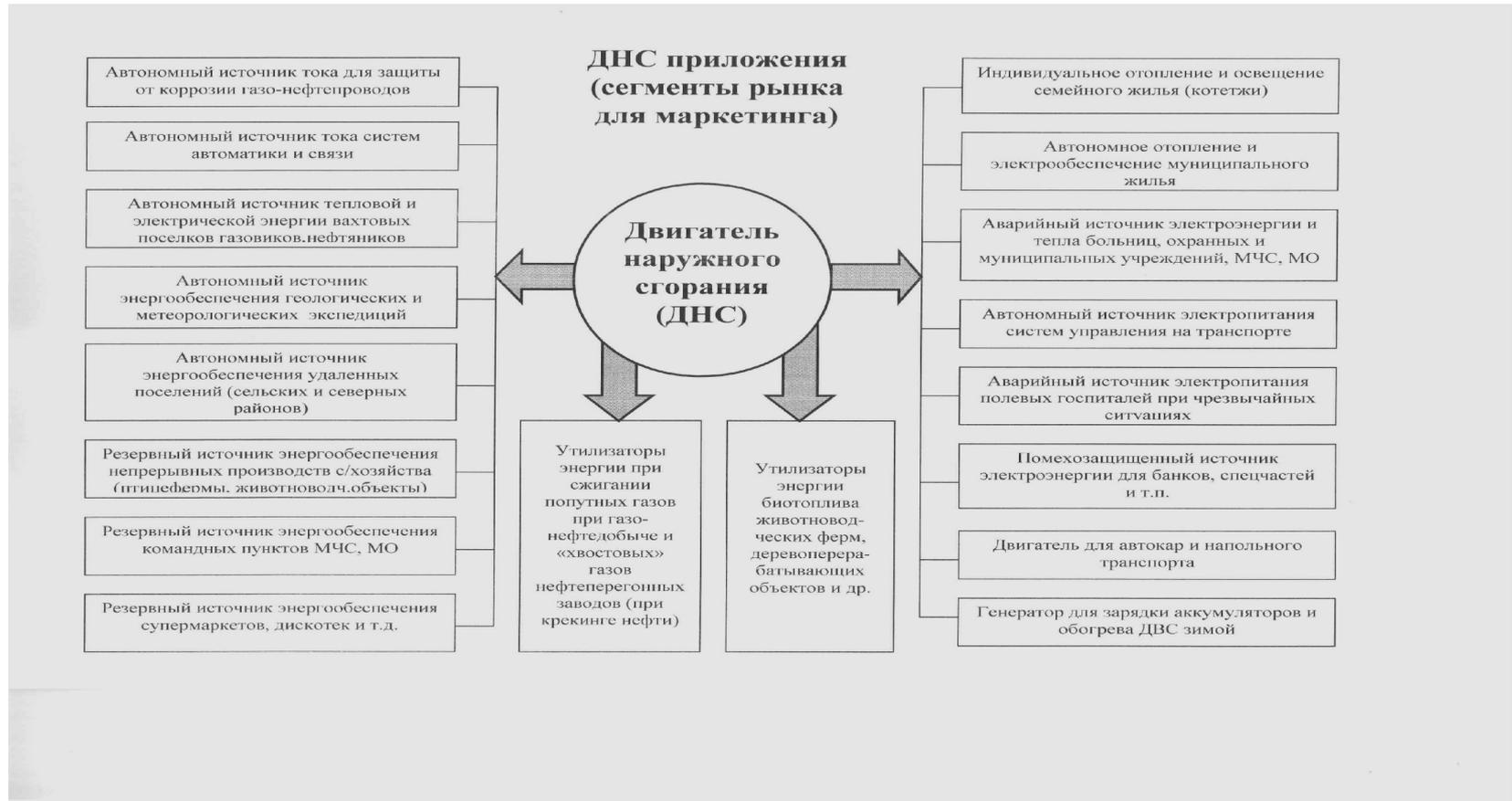
Прежде всего, по сравнению с серийными ДВС, это высокая стоимость и худшие массогабаритные показатели, а также ограниченная агрегатная мощность – в настоящее время доведенные двигатели имеют мощность немногим более 100 кВт.

Сложным остается вопрос о ресурсе двигателя. Уплотнения сухого трения, насадка регенератора и теплообменная поверхность нагревателя являются элементами, ограничивающими ресурс непрерывной работы. На основании имеющихся сведений эта величина в различных типах конструкций может составлять от 500 до 3000 часов.

# Схема теплообмена энергоустановки на базе двигателя Стирлинга

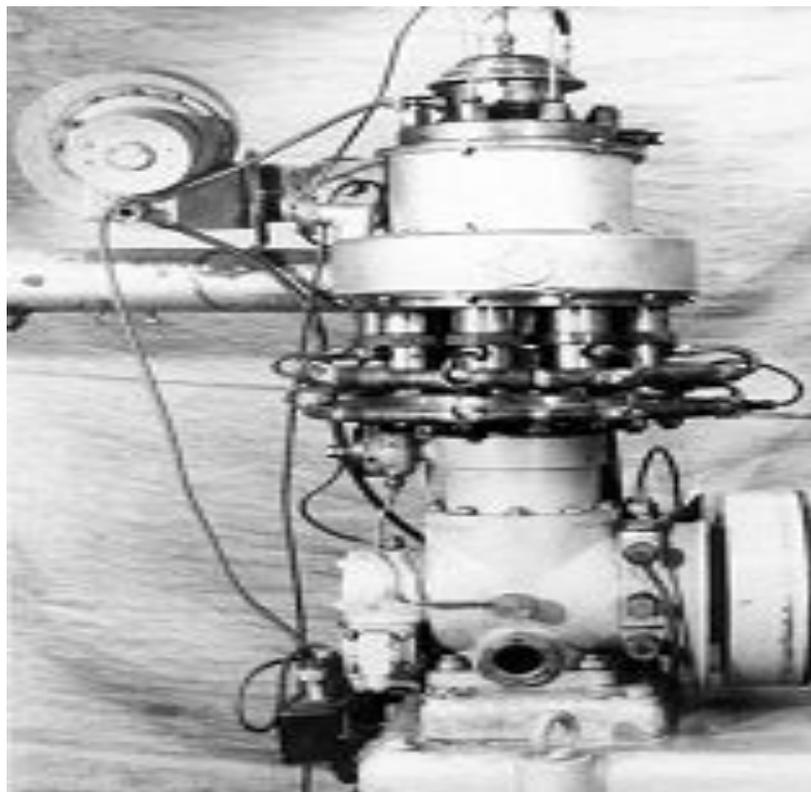


# Области применения ДНС

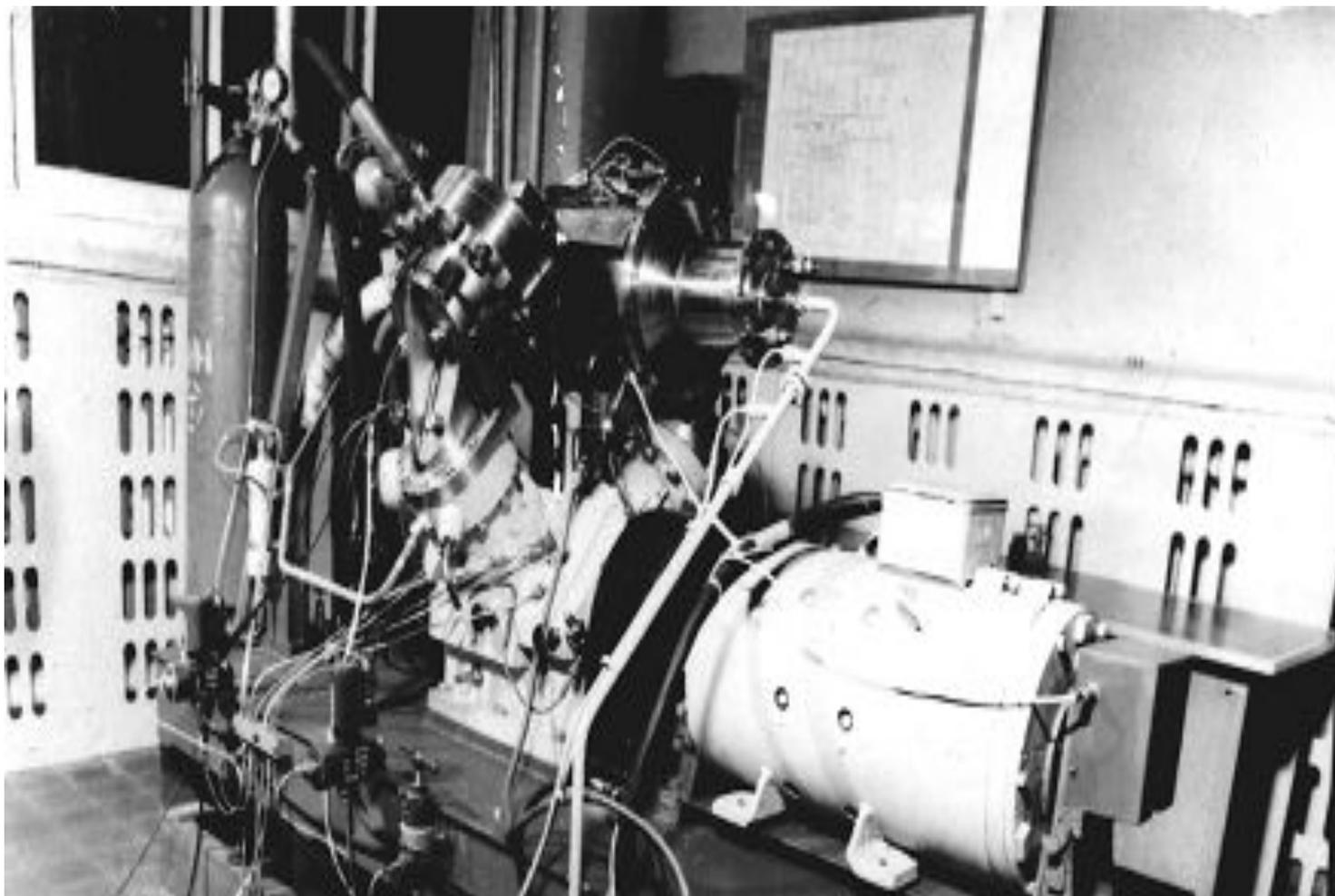


**Научно-технический задел по проблеме.  
Отечественные организации, принимавшие участие  
в работах по созданию двигателей Стирлинга**

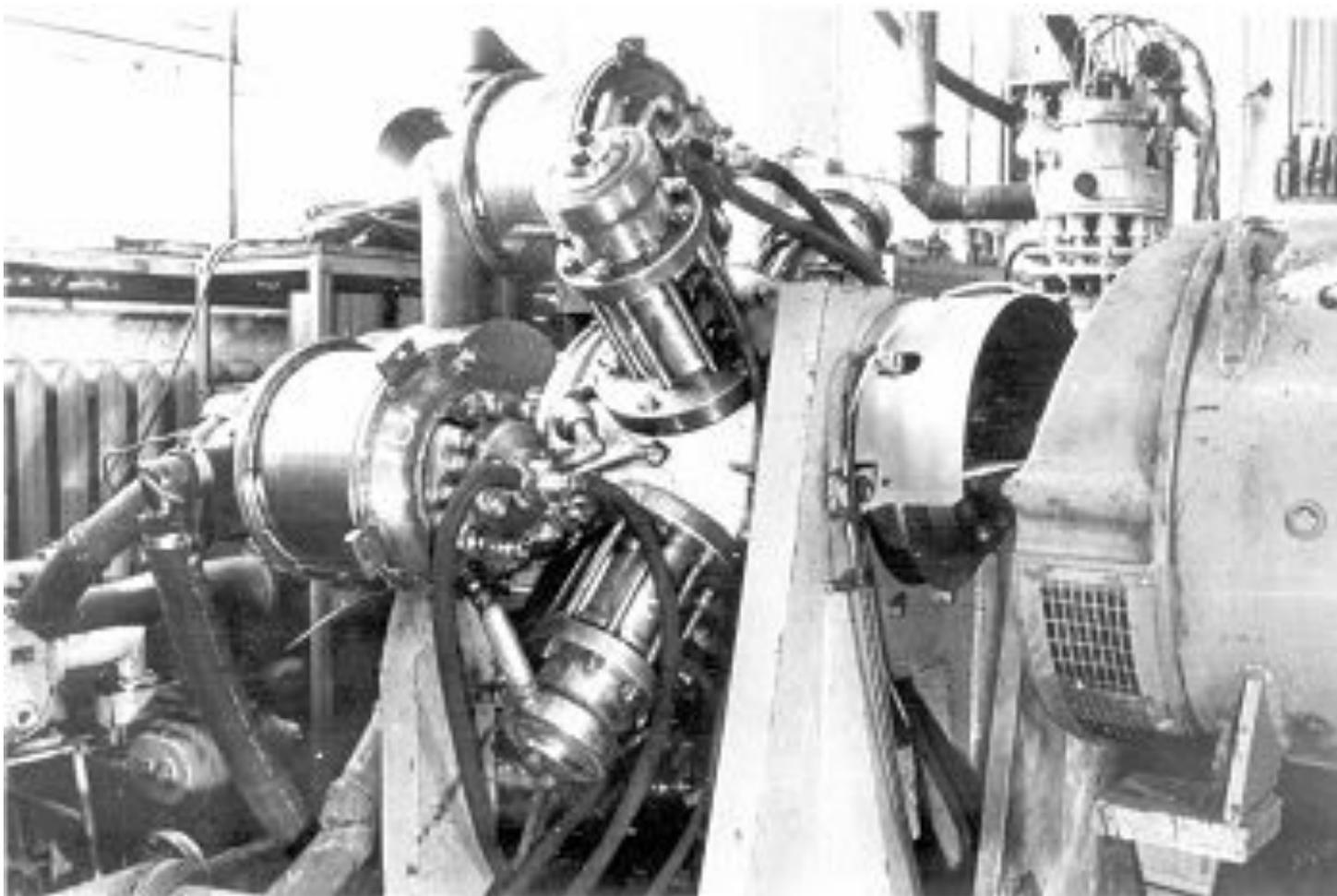
*Экспериментальная установка с двигателем Стирлинга для  
отработки камеры сгорания на жидком топливе*



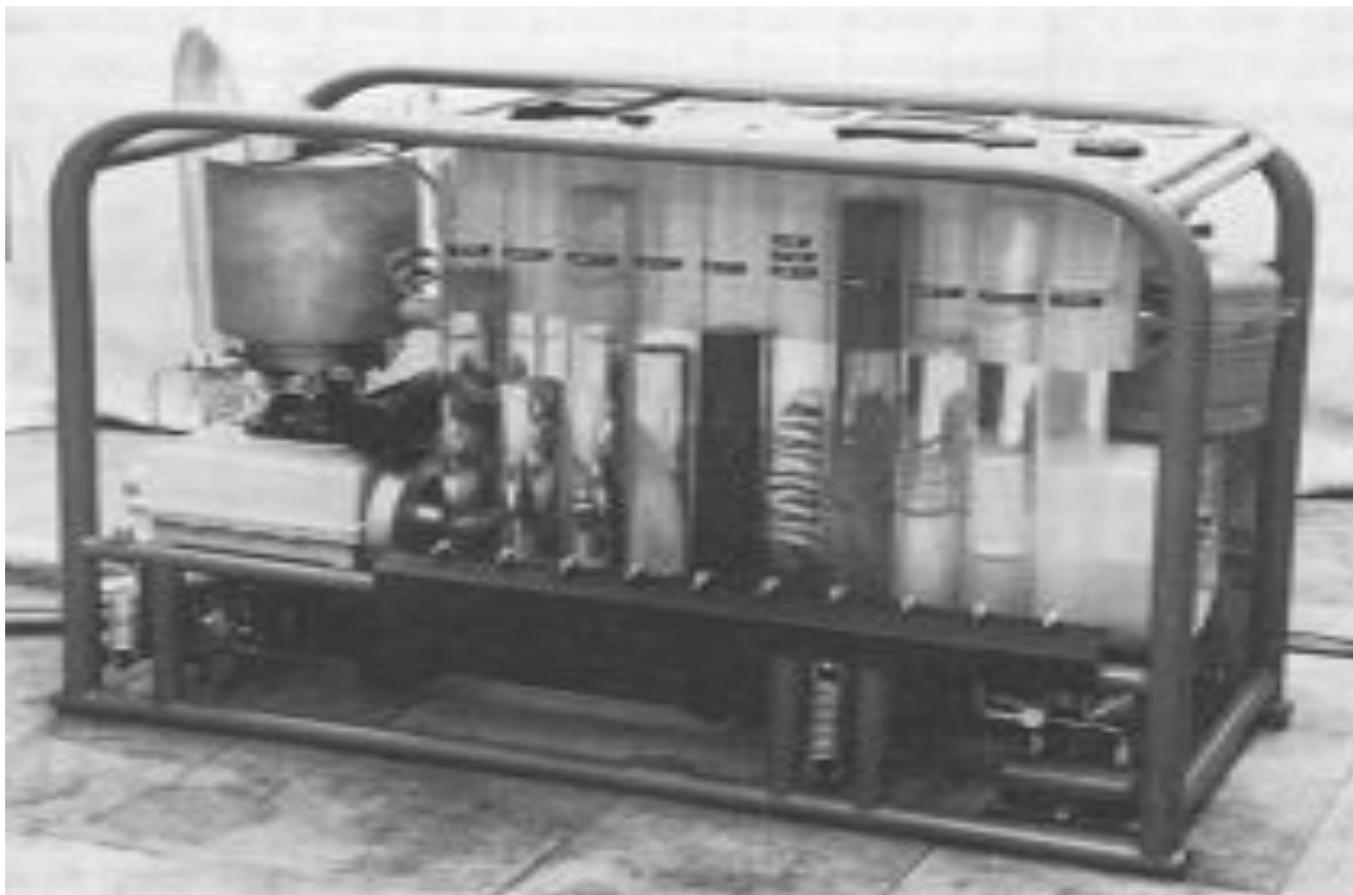
*Двигатель Стирлинга «ДС-15» на испытательном стенде в лаборатории КБ «Арсенал».*



**Двигатель Стирлинга двойного действия с бесшатунным механизмом  
Баландина на стенде «ЦНИДИ»**



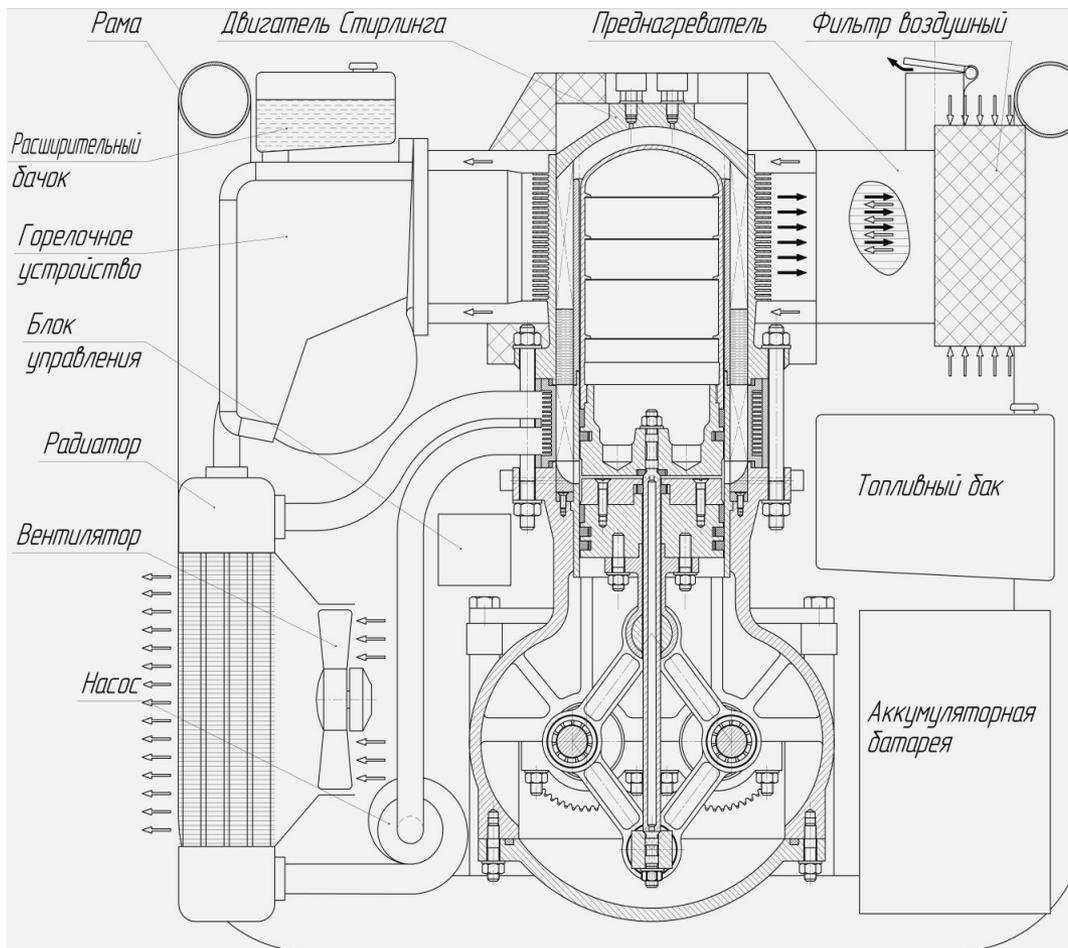
# Многотопливный Стирлинг-генератор фирмы «Philips»



# Новые разработки

## Энергоустановка 2кВт

### ЗАО НТКЦ «ПЕТРОФАРМ»



## Проблемы создания двигателей Стирлинга применительно к современному уровню отечественных разработок

В случае принятия решения о продолжении работ по созданию ряда отечественных Стирлинг-генераторов необходимо предусмотреть решение следующих научно-технических проблем.

**А.** Создание компьютерных моделей и натурно-экспериментальных стендов для отработки рабочего процесса свободнопоршневой машины Стирлинга, оптимизация рабочего процесса во внутреннем контуре с учетом особенностей свободнопоршневых механизмов.

**Б.** Создание обратимой линейной электрической машины (мотор-генератора), способного в период цикла осуществлять движение по заданному закону, при этом создавая или воспринимая заданное усилие. Ориентировочно циклическая частота Стирлинг-генератора перспективного типа составляет 50 ... 100 гц.

**В.** Разработка высокотемпературных компактных нагревателей с удельным тепловым потоком до  $1,5 \text{ МВт/м}^2$ , при температуре теплообменной поверхности не менее  $1000 \text{ К}$  и внутреннем давлении рабочего тела до  $20 \text{ МПа}$ .

**Г.** Разработка уплотнительных устройств для удержания гелия при давлении до  $20 \text{ МПа}$  в течение срока непрерывной эксплуатации изделия.

**Д.** Разработка компактных систем передачи теплоты к нагревателю на базе капиллярных жидкометаллических тепловых труб, способных к работе в области рабочих температур объекта, в том числе готовых к пуску из холодного состояния.

**Е.** Решение вопроса об источнике теплоты и создание соответствующего агрегата, имея в виду необходимость подведения тепловой энергии к нагревателю двигателя Стирлинга с заданной плотностью тепловой энергии.

**Ж.** Разработка системы рассеивания теплоты охладителя.

**З.** Решение вопроса о перспективном типе и способе создания насадки регенератора высокой пористости на заданный ресурс.

**И.** Проведение полномасштабных стендовых ресурсных испытаний отдельных узлов и деталей Стирлинг-генератора.

**К.** проведение комплексной НИР в области материаловедения, направленной на выявление и изучение возможности применения перспективных материалов для изготовления Стирлинг-генератора, в том числе для разъемных и неразъемных корпусных конструкций, крепежа, теплообменных аппаратов, поршней, системы передачи теплоты, пружин, уплотнений сухого трения, электрических машин, тепловой изоляции, электрической изоляции.

# Заключение

- На основании опыта, накопленного отечественными предприятиями в работах по созданию Стирлинг-генераторов малой мощности, основные проблемные узлы и детали, а также принципиальные теоретические вопросы к настоящему времени можно считать в значительной степени отработанными.
- В наибольшей степени имеющийся научно-технический задел может быть реализован при создании ряда Стирлинг-генераторов с ромбическим или кривошипно-шатунным механизмом мощностью до 10 кВт.
- При создании Стирлинг-генератора малой мощности в настоящее время ведущие зарубежные фирмы широко применяют свободнопоршневые механизмы. Необходима разработка отечественной конструкции на уровне лучших зарубежных образцов.