

ДВИГАТЕЛИ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

*В.П. Бреусов, д. т. н., М.И. Куколев, д. т. н., С.Н. Вильдяева, А.Ю. Абакшин
ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»*

(Продолжение, начало в № 3, 4 2009 г.)

Развитие основных конструктивных схем двигателей с внешним подводом теплоты представлено на рис. 1.

В США, Японии, Новой Зеландии, Австралии и Западной Европе к проектированию и созданию энергоустановок с двигателями Стирлинга весьма активно приступили около 30 лет назад.

Разработки двигателей Стирлинга фирмой «Ford» (США) сосредоточены в основном на создании автомобильного двигателя как одного из вариантов замены двигателя внутреннего сгорания для легкового автомобиля. Предусматривается использование двигателей Стирлинга взамен дизелей для военных грузовых машин, автобусов, тракторов, судов и т. п.

В настоящее время для транспортных систем разрабатываются двигатели как одноцилиндровые, так и многоцилиндровые с ромбическим и кривошипно-шатунным приводами (двигатели вытеснительного типа). Созданы многоцилиндровые двигатели двойного действия — рядные и с приводом от наклонной шайбы мощностью до 1000 кВт.

Более 25 различных японских организаций, включая ведущие промышленные фирмы «Mitsubishi Heavy Industries» и «Nissan Motor», также занимаются разработкой двигателей Стирлинга. Целью основных проектов является создание судового двигателя мощностью 600 кВт и теплового насоса мощностью 7 кВт. Кроме работ по созданию конструкций опытных двигателей, в Японии проводятся весьма широкомасштабные теоретические и технико-экономические исследования, направленные на развитие ДВПТ.

С 1980 г. Англия проводит многоплановые работы в области проектирования и создания двигателей Стирлинга различной мощности. Все работы финансируются министерством промышленности.

Несколько ведущих фирм Германии, производящих дизельные двигатели, в частности MAN и MWK, объединились для производства мощных двигателей Стирлинга по лицензиям фирмы «Philips».

В частности, фирма «Solo» разработала конструкцию и выполнила цикл натурных испытаний двигателя Стирлинга типа V-2. Двигатель предназначался, в первую очередь, для примене-

ния в системе СНР (совместное получение электрической и тепловой энергии). В качестве источника для работы двигателя используется природный газ. В процессе доводки и испытаний данного изделия были достигнуты значения электрической мощности 9,5 и тепловой мощности 26 кВт. С 2003 г. система выработки тепла и электроэнергии на базе двигателя Стирлинга производится серийно и пользуется громадным спросом как в самой Германии, так и за рубежом. Фирма «Solo» производит также и модификацию этой системы для использования биотоплива и солнечной энергии вместо природного газа. В настоящее время разработана более совершенная технология сжигания топлива. В систему введен рекуператор, с помощью которого снижены потери теплоты и весьма повышен общий КПД установки. Модифицированная установка Стирлинга прошла все виды испытаний, предусмотренных европейской системой сертификации (рис. 2).

В 1968 г. шведские фирмы «Kockums A.B.» и «Forenade Fabrikverken» (FFV) объединили свои усилия в области разработки и применения двигателей Стирлинга, создав компанию «United Stirling AB» (USAB), которая вела разработку ряда двигателей Стирлинга для автомобилей, подводных лодок и преобразователей солнечной энергии. В 1988 г. эта фирма в качестве технического отдела компании «Kockums» была передана департаменту судостроения Швеции. Основным направлением работ этого отдела было создание двигателей для подводных лодок, не требующих подачи в камеру сгорания воздуха в процессе его работы под водой. В настоящее время шведские подводные лодки снабжены системой Air Independent Propulsion (AIP), разработанной на базе двигателя Стирлинга (рис. 3).

Теплота, выделяющаяся в системе AIP при горении реагирующих компонентов, преобразуется в конверторе (двигателе Стирлинга) в механическую энергию, расходуемую с помощью генератора и электрического мотора на вращение гребного вала. В качестве реагирующих компонентов для получения первичной теплоты используют кислород (хранящийся в жидком состоянии) и обычное дизельное топливо. Давление в системе AIP достаточно велико для выпуска отработавших газов за борт лодки.

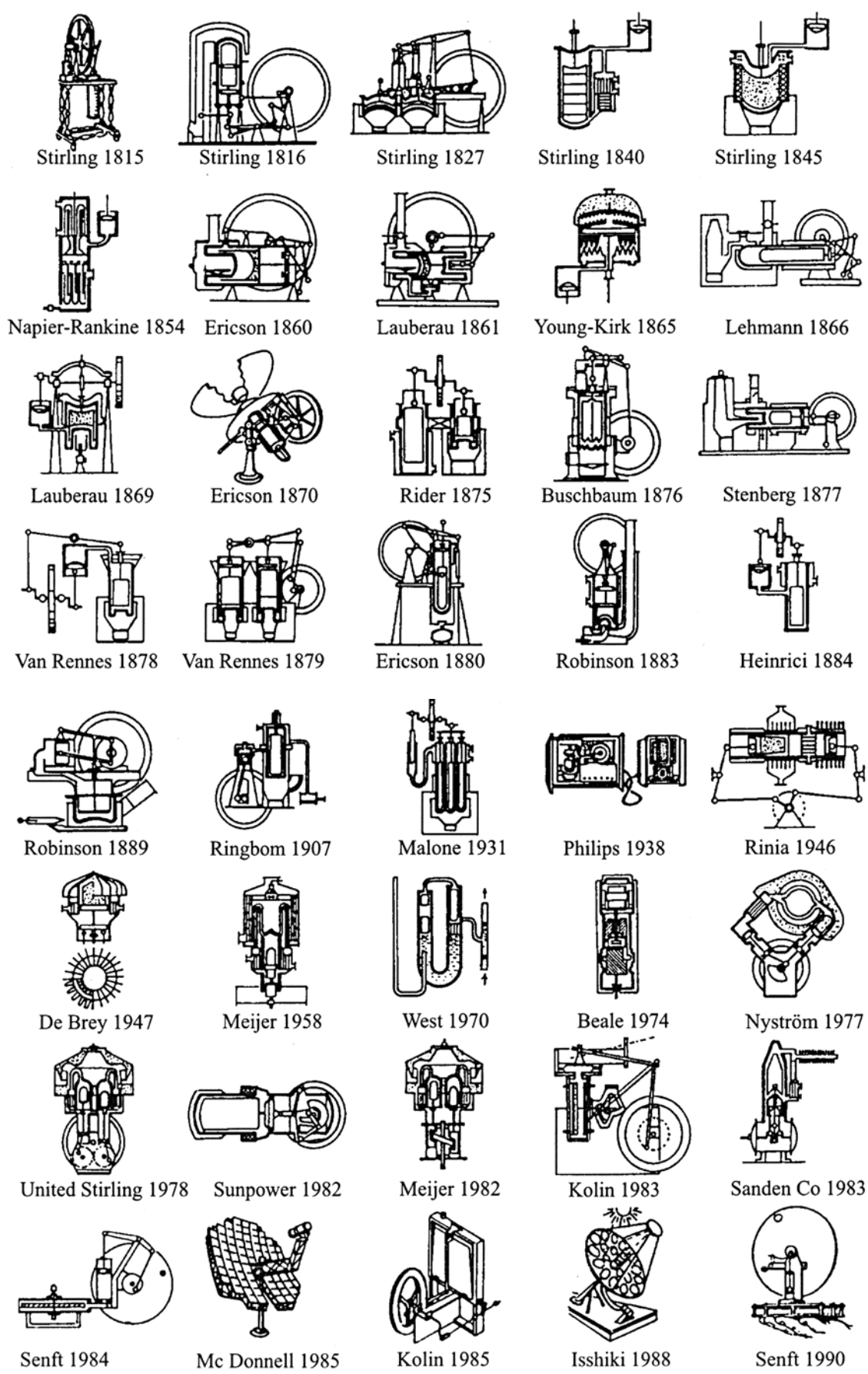


Рис. 1. Развитие основных конструктивных схем двигателей с внешним подводом теплоты

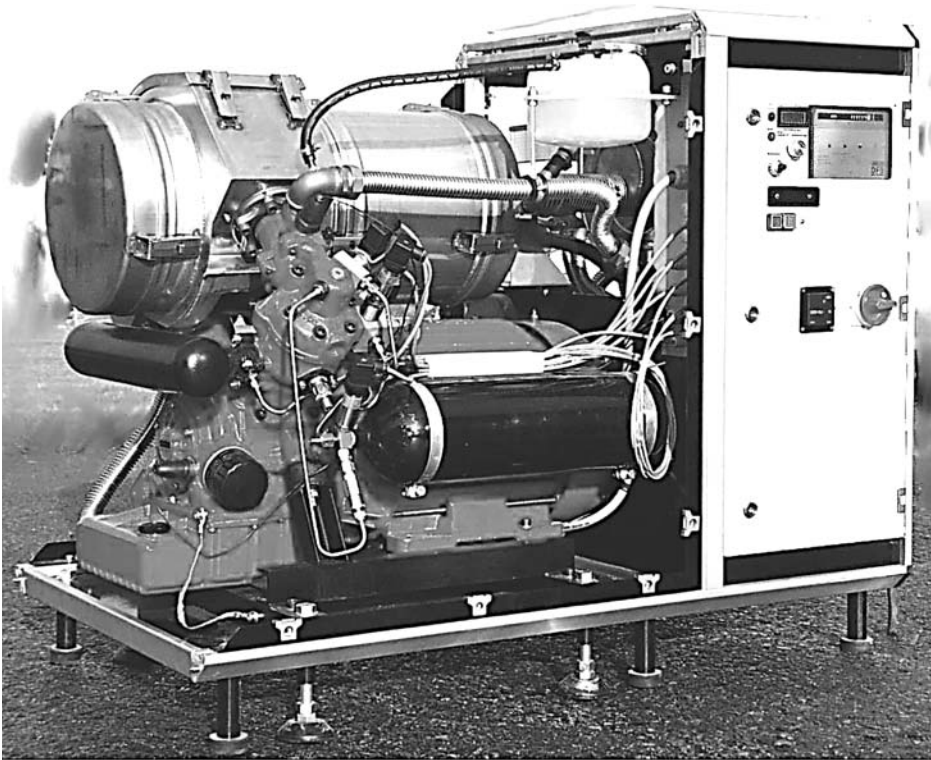


Рис. 2. Когенерационная установка на базе двигателя Стирлинга фирмы «Solo»

Повышенная живучесть элементов системы АИР определяется, главным образом, низкой и средней подводной крейсерской скоростью подводной лодки, силовая установка которой состоит из следующих элементов:

- двигателя Стирлинга, способного длительное время работать под водой в непрерывном режиме, поддерживая низкую крейсерскую скорость подводной лодки, затрудняющую ее обнаружение противником;
- мощной батарее электроаккумуляторов, обеспечивающей, при необходимости, высокую скорость подводной лодки в погруженном состоянии;
- мощного дизельного двигателя для зарядки батареи аккумуляторов и обеспечения высокой скорости подводной лодки в надводном положении.

На подводной лодке смонтирован и испытан четырехцилиндровый двигатель Стирлинга типа U4-275R. Рабочий объем цилиндра составляет 275 см³, выходная номинальная мощность — 74 кВт.

Из соображений безопасности контур двигателя Стирлинга заполнен гелием, а не водородом, более эффективным, но взрывоопасным. При скорости вращения вала 2000 об/мин КПД установки достигает 30 % при использовании гелия в качестве рабочего газа в натуральных условиях и 41 % при использовании водорода в лабораторных условиях.

В процессе испытаний было установлено, что вибрация коленчатого вала двигателя U4-275R имеет переменную составляющую синусоидального характера, частота которой в 4 раза больше, чем частота вращения вала.

Таким образом, двигатель U4-275R отличается низкими значениями вибрации и уровня шума, что чрезвычайно важно для двигателя, используемого на подводной лодке.

В настоящее время изготовлено более 30 двигателей Стирлинга этого типа для дальнейших исследований. В последнее время в системах АИР начато применение двигателя Стирлинга третьего поколения V4-275R Mk3, являющегося модификацией двигателя V4-275R.

В плане дальнейшего совершенствования системы АИР и двигателей Стирлинга начата разработка двигателя четвертого поколения Mk4, в котором каждый цилиндр имеет индивидуальную систему, обеспечивающую горение топлива. Ведется также работа по созданию двигателей Стирлинга с пятью цилиндрами и еще более мощного двигателя с десятью цилиндрами типа V10.

Поскольку работа двигателя Стирлинга мало зависит от типа топлива или источника теплоты, следует ожидать, что он может быть использован в весьма разнообразных условиях.

Двигатели U4-95 мощностью 25 кВт, а также U4-275 мощностью 75 кВт нашли применение на гражданских объектах, в первую очередь в преобразователях солнечной энергии и в устройствах, вырабатывающих теплоту и



Рис. 3. Двигатель Стирлинга фирмы «Kockums» (Швеция) для подводных лодок

электрическую энергию (СНР), использующих в качестве топлива био- и природный газ. В солнечных полупустынях и пустынях, рассеянных по всему миру, большое количество энергии можно получить, используя Solar Dish Stirling System (SES) (рис. 4).

Большие возможности по внедрению системы на базе двигателя Стирлинга имеются в тяжелой промышленности, где агрегаты, работающие при высокой температуре, теряют безвозвратно огромное количество теплоты.

Одним из наиболее перспективных направлений развития холодильной техники в XXI веке является создание и применение холодильных машин Стирлинга умеренного холода. Теоретически эффективность этих машин равна эффективности идеальной холодильной машины, работающей по циклу Карно.

В качестве рабочих тел для машины Стирлинга обратного цикла могут применяться вещества, полностью соответствующие требованиям Венской конвенции по охране озонового слоя и Монреальского протокола по озоноразрушающим веществам. Современный диапазон производства машин этого типа составляет от 1 до 100 кВт, что обеспечивает возможность их использования в системах холодоснабжения во многих отраслях промышленности и торговли.

В промышленно развитых странах в последние 10 лет начались интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по подготовке к серийному производству холодильных машин Стирлинга.

Ярким примером перспектив применения холодильных машин Стирлинга может служить опыт таких холодильных гигантов, как южнокорейская корпорация «LG-Electronics Inc» и американская фирма «Infina Corporation», которые приступили к широкому выпуску этих машин с начала 2005 г.

Приходится с сожалением констатировать тот факт, что российская промышленность, а тем более частные российские предприниматели и потребители до сих пор мало знакомы с возможностями разнообразных применений двигателей с внешним подводом теплоты.

За свою почти 200-летнюю историю развития двигатель Стирлинга непрерывно совершенствовался и сегодня постепенно начинает занимать подходящее ему место среди других двигателей. Этому способствуют появление новых конструкционных материалов, методов расчета,

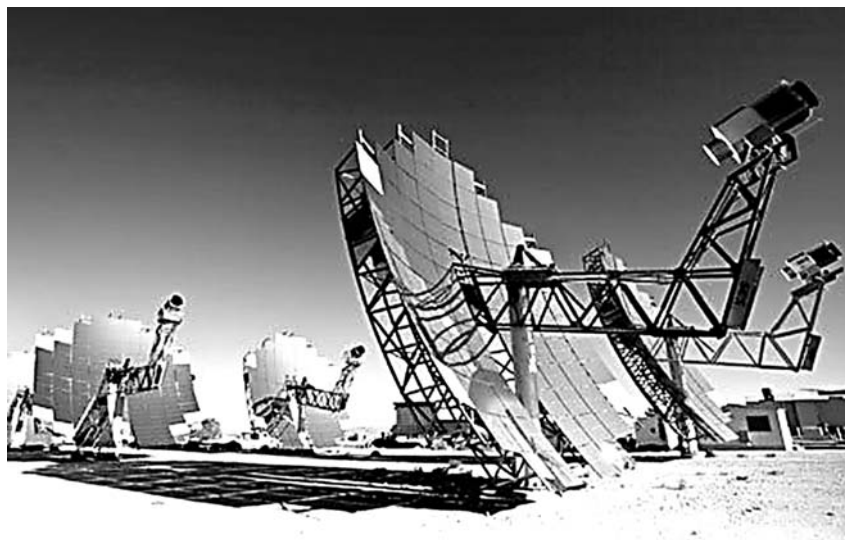


Рис. 4. Солнечные тепловые энергоустановки с двигателями Стирлинга

технологий и областей применения. Пройдя путь от громоздких конструкций, использующих воздух в «открытом» цикле, до сравнительно компактных с гелием или водородом в качестве рабочего тела «замкнутого» цикла двигатели Стирлинга не уступают по своим массогабаритным характеристикам дизелям.

В ближайшие годы следует ожидать появления новых конструкций как непосредственно двигателей, так и высокоэффективных холодильных машин.

Анализ существующих образцов двигателей и известных проектов позволяет сделать вывод о том, что для качественного улучшения конструкций предстоит изменить подходы к проектированию нагревателей, регенераторов и охладителей. Так, к примеру, видимо станут применяться регенераторы с фазопереходным материалом.

Отечественный опыт, накопленный специалистами ЦНИДИ (Санкт-Петербург), МВТУ им. Н. Э. Баумана (Москва), МАИ (Москва), ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова (Санкт-Петербург), другими организациями и отдельными энтузиастами, позволяет надеяться, что в обозримом будущем появятся серийные двигатели Стирлинга различной мощности, конструктивного исполнения и назначения, способные решить насущные задачи современности на земле, под водой и в космосе.

Литература

1. Рудер Г., Хунер Ч. Двигатели Стирлинга. — М.: Мир, 1986. — 464 с.
2. Werdich M., Kubler K. Stirling-Maschinen. — Staufen bei Freiburg : Okobuch, 2003. — 176 p.
3. Бреусов В. П. Двигатель внешнего подвода тепла — Стирлинг (вчера, сегодня, завтра). — СПб.: Нестор, 2007. — 156 с.