

УДК 621.43

В.А. РОМАНОВ<sup>1</sup>, В.С. КУКИС<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГУП «15 центральный авторемонтный завод» Министерства обороны РФ<sup>2</sup>Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище (военный институт), Россия

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ «ОТБРОСНОЙ» ТЕПЛОТЫ СИЛОВЫХ И ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

*Рассмотрены примеры использования утилизационной стирлинг-электрической установки для утилизации теплоты газов, уходящих из каталитического нейтрализатора, установленного в выпускной системе дизеля и продуктов сгорания отопительно-вентиляционной установки ОВ-65Б. Показано, что утилизация теплоты газов, уходящих из каталитического нейтрализатора позволяет повысить эксплуатационную мощность дизеля на 4,3%, а совмещение установки ОВ-65Б с утилизатором обеспечивает возможность ее работы без использования внешних источников электрической энергии.*

**Ключевые слова:** двигатель Стирлинга, утилизационная стирлинг-электрическая установка, каталитический нейтрализатор, отопитель.

### Введение

Силовые и теплогенерирующие установки, используемые на объектах мобильной техники, выполняя свои функции, используют лишь 35 – 55% термохимической энергии топлива. Остальная теплота, выделившаяся при сгорании топлива, «теряется» либо с поверхности этих установок и их систем, либо с отработавшими газами (ОГ) у первых или уходящими газами (УГ) у вторых.

Значительная часть «потерь» приходится именно на ОГ (УГ). Так, в дизелях они составляют 85 – 110% по отношению к эффективной мощности, в двигателях с принудительным воспламенением топлива превосходят ее на 25 – 45% [1 и др.]. У современных теплогенерирующих установок (подогревателей и отопителей) «потери» с УГ составляют от 30 до 50% теплоты, выделившейся при сгорании топлива [2].

Приведенные цифры свидетельствуют о весьма неэффективном расходовании сжигаемого в обсуждаемых установках топлива и больших потенциальных резервах энергии, выбрасываемой с отработавшими и уходящими газами.

Кроме сказанного следует иметь в виду, что работа ДВС существенно ухудшает экологическое состояние окружающей среды. Наиболее целесообразным и достаточно эффективным способом снижения токсичных выбросов уже находящихся в эксплуатации ДВС является применение каталитических нейтрализаторов (КН). Однако использование

КН в системе выпуска ОГ приводит к заметному (в 1,2 – 1,4 раза) повышению температуры этих газов, что вредно для атмосферы Земли. При этом заметно повышается термический потенциал ОГ после их прохождения их через КН.

Используя утилизационную систему, помещенную на выходе из КН, можно вырабатывать большее количество механической (электрической) энергии, чем при утилизации теплоты ОГ, выходящих непосредственно из цилиндра двигателя. Эта энергия может быть суммирована с мощностью, вырабатываемой поршневым ДВС, либо использована для привода вспомогательных агрегатов, в том числе для подачи дополнительного атмосферного воздуха в КН.

В статье рассматриваются два примера использования «теряемой» энергии: с отработавшими газами, выбрасываемыми из КН, установленного в выпускной системе поршневого ДВС и с уходящими газами теплогенерирующих установок.

### 1. Экспериментальная часть

В качестве утилизатора энергии, «теряемой» с ОГ и УГ была использована созданная с участием одного из авторов стирлинг-электрическая установка (СЭУ) на базе двигателя ДС 5,5/2 (рис. 1).

На рис. 2 показан КН, совмещенная с СЭУ.

На рис. 3 и 4, соответственно, представлены: схема отопителя ОВ-65Б, совмещенного с СЭУ и

внешний вид экспериментальной установки.

В обоих случаях головка двигателя Стирлинга располагалась в теплоаккумулирующем веществе (гидроксиде лития) с температурой плавления, рав-

ной 744 К, масса которого подбиралась так, чтобы независимо от режима работы поршневого ДВС или отопителя, чтобы теплоаккумулирующее вещество всегда находилось в состоянии фазового перехода..

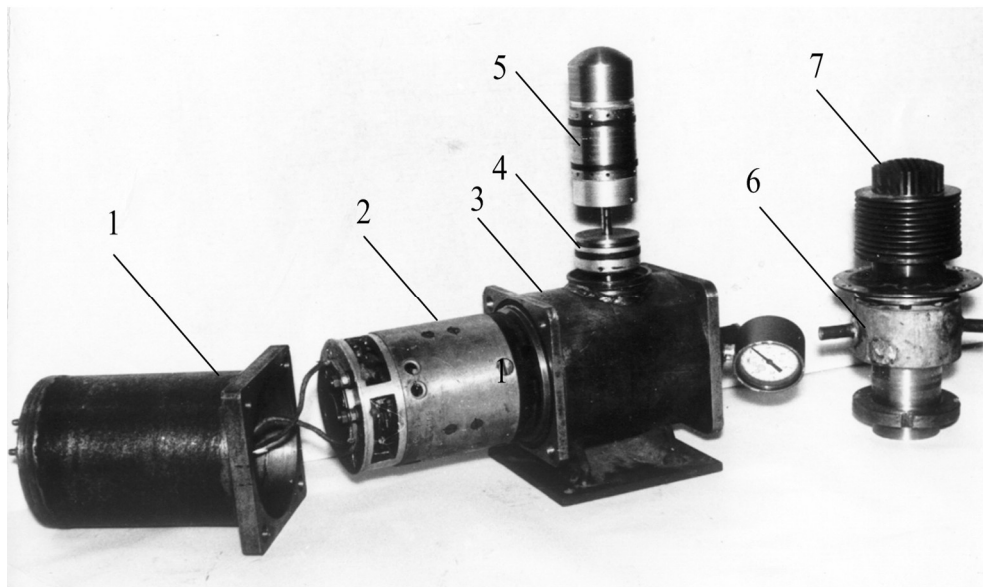


Рис. 1. Утилизационная стирлинг-электрическая установка с двигателем ДС 5,5/2,1 со снятыми цилиндром двигателя Стирлинга и корпусом электрического генератора:

- 1 – корпус генератора; 2 – электрический генератор; 3 – картер двигателя Стирлинга;
- 4 – рабочий поршень; 5 – вытеснитель; рубашка охлаждения; 7 – головка

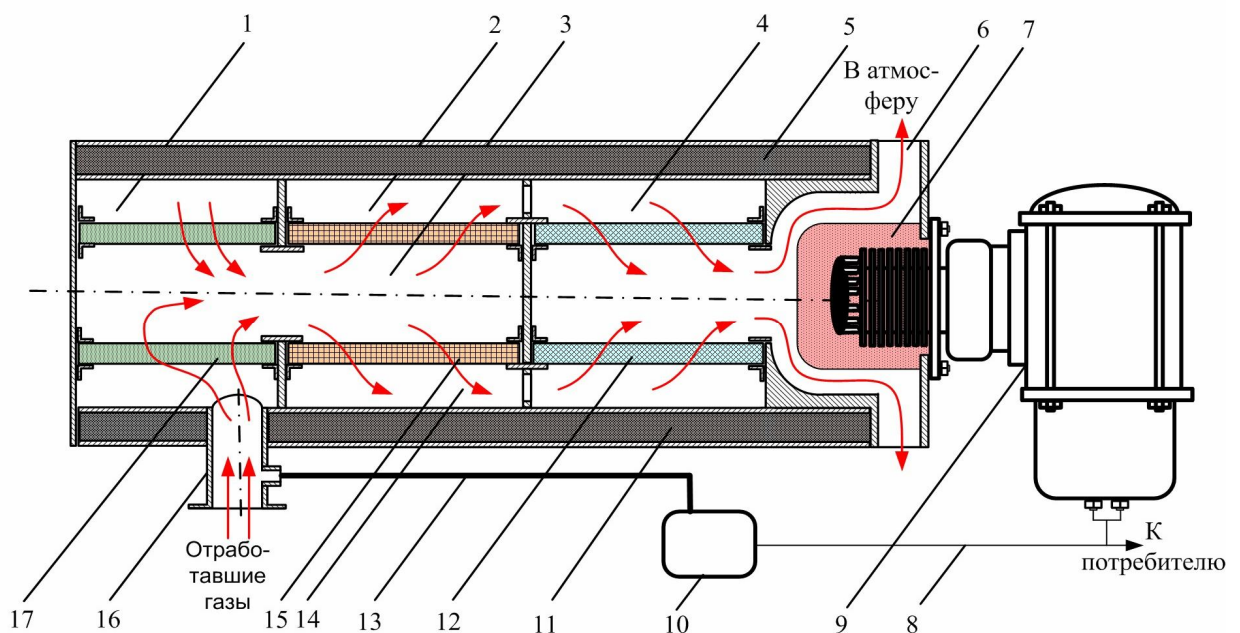


Рис. 2. Каталитический нейтрализатор, совмещенный с утилизационной стирлинг-электрической установкой, и подачей воздуха в патрубок входа отработавших газов:

- 1 – полость перед сажевым фильтром; 2, 14 – наружная полость окислительного блока; 3 – внутренняя полость окислительного блока; 4 – наружная полость восстановительного блока; 5, 11 – теплоизоляция;
- 6 – отверстие для выхода отработавших газов; 7 – теплоаккумулирующее вещество; 8 – электрический провод; 9 – утилизационная стирлинг-электрическая установка; 10 – нагнетатель воздуха с электродвигателем; 12 – восстановительный блок; 13 – воздухопровод; 15 – окислительный блок;
- 16 – патрубок входа отработавших газов; 17 – сажевый фильтр

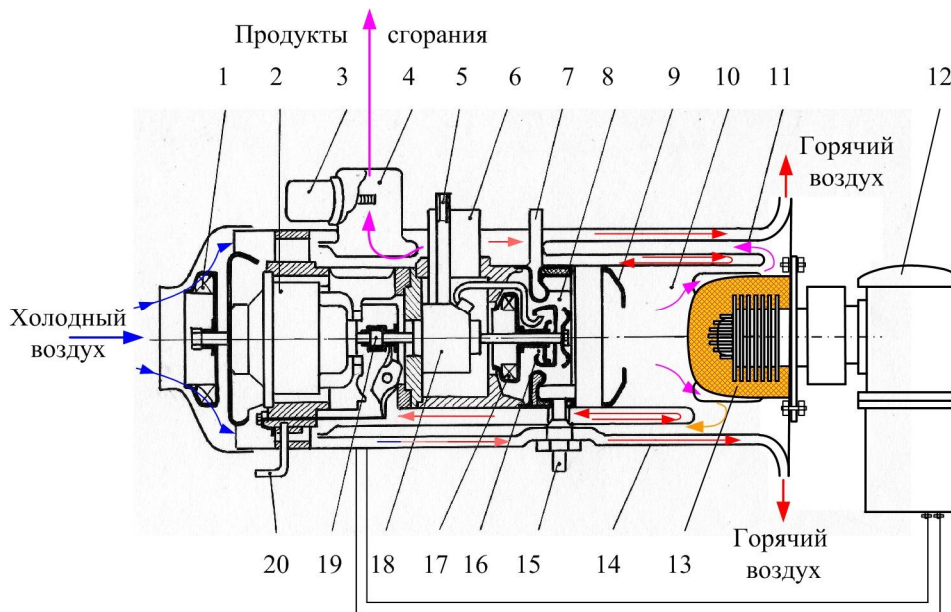


Рис. 3. Отопитель ОВ-65Б, совмещенный со стирлинг-электрической установкой на базе двигателя ДС 5,5/2,1:

- 1 – крыльчатка вентилятора подачи воздуха для нагрева; 2 – электродвигатель; 3 – датчик сигнализации горения; 4 – патрубок выхода продуктов сгорания; 5 – дренажная трубка; 6 – патрубок для подачи воздуха в камеру сгорания; 7 – трубка для подачи топлива; 8 – камера сгорания; 9 – диффузор;
- 10 – камера догорания; 11 – рекуперативный теплообменник; 12 – стирлинг-электрическая установка;
- 13 – стабилизатор; 14 – металлический кожух; 15 – свеча накаливания; 16 – распылитель;
- 17 – нагнетатель воздуха для горения; 18 – топливный насос;
- 19 – фрикционная муфта; 20 – рычаг управления фрикционной муфтой

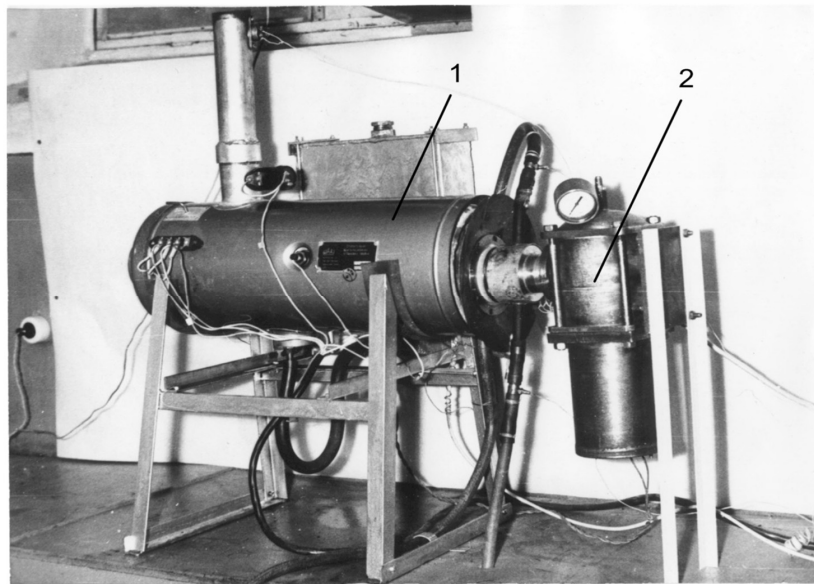


Рис. 4. Внешний вид экспериментальной установки:  
1 – отопитель ОВ-65Б; 2 – стирлинг-электрическая установка

Это обеспечивало постоянную температуру головки двигателя Стирлинга и, соответственно, постоянную частоту вращения ротора электрического генератора. При проведении эксперимента по утилизации теплоты ОГ поршневого ДВС был использован трехсекционный КН с пористыми блочными

носителями катализатора, полученными с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Первая секция КН представляет собой сажевый фильтр, вторая – окислительный блок, третья – восстановительный блок

Каталитический нейтрализатор был установлен

в выпускной системе дизеля КамАЗ-740.

Методика проведения экспериментального исследования была составлена в соответствии с задачами, решению которых посвящена настоящая работа, и включала четыре этапа.

На первом проводилась оценка энергетических характеристик ОГ, мощностных, экономических и экологических показателей дизеля КамАЗ-740 в штатной комплектации. Определение всех параметров осуществлялось с учетом распределения нагрузок дизеля КамАЗ-740 автомобиля КамАЗ-5404 при движении автомобиля в городе и по шоссе (рис. 5) [3].

На втором этапе была исследована работа силовой установки, включающей двигатель КамАЗ-740 и СЭУ, утилизирующей теплоту ОГ дизеля.

На третьем этапе выпускная система двигателя оборудовалась КН в штатном исполнении и утилизатором теплоты уходящих из него газов. В процессе выполнения второго и третьего этапов определились мощностные, экономические, экологические показатели силовой установки и энергетические характеристики уходящих газов в последней секции КН на тех же режимах, что и во время проведения первого этапа экспериментов.

При выполнении работы, посвященной утилизации теплоты УГ теплогенерирующей установки была использована достаточно распространенная отопительно-вентиляционная установка ОВ-65Б.

В процессе испытаний была выполнена оценка возможности обеспечения электрической энергией

установки ОВ-65Б, т.е. возможности обеспечения ее электрической автономности, и определение энергетического баланса всей системы на двух режимах работы отопителя - полном и частичном

## 2. Анализ полученных результатов

Проведенные измерения и расчеты показали следующее.

При работе дизеля КамАЗ-740 с учетом распределения нагрузок при движении автомобиля в городе и по шоссе его средняя эффективная мощность ( $N_e^{эксп}$ ) составляет 110,6 кВт. Отработавшие газы двигателя обладают значительным энергетическим потенциалом (89 кВт).

Установка в выпускную систему дизеля КН и особенно добавление в нейтрализатор воздуха существенно повышает количество теплоты, теряемой с ОГ - оно превышает  $N_e^{эксп}$  на 4,3 %.

На рис. 5 показаны результаты оценки эффективной мощности, часового и удельного эффективного расходов топлива при соответствующих вариантах работы дизеля КамАЗ-740. Отметим, что приведенные результаты получены приведением экспериментальных данных к ситуации, в которой СЭГ мог бы преобразовывать в работу все энергию, содержащуюся в ОГ дизеля. Реальный же образец СЭГ не имел возможности это сделать в виду своих конструктивных особенностей.

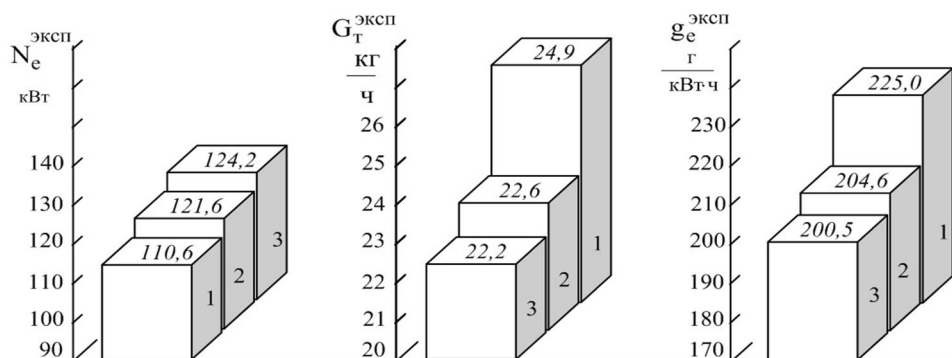


Рис. 5. Эффективная мощность, часовой и удельный эффективный расходы топлива при работе дизеля КамАЗ-740 с учетом распределения нагрузок при движении автомобиля в городе и по шоссе:

- 1 – в штатной комплектации; 2 – с утилизационной стирлинг-электрической установкой;
- 3 – с каталитическим нейтрализатором и утилизационной стирлинг-электрической установкой

Как видно, утилизация теплоты ОГ дизеля обеспечивает увеличение средней эксплуатационной мощности на 11 кВт (на 9,9%), а установка КН с утилизационной стирлинг-электрической установкой – еще на 2,6 кВт (на 2,3%). При этом в итоге на 24,5 г/(кВт·ч) снижается удельный эффективный расход топлива, а часовая его экономия достигает 2,7 кг.

Результаты испытаний созданной авторами экспериментальной установки, включавшей ОВ-65-Б и утилизационную СЭУ, подтвердили возможность обеспечения длительной работы отопителя (длительность работы ограничивается только наличием в нем топлива), без использования внешних источников электрической энергии после выхода установки на нормальный режим работы, и позволяет питать

бортовые электропотребители. Тепловая производительность отопителя ОВ-65Б при автономном в отношении внешних источников электрической энергии функционировании в составе изученной технической системы снижается на 4,2% при работе на полном и на 4,8% – при работе на частичном режимах (что, однако, не выходит за границы паспортной тепловой производительности отопителя).

### Заключение

Проведенная оценка утилизации «бросовой» теплоты, теряемой с отработавшими газами силовых и уходящими газами теплогенерирующих установок, показала следующее:

1. Использование для утилизации стирлинг-электрических установок является целесообразным.
2. Утилизацию теплоты отработавших газов поршневых ДВС целесообразно осуществлять с использованием каталитического нейтрализатора.

3. Утилизационная стирлинг-электрическая установка в составе отопителя ОВ-65-Б обеспечивает его полную электрическую автономность и позволяет питать бортовые электропотребители.

### Литература

1. *Автотранспортные потоки и окружающая среда: учеб. пособ. для вузов / Под ред. В.Н. Луканина.* – М.: ИНФРА - М, 1998. – 408 с.
2. Романов В.А. *Совершенствование тепловых генераторов транспортной техники / В.А. Романов // Материалы Международная научно-техническая конференция «Проблемы эксплуатации и обслуживания технологических машин».* – Тюмень, 2009. – С. 61-65.
2. Парсаданов И.В. *Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов.* – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. –244 с.

*Поступила в редакцию 11.05.2009*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.А. Лазарев, Южно-Уральский госуниверситет, Челябинск, Россия.

### ВИКОРИСТАННЯ ДВИГУНА СТИРЛІНГА ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ «ВІДКИДНОЇ» ТЕПЛОТИ ПОТУЖНИХ І ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК

*В.А. Романов, В.С. Кукіс*

Розглянуті приклади використання утилізаційної стирлінг-електричної установки для утилізації теплоти газів, які виходять з каталітичного нейтралізатора, встановленого у випускній системі дизеля та продуктів згоряння опалювально-вентиляційної установки ОВ-65Б. Наведено, що утилізація теплоти газів, які виходять з каталітичного нейтралізатора дозволяє збільшити експлуатаційну потужність дизеля на 4,3%, а з'єднання установки ОВ-65Б з утилізатором забезпечує можливість її роботи без використання зовнішніх джерел електричної енергії.

**Ключові слова:** двигун Стірлінга, утилізаційна стирлінг-електрична установка, каталітичний нейтралізатор, опалювач.

### USE OF A DRIVE STIRLING FOR A SALVAGE OF «DROSSY" HEAT FORCE AND INSTALLATIONS, GENERATING HEAT

*V.A. Romaov, V.S. Kukisc*

The examples of usage of the stirling-electrical set for utilithing a heat of gases which are going around from catalytic neutralizing agent, diesel engine, established in an outlet system, and combustion products of a heating-ventilating plant "OV-65B" are reviewed. Is rotined, that the utilithing of a gases heat which are going around from catalytic neutralizing agent allows to increase a service power of a diesel engine on 4,3 %, and the combining of the installation "OV-65B" with utilither provides a capability of its activity without usage of external sources of electrical energy.

**Key words:** a drive Stirling, utilization stirling -electrical installation, catalytic neutralizer, heater.

**Романов Виктор Анатольевич** – кандидат технических наук, директор Федерального государственного унитарного предприятия «15 центральный авторемонтный завод» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, e-mail: info@carz15.ru.

**Кукис Владимир Самойлович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры двигателей Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище (военный институт), Россия. e-mail: idem37@mail.ru.