

Двигатели Стирлинга

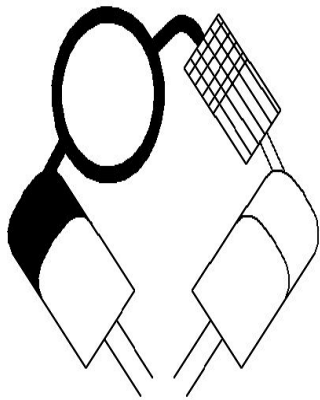
Двигатели Стирлинга в технической и популярной литературе часто упоминаются под различными названиями, в которых выделяются некоторые принципиальные и конструктивные особенности. Наиболее часто употребляются следующие:

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

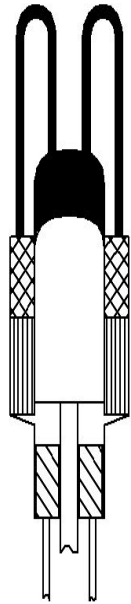
Для осуществления термодинамического цикла Стирлинга тепловая машина должна содержать следующие элементы: горячий цилиндр, называемый также полостью расширения, нагреватель, регенератор, охладитель, холодный цилиндр (полость сжатия).

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

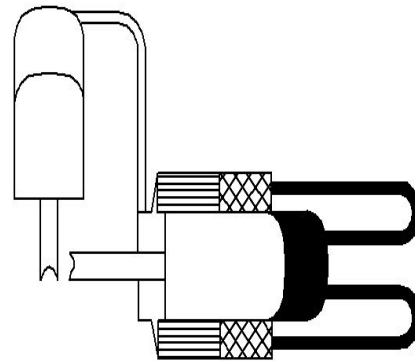
По расположению рабочих полостей и теплообменных аппаратов машины Стирлинга разделяются на четыре основные типа: α , β , γ -схемы, а также машины двойного действия.



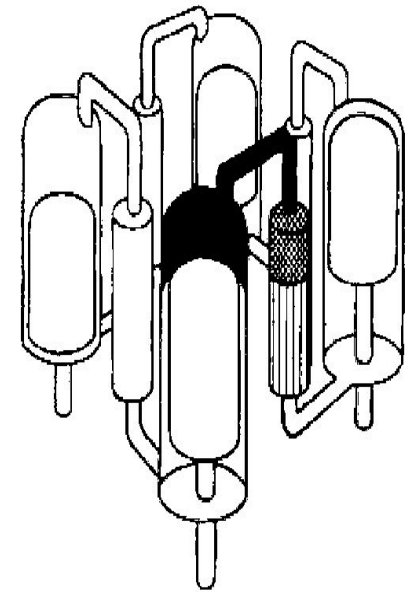
α -схема



β -схема



γ -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.

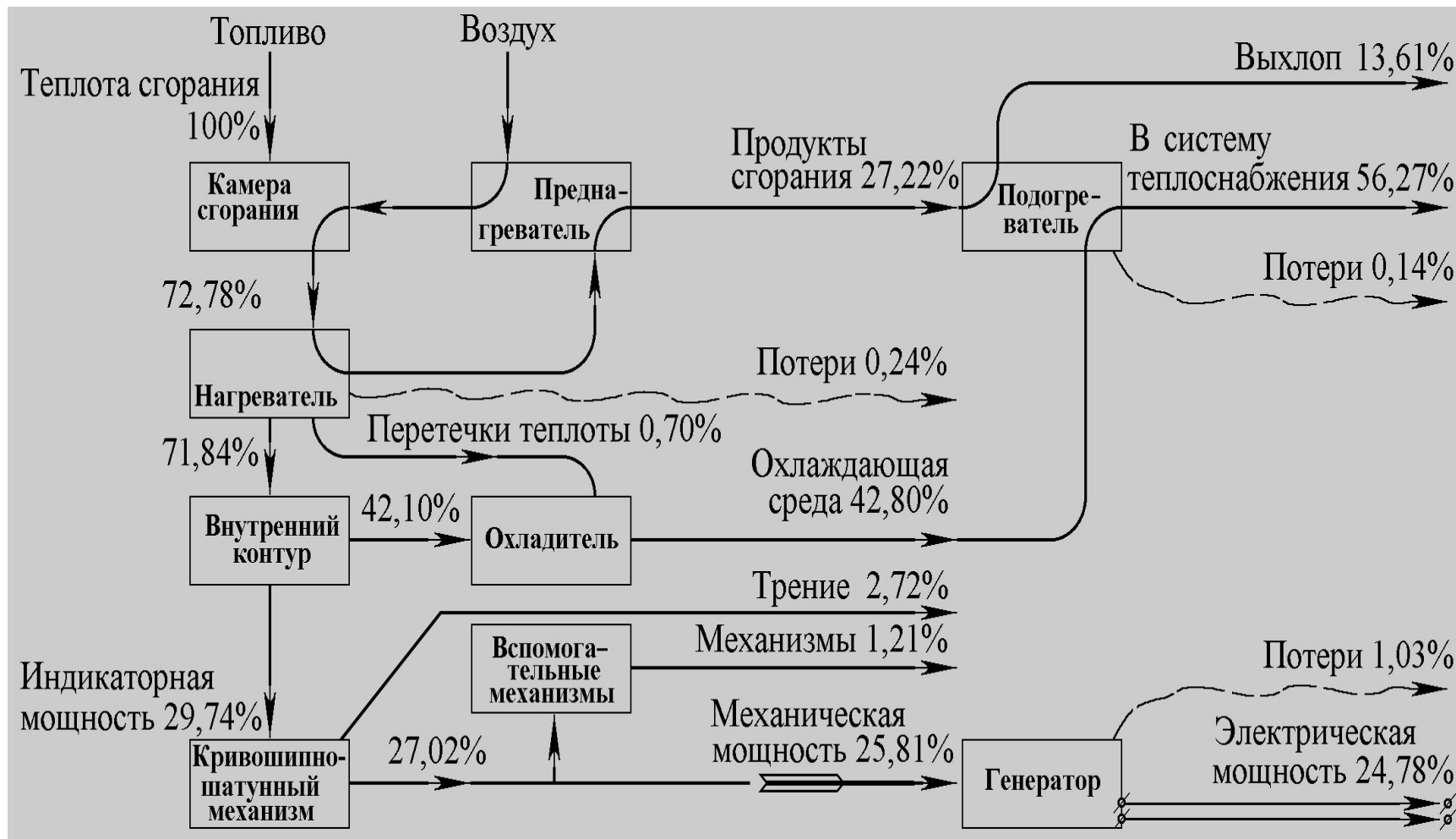
Это достоинство может быть реализовано путем создания системы регулирования мощности двигателя посредством изменения давления во внутреннем контуре или изменением рабочего объема цилиндров. Важно, чтобы при этом на режимах меньшей мощности, в том числе при пониженной частоте вращения, температура нагревателя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

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

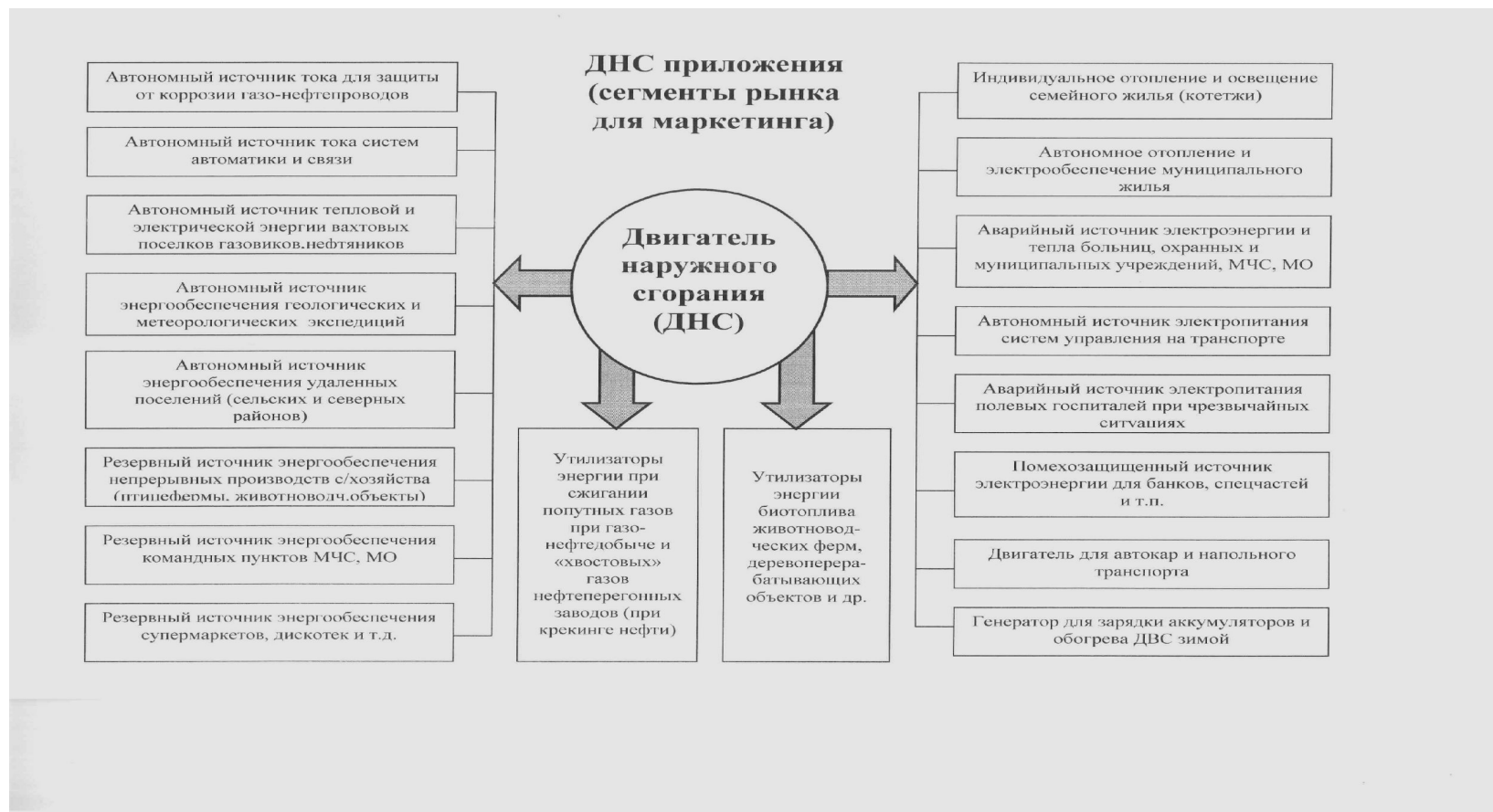
Прежде всего, по сравнению с серийными ДВС, это высокая стоимость и худшие массогабаритные показатели, а также ограниченная агрегатная мощность – в настоящее время доведенные двигатели имеют мощность немногим более 100 кВт.

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

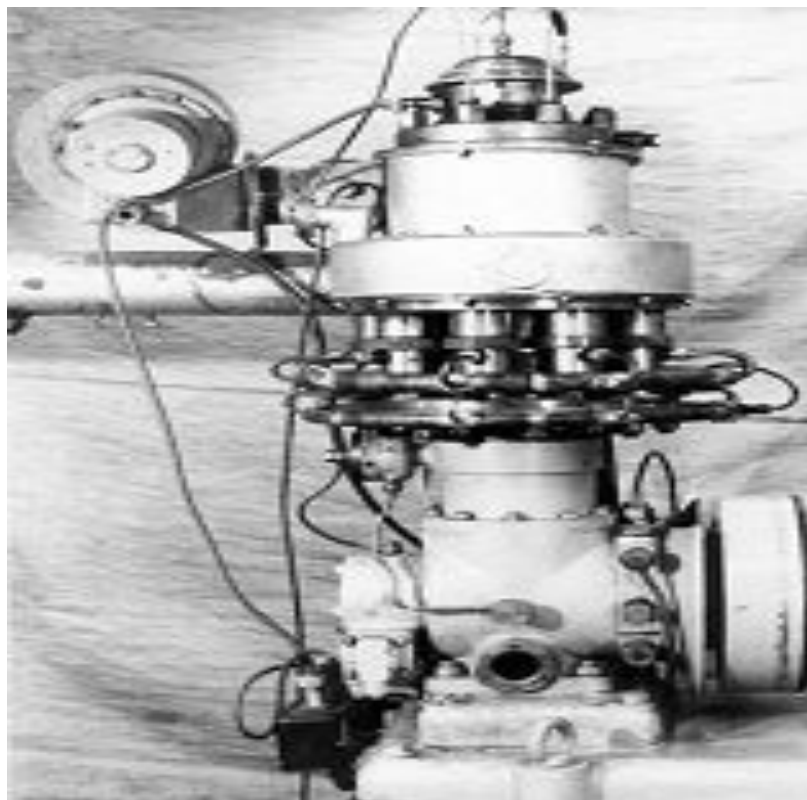


Области применения ДНС

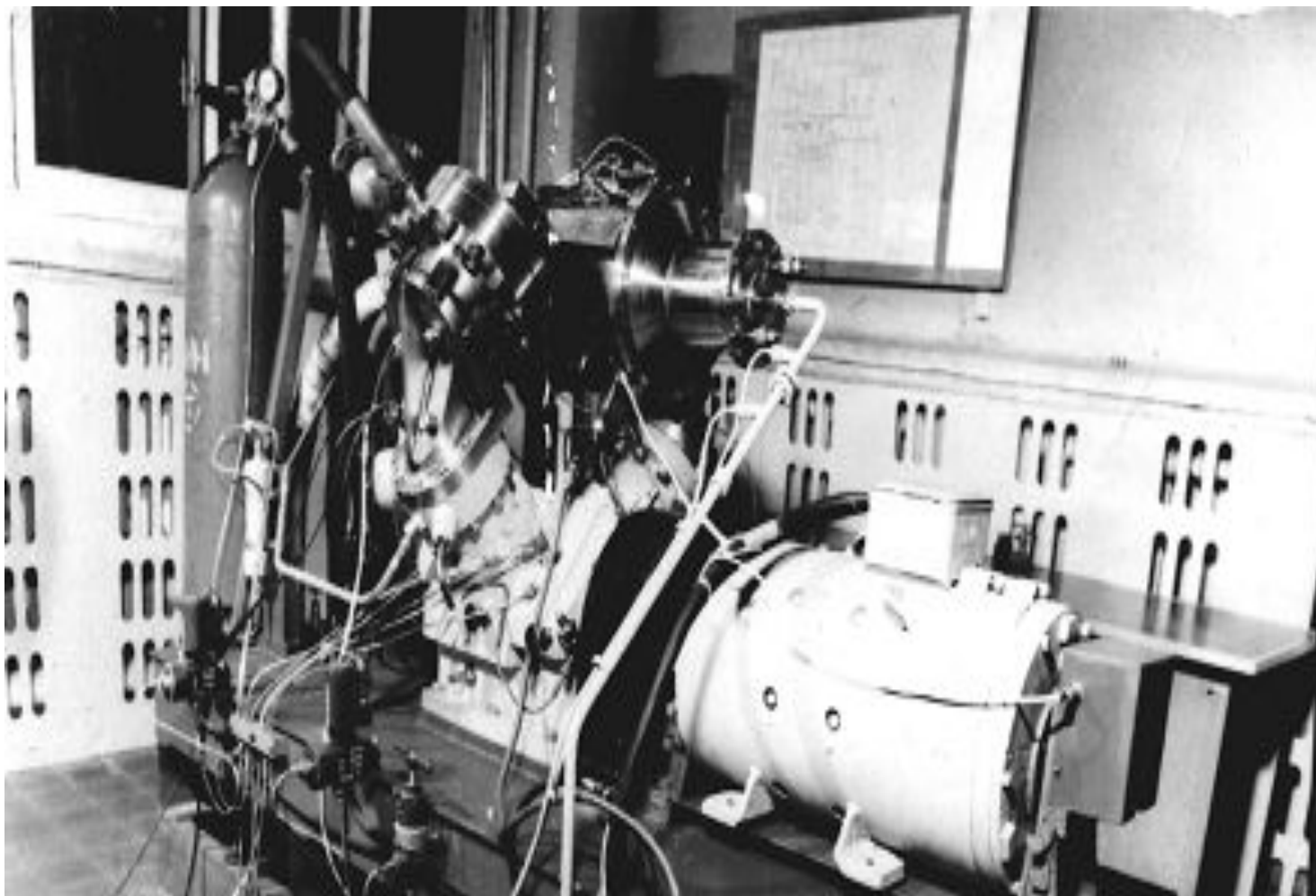


**Научно-технический задел по проблеме.
Отечественные организации, принимавшие участие
в работах по созданию двигателей Стирлинга**

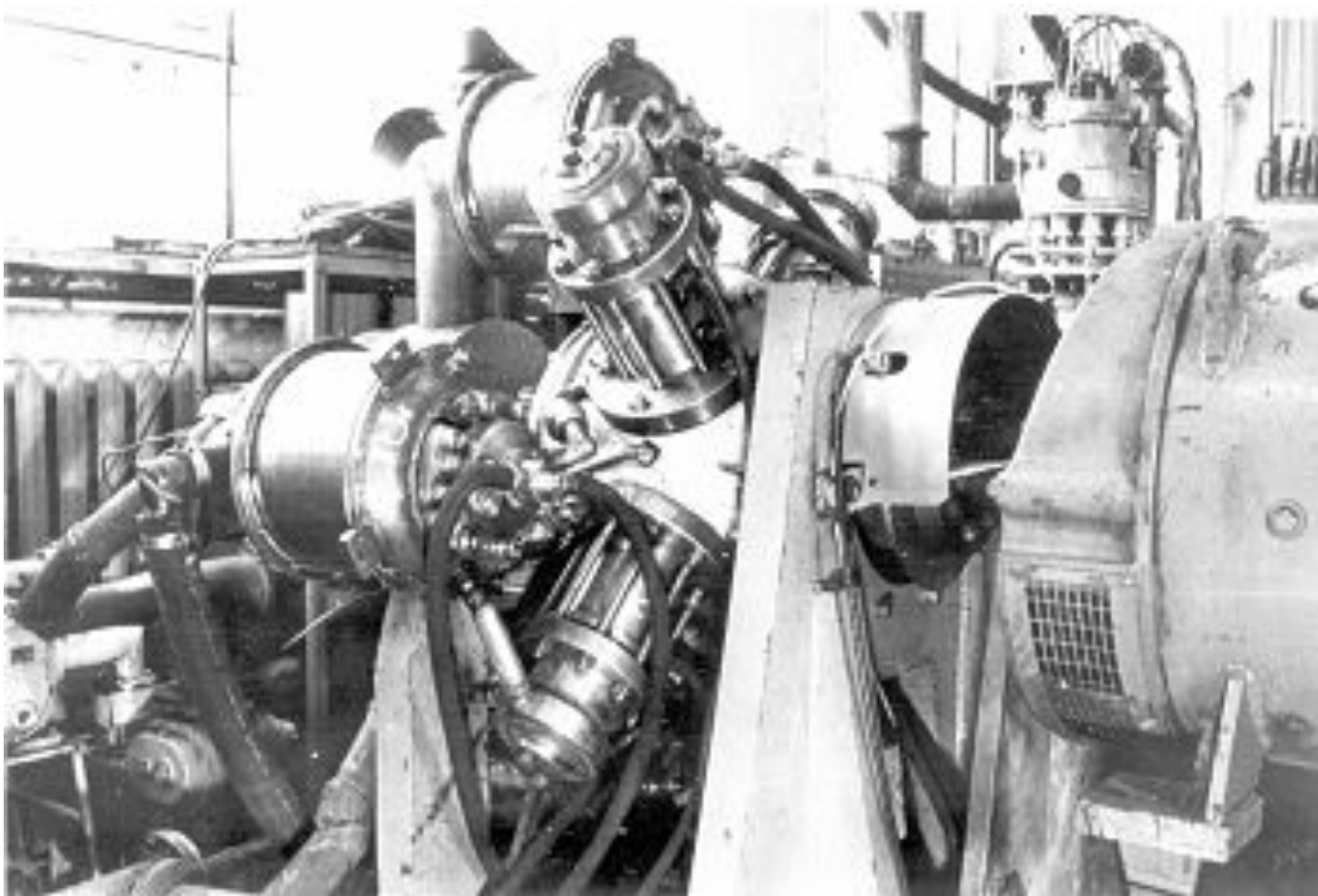
*Экспериментальная установка с двигателем Стирлинга для
отработки камеры сгорания на жидком топливе*



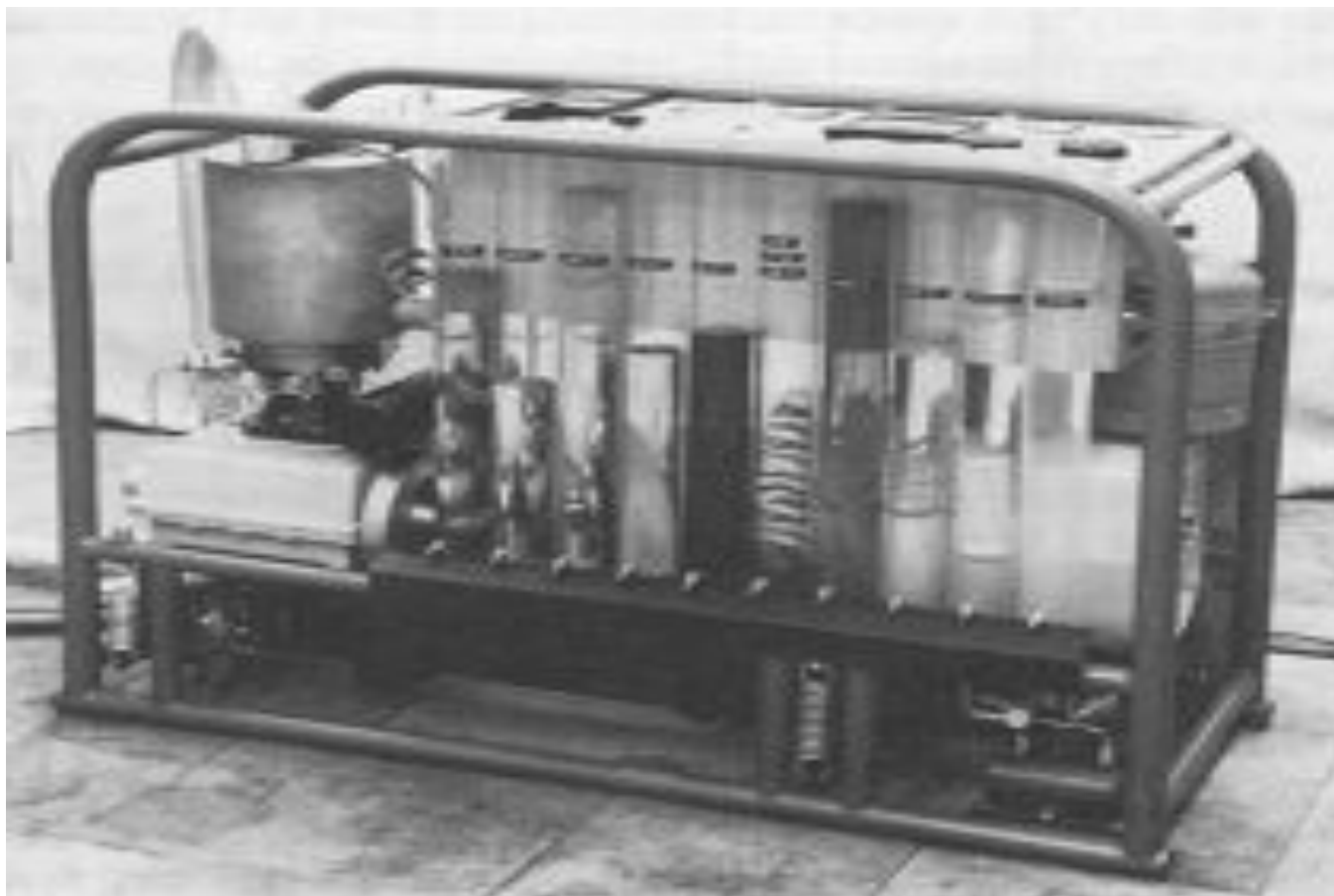
Двигатель Стирлинга «ДС-15» на испытательном стенде в лаборатории КБ «Арсенал».



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



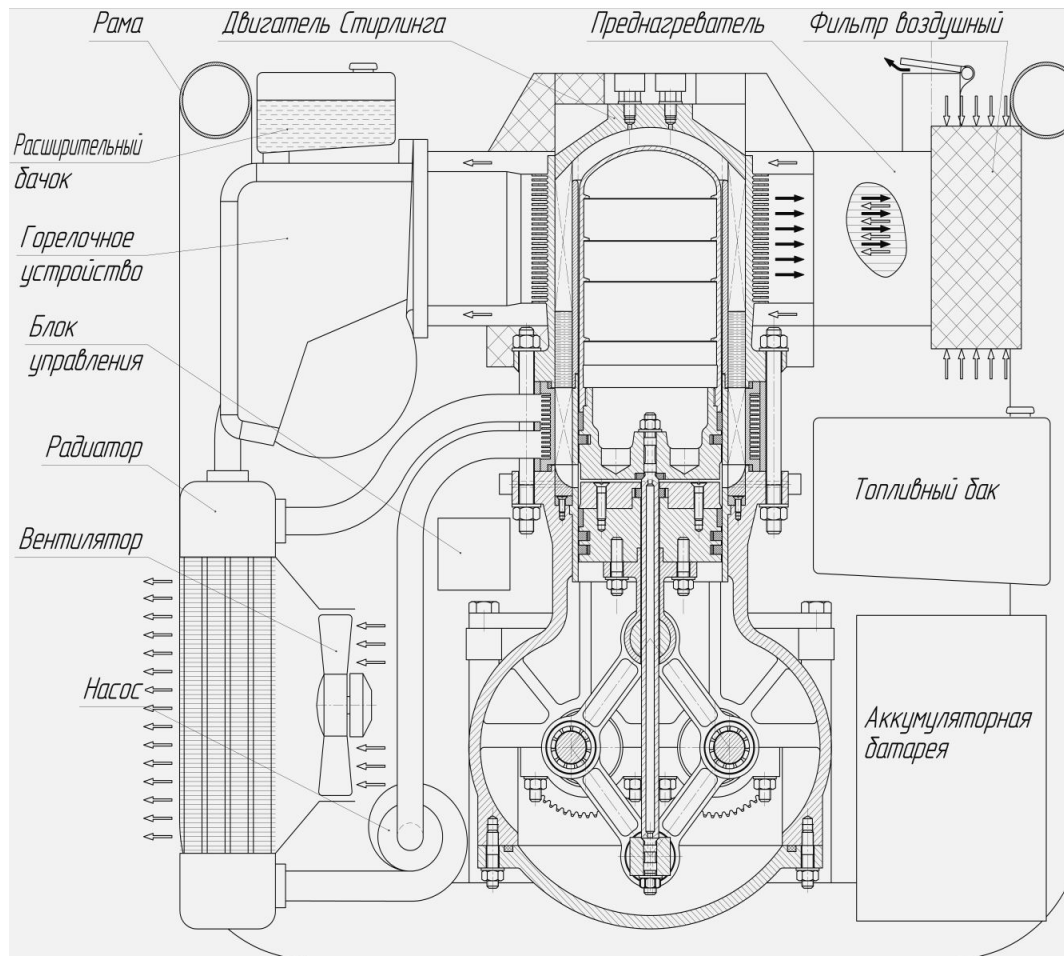
Многотопливный Стирлинг-генератор фирмы «Philips»



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 К и внутреннем давлении рабочего тела до 20 МПа .

Г. Разработка уплотнительных устройств для удержания гелия при давлении до 20 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.