

УДК 669, 623.827

## РАЗРАБОТКА ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОМЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО БЕЗГАЗОВОГО ТОПЛИВА

**Чернышов Е.А., Романов А.Д., Романова Е.А.**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,  
Нижний Новгород, e-mail: nil\_st@nntu.nnov.ru*

В статье описывается разработка установки воздухонезависимой энергетической установки на основе высокометаллизированного безгазового топлива предназначенной для оснащения малых неатомных подводных лодок и других подводных объектов.

**Ключевые слова:** подводная лодка, анаэробная, воздухонезависимая энергетическая установка, металл, топливо, окислитель, высокометаллизированное топливо, алюминий, оксид алюминия

## DEVELOPMENT OF AIRINDEPENDENT POWER INSTALLATION ON THE BASIS OF THE HIGH-METALLIZED GAS-FREE FUEL

**Chernyshov E.A., Romanov A.D., Romanova E.A.**

*The Nizhny Novgorod state technical university of R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, nil\_st@nntu.nnov.ru*

In article development of installation of airindependent power installation on the basis of the high-metallized gas-free fuel intended for equipment of small not nuclear submarines and other underwater objects is described.

**Keywords:** the submarine, anaerobic, airindependent power installation, metal, fuel, the oxidizer, the high-metallized fuel, aluminum, aluminum oxide

Энергетическая установка неатомной подводной лодки (ПЛ) представляет собой тяжелую, до 30% массы, и объемную, до 50% от водоизмещения, конструкцию. Однако, классическая дизель-электрическая установка работает не эффективно, в подводном положении не используется дизельная установка и запас углеводородного топлива, в надводном, если не реализован режим полного электродвижения – становятся «не нужными» аккумуляторные батареи. Поэтому с момента первого появления подводных лодок предлагались различные типы «единых двигателей» [1]. В настоящее время разрабатываются и внедряются воздухонезависимые энергоустановки (ВНЭУ) на основе электрохимических генераторов, паротурбиной установки замкнутого цикла, двигателя с внешним подводом тепла, двигателей внутреннего сгорания по замкнутому циклу [2, 3].

Жидкое углеводородное топливо имеет ряд преимуществ: по хранению, транспортировке топлива, применение топливно-балластных цистерн и возможность дозаправки в море значительно увеличивают возможный радиус действия, использование в качестве окислителя атмосферного воздуха в режиме «работа двигателей под водой» (РДП). Немецкая ThyssenKrupp Marine Systems, Российская ЦКБ Рубин, Индийская Naval Materials Research Laboratory и др. разрабатывают ВНЭУ на основе электрохимического генератора, с получением водорода непосредственно на борту

подводной лодки с помощью риформинга жидкого углеводородного топлива. Преимущество создаваемой установки: водород не хранится на борту, производится в объеме использования, что делает установку более безопасной; для производства водорода используется традиционное жидкое топливо; нет необходимости создавать специальную береговую инфраструктуру для производства и хранения запаса водорода; низкий уровень шумности; высокий КПД. Однако это требует дополнительные системы по утилизации CO<sub>2</sub> на борту ПЛ.

Также в мире идут разработки по созданию ВНЭУ на основе высокометаллизированного топлива. Так в работе [2, с 112] указывается что ВНЭУ на основе безгазового топлива может быть размещена в габаритах отсека существующих ПЛ, причем сравнительные оценки показали превосходство над базовым вариантом дизельной ПЛ. Однако, практическое внедрение прошли только малые энергоустановки, например в Advanced Lightweight Torpedo.

Наибольшее выделение тепла, не считая кислорода, наблюдается при соединении металлов с фтором или хлором. Такие металлы, как магний или алюминий, при соединении с фтором выделяют больше тепла, чем при соединении с кислородом. Другой тип окислителей, применяемых в разрабатываемых ВНЭУ, на основе высокометаллизированного топлива – это оксиды малоактивных металлов. Реакции вытеснения их более активными металлами (стоящими

выше в ряду напряжений) протекают с выделением значительного количества тепла. Следует отметить, что интерес представляет не общее количество кислорода, содержащееся в окислителе, а то его количество, которое расходуется на окисление горючего. Существуют проекты с различными вариантами топлива и окислителя:  $Mg + CO_2$ ,  $Al + CrO_3/S/Fe_2O_3$ ,  $Li + CrO_3$ ,  $Li + SF_6$ , причем топливо и окислитель могут находиться как в твердом, так и в жидком / газообразном состоянии [4]. Однако, кислород – это

универсальный окислитель, он применяется практически для всех энергетических установок на основе тепловых двигателей. Это связано с относительной простотой его получения, из воздуха, и отработанностью систем его хранения.

Наибольшее количество тепла при сгорании выделяют следующие простые вещества (элементы): металлы – литий, бериллий, магний, кальций, алюминий, титан и цирконий; неметаллы – водород, бор, углерод, кремний и фосфор.

Таблица 1

Физико-химические свойства горючих и их оксидов [5, 6]

Элемент	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Оксид	Количество топлива в г, сгорающего за счет 1 г кислорода	Теплота образования, на моль оксида Q, ккал
Li	0,5	Li <sub>2</sub> O	0,87	143
Be	1,8	BeO	0,56	142
Mg	1,7	MgO	1,52	144
Al	2,7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,12	400
Ca	1,5	CaO	2,5	152
Ti	4,5	TiO <sub>2</sub>	1,5	224
Zr	6,5	ZrO <sub>2</sub>	2,84	260
H	0,07 (жид)	H <sub>2</sub> O	0,12	68,4
C	2,2	CO <sub>2</sub>	0,38	94
B	2,3	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45	302
Si	2,3	SiO <sub>2</sub>	0,88	208
P	2,2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,78	367

С практической точки зрения из указанных металлов лучшим по применению в качестве горючего является алюминий, поскольку он безопасен в обращении, имеется в большом количестве и имеет сравнительно небольшую стоимость. Срок хранения алюминия практически неограничен, и его запасы на борту, по сравнению с углеводородными горючими, являются более компактными (плотность алюминия – 2,7 г/см<sup>3</sup>; плотность углеводородных горючих – менее 0,8 г/см<sup>3</sup>). Особый интерес представляет реакция окисления алюминия кислородом и/или водой, так как при этом выделяется значительное количество тепловой энергии. При окислении кислородом 1 кг алюминия выделяется около 30 МДж тепловой энергии, для полного сжигания 1 кг алюминия требуется почти вчетверо меньше кислорода, чем для 1 кг углеводородного топлива.

Одним из первых идею использования алюминия в качестве горючего еще в 1924 году предложил отечественный ученый Ф.А. Цандер. В 30 годы XX века М.А. Рудницкий предложил использовать на субмарине паротурбинную силовую установку, в которой вместо жидкого топлива предлагалось сжигать

алюминий в среде газообразного кислорода. Также была предложена энергетическая установка конструкции Иванова [7].

В настоящее время ФГУП РНЦ «Прикладная химия» совместно с ФГУП ЦКБ «Рубин» и ФГУП «Адмиралтейские Верфи» создана установка непрерывного получения водорода методом гидротермального окисления порошков алюминия. Расход, чистота и давление получаемого на установке водорода обеспечивают потребность электрохимического генератора работающего на водородном топливе [8].

Гидрореактивные двигатели используют в качестве окислителя и рабочего тела заборную морскую воду. В камере сгорания тепловая энергия, выделившаяся при сгорании топлива в парах воды, затрачивается на испарение воды. Смесь паров воды и продуктов сгорания топлива при истечении из сопла обеспечивает получение необходимой тяги. Также в СССР со второй половины 1950-х гг. в НИИ-24 проводились исследования по созданию активно-реактивных снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем. В этих снарядах в качестве окислителя применяли кислород.

Затем проверялось использование в качестве окислителя морской воды. НИИ прикладной химии для исследований отработал технологию и создал твердотопливные заряды на гидрореагирующем топливе. Это создало предпосылки к началу опытно-конструкторских работ, которые в конечном итоге привели к созданию скоростной подводной ракеты для подводных лодок «Шквал».

Практически все упомянутые выше установки используют топливо в гранулированном состоянии. Нами предложен вариант сжигания металлического топлива из монолитного состояния (отливка топливного элемента), что значительно снижает стоимость (отсутствие процесса грануляции), упрощает хранение и перезарядку, повышает удельную плотность топлива.

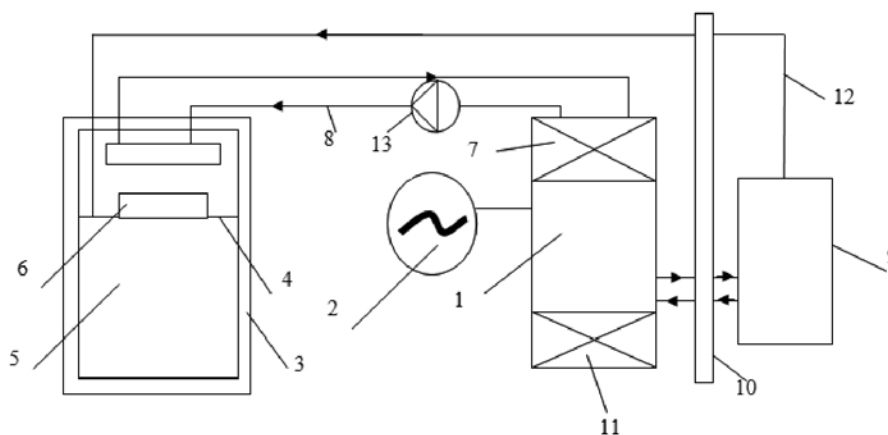


Рис. 1. Принципиальная схема разрабатываемой установки [9]

Установка содержит двигатель Стирлинга (1) и электрогенератор (2), связанный с двигателем, тепловой генератор (3), состоящим из реакционной камеры (4), камеры безгазового топлива (5) и воспламенительного устройства (6). Реакционная камера (4) теплового генератора связана с нагревателем (7) двигателя Стирлинга через замкнутый контур (8) с промежуточным теплоносителем, предназначенным для передачи тепла от сгоревшего топлива к нагревателю двигателя Стирлинга, в качестве топлива используется высокометаллизированное алюминосодержащее топливо. Установка снабжена блоком хранения окислителя (9), который через теплообменник (10) соединен с холодильником (11) двигателя Стирлинга. Подача окислителя в зону горения теплового генератора осуществляется по трубопроводу (12), проходящему через теплообменник (10). Кроме того имеется компрессор для обеспечения циркуляции теплоносителя (13).

В качестве окислителя – кислород. Это связано с его универсальностью (возможно применение как в топливном цикле, так и для жизнеобеспечения экипажа), доступностью (получение из воздуха), обработанностью технологий получения, хранения, заправки, мобильностью данных установок (часть смонтированы на автомобильном шасси и допускают переброску по воздуху).

Применение других окислителей в энергоустановках ограничено, кроме того установки по производству окислителя также могут быть уязвимы.

Отличие разрабатываемой установки также в применении новой камеры сгорания. Наиболее близкими являются компоновка американской противолодочной торпеды ALWT Mk.50 (Li + SF<sub>6</sub>) и разработанная ВМФ барботажная камера сгорания для сжигания магниевых смесей (Mg + CO<sub>2</sub>).

В нашем случае не топливо поступает в камеру сгорания (зону горения), а зона горения перемещается внутри топлива за счет разных скоростей горения фурменной зоны и топлива. При этом изменяя скорость подачи окислителя возможно регулировать тепловыделение и реакция может быть остановлена, что невозможно сделать в термитных установках. Преимущества получаются за счет того, что продукты сгорания находятся в твердом состоянии, те отсутствует система утилизации отработанных газов и обеспечивается скрытность применения.

### Заключение

Разработка ВНЭУ на основе высокометаллизированного безгазового топлива позволит создать ЭУ для малых ПЛ и других подводных объектов [10]. Прорабатываются 2 варианта установки: «Единый

модуль» – топливо, тепловой генератор, тепловой двигатель, окислитель находятся в едином необитаемом прочном корпусе, причем перезарядка и обслуживание происходит одновременно; «Мульти модуль» – тепловой двигатель и окислитель находятся в обитаемом прочном корпусе, а топливо и теплогенератор в отдельном необитаемом прочном корпусе, причем в данном варианте возможно применение в качестве теплогенератора установки для сжигания углеводородного топлива в режиме РДП. Это позволит использовать одну электрогенераторную установку, как в режиме РДП, так и в подводном положении.

#### Список литературы

1. Васильев В.А., Чернышов Е.А., Романов И.Д., Романова Е.А., Романов А.Д. История развития подводных лодок с воздухомезависимыми энергоустановками в России и СССР. // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2012. – № 4. – С. 192-202.
2. Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В.А. Корабельные воздухомезависимые энергетические установки. – СПб: Судостроение. 2006. 424 с.
3. Романов А.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А. Сравнительный обзор и оценка эффективности воздухомезависимых энергетических установок различных конструкций // Современные проблемы науки и образования. 2013. – № 6. – С. 67.
4. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Высокометаллизированное топливо на основе алюминия и его применение // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 24. – С. 69-73.
5. Ягодников Д.А. Воспламенение и горение порошкообразных металлов Москва Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана 2009 424 с.
6. Шидловский А.А. Основы пиротехники Москва «Машиностроение» 1973, 280 с.
7. Romanov E.A., Romanov A.D. History of development of submarines with airindependent power installations in Russia and the USSR // Последние тенденции в области науки и технологий управления. – 2013. Т. 1. – С. 171-181.
8. Дмитриев А.Л., Иконников В.К., Кириллов А.И., Рыжкин В.Ю., Ходак Е.А. Автономные комбинированные энергоустановки с топливными элементами, работающие на продуктах гидротермального окисления алюминия. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2008. – №11. – С. 10-16.
9. Патент РФ № 139961, заявка № 2013145361, 09.10.2013
10. Чернышов Е.А., Романов А.Д., Романова Е.А. Развитие подводных лабораторий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 5-2. – С. 41-44.