

ДИЗЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

Александр Борман, Геннадий Подзноев, Умер Абдулгазис

Крымский инженерно-педагогический университет

Аннотация. Рассмотрена возможность использования гидрида алюминия в качестве альтернативного топлива в дизельном электрогенераторе. Проведена серия математических расчетов основных параметров и характеристик идеального термодинамического цикла Дизеля. Определены оптимальные параметры.

Ключевые слова: Дизельгенератор, термодинамика ДВС, альтернативный энергоноситель, гидрид алюминия, пергидроль, гидролиз, математическое моделирование, оптимизация параметров.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире довольно трудно представить свою жизнь без использования электричества. Электроэнергия необходима в самых разнообразных отраслях жизнедеятельности и в самых различных условиях. Довольно часто появляется необходимость в обеспечении электроэнергией потребителей в местах, где отсутствует возможность использовать стационарные источники энергии или их недееспособность (например, обеспечение электричеством отдаленных не электрифицированных районов, проведение спасательных и аварийных работ и т.д.). В таких случаях необходим мобильный и в тоже время мощный источник электроэнергии. Для решения этой проблемы идеально подходит электрогенератор, обладающий необходимыми характеристиками. Генераторы могут быть разнообразными. Прежде всего, их различают по типу топлива, которое они используют:

- дизельные генераторы;
- бензиновые генераторы;
- газогенераторы.

Так же генераторы могут быть как однофазные, так и трехфазные. Более того, любая модель приспособлена для использования различной техники, так как напряжение, выдаваемое генератором, может быть равно как 220 вольтам, так и 380 вольтам[8].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наибольшее распространение получили бензиновые и дизельные генераторы. Однако у них есть свои недостатки. Во-первых, в результате их деятельности выделяется большое количество вредных веществ в выхлопных газах, во-вторых, они используют углеводородное топливо, запасы которого в скором времени будут исчерпаны. В связи с этим в ближайшей перспективе (50-70 лет) должна быть

найдена и технически обеспечена адекватная энергетическая альтернатива углеводородам [12].

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Более перспективен путь использования в качестве энергоносителя - водорода, ресурсы которого практически неисчерпаемы и могут быть возобновлены в любом требуемом объеме. По удельной теплоте сгорания водород превосходит бензин почти в 2,5 раза (120 МДж/кг против 45-46 МДж/кг). Он имеет значительно более широкий диапазон пределов воспламенения (4,0-75,0 % против 1,5-7,6 % по объему) и более высокую скорость сгорания водородно-воздушных смесей, что существенно улучшает кинетику горения и повышает термический КПД термодинамического цикла ДВС при меньшей степени нагрева двигателя [5,13]. Особенно важным является полное исключение вредных выбросов в атмосферу и достаточная конструкционная совместимость углеводородных и водородных систем обеспечения работы ДВС.

Вместе с тем возникает проблема хранения водорода. Одним из наиболее перспективных путей решения данной проблемы может стать использование ряда гидридов металлов, стабильных в пределах обычных температур их возможной эксплуатации в генераторах (от 0 до +2000 С). Наиболее интересны в этом отношении металлогидриды на основе гидрида алюминия (АИ₃), поскольку в условном адекватном объеме которого (150 дм³) содержится 22,2 кг водорода с энергопотенцией около 2665 МДж [7,12]. Наибольший энергосвыход получается при гидролизе АИ₃. В этом случае из его указанного объема в 150 дм³ АИ₃ можно получить 44,4 кг газообразного H₂ с энергопотенцией уже 5330 МДж, что выше таковой для 150 дм³ бензина (5060 МДж). Кроме этого при гидролизе выделяется значительное количество тепловой энергии (13,2 МДж/кг АИ₃, или около 2918 МДж в варианте 150 дм³ АИ₃). Таким образом, полный энергопотенциал АИ₃ может достигать 8250 МДж, что в 1,6 раза выше адекватного по объему бензина или в 15,3 раза выше, чем для сжатого до 35 МПа водорода. Кроме того сам алюминий является одним из наиболее распространенных металлов на Земле и входит в состав большинства горных пород наравне с натрием, кальцием, калием, магнием и др. [7,9,12].

Если сгорание водорода осуществлять с помощью кислорода воздуха, компрессия последнего потребует затраты существенной части производимой мощности, что значительно снижает его эффективную работу на привод ходовой части автомобиля. Решить эту проблему может использование в качестве окислителя не кислорода воздуха, а жидкого пероксида водорода (H₂O₂). На нагнетание жидкого пероксида водорода в камеру сгорания потребуются на порядок меньшие энергозатраты по сравнению с компрессией воздуха и значительно более простая конструкция насоса высокого давления [15,16].

Чистый пероксид водорода почти в полтора раза тяжелее воды (плотность при 20°С равна 1,45 г/см³). Замерзает H₂O₂ при температуре немного меньшей, чем температура замерзания воды – при минус 0,41°С. Водные растворы H₂O₂ замерзают при значительно более низкой температуре: 30%-ный раствор - при минус 30°С, а 60%-ный - при -53°С. Кипит H₂O₂ при более высокой температуре (150,2°С), чем

обычная вода. Вязкость у H_2O_2 такая же, как и у охлажденной примерно до $13^\circ C$ воды. Содержание кислорода в перексиде составляет 47% по массе, т. е. значительно выше такового для воздуха. То, что перекись является жидкостью и может оставаться ею в водных растворах при температуре до минус $50^\circ C$, обеспечивает легкость ее транспортировки и эксплуатации в различных сезонных условиях, подачи в камеру сгорания, простоту регулировки процесса горения и возможность управляемой его остановки, что весьма положительно влияет на эксплуатационные характеристики дизельгенератора.

Пероксид не токсичен, но при контакте с кожей вызывает легкие ее ожоги и требует осторожного обращения. При нагревании пероксид разлагается на кислород и воду. При этом выделяется 2,9 МДж/кг теплоты (720^0K), что является дополнительным (около 13%) источником энергии, позволяющим снизить расход основного топлива. При термическом разложении получается кислород, как окислитель топлива. Причем в момент выделения он образуется в атомарной форме, что значительно улучшает кинетику и полноту горения основного топлива[15].

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В задачу проведенных исследований входило математическое моделирование идеализированного цикла Н-Дизеля в дизельгенераторе, с целью оптимизации его основных параметрических характеристик. Упрощенное моделирование проводилось по стандартной схеме, как и для традиционных идеальных циклов ДВС. За основу термодинамического расчета была принята масса AH_3 в вариантах 0,035; 0,04; 0,045; 0,05 г. Из указанной пропорции до 40 % теплоты (1958 Дж) в цикле Н-Дизеля получается за счет гидролиза AH_3 и 60 % (3042 Дж) - при сгорании водорода[14]. В серии проведенных расчетов основной задачей ставилось количественное определение температуры и давления в точках смены термодинамических процессов, термического КПД и полезной работы цикла в зависимости от значений основных задаваемых характеристик - количества добавочной воды на гидролиз AH_3 в вариантах с 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 граммов на одну порцию энергоносителя и регенерируемой теплоты в вариантах 1200; 1300; 1400; 1500 Дж. Также необходимо было определить количество теплоты вводимой в процесс за счет гидролиза. На основании сравнения рассчитанных моделей выбрать наиболее оптимальные по основным параметрическим характеристикам варианты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенное математическое моделирование зависимостей основных термодинамических параметров идеального цикла Н-Дизеля от задаваемых рабочих характеристик процесса позволило определить наиболее оптимальные варианты их соотношений. Результаты изложены в таблице 1. На основании сравнения моделей был выбран наиболее оптимальный по основным параметрическим характеристикам вариант (отмечен жирным шрифтом в таблице 1).

Таблица 1. Численные значения параметрических характеристик H-Дизеля в зависимости от массы алюмогидрида, количества регенерируемой теплоты и добавочной воды

Table 1. The numerical values of the parametric characteristics of the H-Diesel to the weight of aluminum hydride, the number of regenerated heat and additional water

Цикл	Дизель	ГидроДизель						
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_2 (\varepsilon)$	17	2,0 (16,6)			2,4 (20)			
m_{H_2O}	-	4		5				
$m_{гид.}$	0,114	0,035	0,04	0,05	0,035		0,04	0,045
$q_{реген.}$	-	1200	1400	1400	1200	1300	1300	1500
$q_{гидрол.}$	-	540,2	617,3	771,7	540,2	540,2	617,3	694,5
$q_{дисс.}$	-	357	444	508	357	357	444	444
$q_{сгор.}$	-	960	1080	1080	960	960	1080	1080
q_1	5083	3250	3523	3676	3253	3353	3428	3701
q_2	1995	1497	1734	1759	1296	1378	1447,6	1675
q_3	-	297	334	359	96	78	147,6	175,8
t_2	298	588	631	587	533	546,3	555	590
t_3	850	1238	1259	1278,6	1128	1153	1173	1241
t_4	2246	1300	1328	1375	1226	1252	1271	1337
t_5	1096	599	636	584	527	537,9	546	574,9
p_2	1,0	1,9	2,1	1,97	1,78	1,83	1,86	1,98
p_{3-4}	48,5	81,2	85,7	81,2	92,4	94,1	95,4	99,2
p_5	3,68	1,6	1,68	1,5	1,7	1,8	1,83	1,92
$\eta_{кпит}$	0,607	0,909	0,905	0,902	0,907	0,977	0,957	0,953
A	3084	2953	3189	3317	3156	3274	3280	3525

В таблице 1 даны: $m_{гид.}$ - масса гидрида алюминия, подаваемого на гидролиз (г); $m_{перг.}$ - масса пергидроля, подаваемого в камеру сгорания (г); H_2O - масса добавочной воды на гидролиз (г); ε - степень сжатия рабочего тела; $q_{гидрол.}$ - количество генерируемой при гидролизе теплоты (Дж); $q_{реген.}$ - количество теплоты, регенерируемой оборотной водой; $q_{дисс.}$ - количество теплоты, генерируемой при термической диссоциации пергидроля в камере сгорания; $q_{сгор.}$ - теплота, получаемая за счет сгорания H_2 в камере сгорания; q_1 - суммарная теплота, введенная в процесс; q_2 - теплота в конце адиабатного расширения; q_3 - остаточная теплота после регенерации, выводимая из цикла в окружающую среду; t_2 - температура паро-водородной фазы перед адиабатным сжатием (OK); t_3 - температура паро-водородной фазы после адиабатного сжатия (OK); t_4 - температура паровой фазы в конце сгорания (OK); t_5 - температура паровой фазы в конце адиабатного расширения (OK); p_2 - давление перед адиабатным сжатием (105 Па); p_{3-4} - давление в конце сжатия и в конце изобарного сгорания (105 Па); p_5 - давление

паро-газовой фазы в конце адиабатного расширения (МПа); $\eta_{\text{кпит}}$ – коэффициент полезного использования теплоты; A – совершаемая работа адиабатного расширения пара.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие обобщающие выводы по особенностям изменения основных термодинамических параметров и характеристик рассматриваемого цикла Н-Дизеля.

Температура. Во всех исследованных вариантах устанавливается закономерное возрастание этого параметра при увеличении квоты регенерируемой теплоты. В тоже время при одинаковом количестве регенерируемой теплоты температура рабочего тела понижается при увеличении массы добавочной воды, подаваемой на гидролиз.

В общем виде для термодинамического цикла Н-Дизеля устанавливается функциональная зависимость температуры, как от давления, объема и степени сжатия, так и от квоты добавочной воды на гидролиз и количества регенерируемой теплоты. Графически результаты приведены на рис.1.

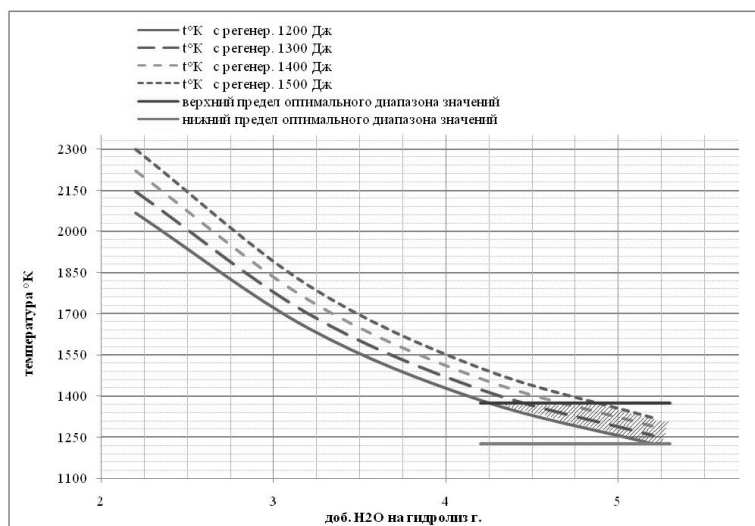


Рис.1. Изменение температуры в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты

Fig. 1. The change in temperature, depending on the supplied extra water on the hydrolysis and regenerated heat

Давление (рис. 2.). В отличие от традиционного цикла, цикл Н-Дизеля характеризуется значительно более высокими давлениями уже на стадии адиабатного сжатия при близких степенях сжатия. Причиной этому служит повышенное давление паро-водородного заряда, подаваемого в рабочий цилиндр после гидролиза алюмогидрида. В небольшой степени на величину давления влияет квота добавочной воды, несколько снижая его при своем увеличении. Характерно почти в 1,5 раза более низкое давление в конце адиабатного расширения, свидетельствуя об увеличении крутящего момента и более полном использовании энергии на

совершение работы, несмотря на пониженный температурный уровень. Таким образом, давление в описываемом цикле играет главенствующую роль в определении мощности цикла и его КПД.

Увеличение степени сжатия приводит к чрезмерному росту давления в камере сгорания без какого-либо повышения КПД даже при увеличении квоты добавочной воды, что определяет наиболее эффективную величину этой характеристики, близкую к используемой в традиционном цикле Дизеля. Это сводит к минимуму необходимость конструктивных изменений в двигателе.

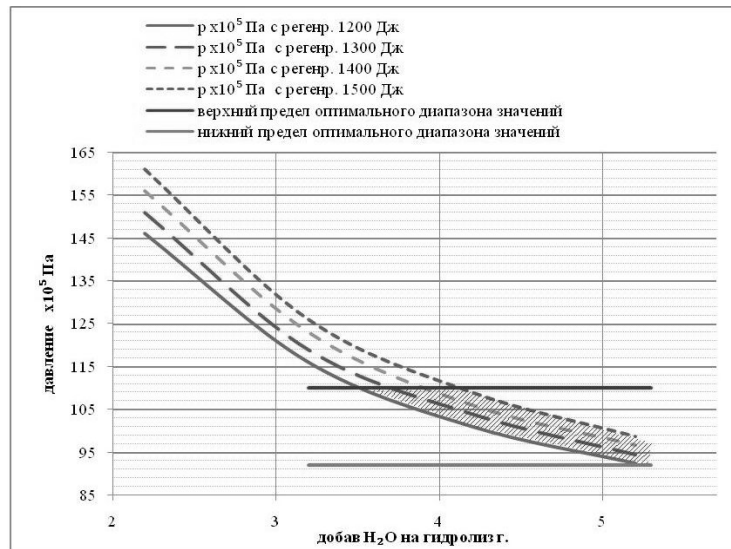


Рис.2. Изменение давления в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты

Fig. 2. Pressure change depending on the supplied additional water on the hydrolysis and the regenerated heat

Термический коэффициент полезного использования теплоты (рис. 3.). Идеальный термодинамический цикл Н-Дизеля отличается существенно более высоким термическим КПД, обусловленным более высокими температурой и давлением рабочего тела в начале и конце адиабатного сжатия, что достигается не за счет отрицательной работы на его сжатие, а в основном с помощью высвобождающейся химической энергии при гидролизе алюмогидрида. Кроме этого повышение КПД связано также с увеличением квоты добавочной воды на гидролиз и количества регенерируемой теплоты. В определенной степени здесь сказывается и энергия, введенная в процесс при диссоциации пергидроля.

Работа цикла (рис. 4.). Аналогично термическому КПД устойчиво повышается при увеличении регенерируемой теплоты и количества добавочной воды.

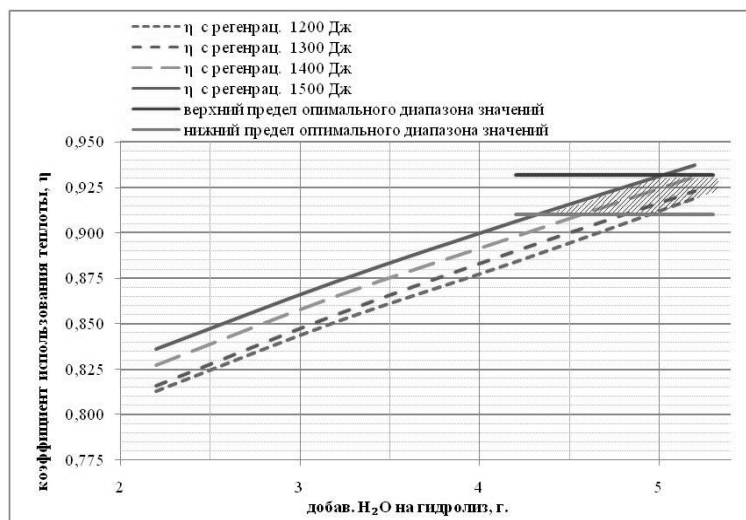


Рис.3. Изменение термического коэффициента использования теплоты в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты
 Fig. 3. Changing the thermal coefficient of heat depending on the supplied additional water on the hydrolysis and the regenerated heat

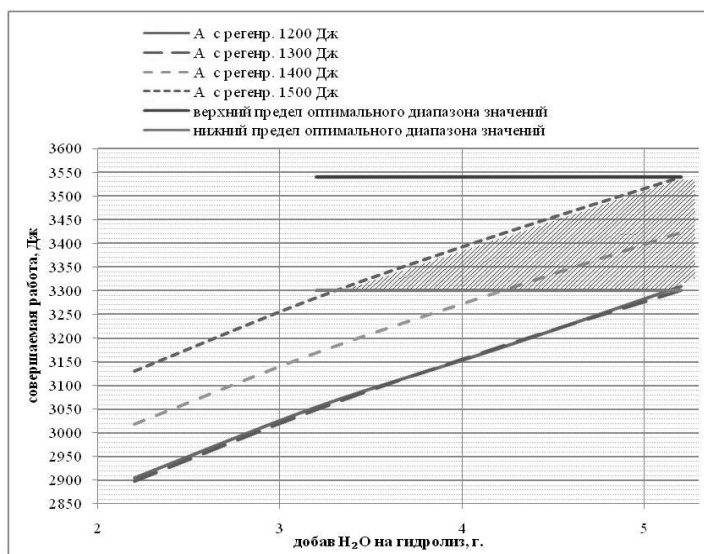


Рис.4. Изменение совершаемой полезной работы в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты
 Fig. 4. Change committed useful work, depending on the supplied additional water on the hydrolysis and the regenerated heat

ВЫВОДЫ

Обобщая установленные закономерные зависимости, полученные на данном этапе исследований, для идеального термодинамического цикла Н-дизеля в дизельгенераторе с использованием гидроксида алюминия в качестве основного энергоносителя и пероксида водорода – как окислителя, можно отметить следующее:

1. На основе полученных данных исследований были определены следующие зависимости:

- с увеличением количества добавочной воды на гидролиз AlH_3 на одну порцию энергоносителя температура значительно снижается, а при увеличении регенерируемой теплоты пропорционально возрастает;

- давление имеет более высокие значения, в сравнении с традиционным циклом, практически во всем диапазоне задаваемых технологических характеристик, что и определяет более высокую мощность цикла по выполняемой работе;

- термический коэффициент полезного использования теплоты ($\eta_{кпит}$) цикла Н-Дизеля для всех вариантов расчета существенно превышает таковой традиционного Дизеля, устойчиво возрастая при увеличении регенерируемой теплоты и количества подаваемой на гидролиз AlH_3 добавочной воды.;

- выполняемая работа аналогично коэффициенту полезного использования теплоты ($\eta_{кпит}$) устойчиво повышается при увеличении регенерируемой теплоты и количества добавочной воды.

2. Последующим этапом исследований будет являться расчет термодинамических параметров и характеристик реального термодинамического цикла Н-дизеля с выходом на исходные данные для проведения стендовых испытаний, разработки проекта экспериментального стенда, конструктивно отображающего дизельный модуль и способный работать на алюмогидридном энергоносителе.

3. Один из важнейших выводов является, что при полученных значениях термического КПД и совершаемой работе Н-дизеля при практически одинаковых объемах камер сгорания с традиционным дизелем, возможно уменьшение габаритных размеров двигателя и массы с сохранением мощности адекватно равной традиционному ДВС, что существенно повысит эксплуатационные характеристики дизельгенератора.

4. Несомненно также существенное улучшение экологических и параметрических характеристики Н-дизельгенератора в сравнении с традиционными двигателями, сохраняя свои достоинства и освобождаясь от отмеченных выше недостатков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова М.М. : Свойства гидридов. Справочник. Киев, Наукова думка. 1975.
2. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др. : Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии. – СПб.: Наука, 2002. 314с.
3. Варшавский И.Л. : Энергоаккумулирующие вещества и их использование. Киев. Наукова думка, 1980. 237 с.
4. Варшавский И.Л. : Энергоаккумулирующие вещества и некоторые принципы их использования для транспортной энергетики и промышленности. -М. Наука., 1970., 51 с.
5. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справочник. (Д.Ю.Гамбург, В.П.Семенов, Н.Ф.Дубовкин, Л.Н.Смирнова). -М. Химия, 1989.
6. Жигач А.Ф., Стасиневич Д.С. : Химия гидридов.- Л. Химия, 1969. -230 с.
7. Комплексы металлоорганических, гидридных и галоидных соединений алюминия. М. Наука, 1970.
8. Кираковский Н.Ф. : Дизельные электростанции / Н.Ф. Кираковский. - К., 1978.
9. Маккей А. : Водородные соединения металлов. М. Мир, 1968.
10. Мищенко А.И. : Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев. Наукова думка. 1984. 150 с.
11. Орлов Д. : Теплота спасет мир. Вокруг Света.- 2003. № 2. с. 67 –73.
12. Подзноев Г.П. : Металлогидридные системы энергообеспечения транспорта. / Г.П. Подзноев, У.А. Абдулгасис.// Всеукр. Науч.-тех. Ж. Двигатели внутреннего сгорания: / НТУ «ХПИ».- Х., 2007.- с. 32-36.
13. Подзноев Г.П. : Возможности повышения эффективности термодинамического цикла Дизеля путем использования альтернативного энергоносителя. / Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Всеукр. науч.-тех. ж. Двигатели внутреннего сгорания: / НТУ «ХПИ».- Х., 2007 - Вып. 1. - С. 87-91.
14. Подзноев Г.П. : Термодинамические особенности регенеративного цикла Н-дизеля с использованием энергоносителя на основе гидрида алюминия. / Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Всеукр. науч.-тех. ж. Двигатели внутреннего сгорания: / НТУ «ХПИ». - Х., 2008. - Вып. 2. - С. 13-18.
15. Подзноев Г.П. : Возможности использования пероксида водорода в качестве окислителя в двигателях внутреннего сгорания /Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Ученые записки КИПУ. - Симферополь. Вып. 20. - 2009. - С. 15-21.
16. Подзноев Г.П. : Особенности термодинамического цикла двухтактного Н-дизеля с использованием алюмогидридного энергоносителя и пероксида водорода / Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Ученые записки КИПУ. - Симферополь. Вып. 24. - 2010. - С. 41-46.
17. Подгорный А.Н., Варшавский И.Л., Макаров А.А., Мищенко А.И. : Проблемы машиностроения. -1976. № 5, С. 12 – 15.
18. Синенко Н.П. : Тепловозные дизели типа Д70 / Н.П. Синенко, Е.В. Турчак, И.И. Резник. – М. : Транспорт, 1977.
19. Телегина Е.А., Румянцева М.А., Покровский С.В., Салахова И.Р. : Внешний вектор энергетической безопасности. М.: Энергоатомиздат, 2000. – 352 с.

THE DIESEL-ELECTRIC ENGINE WITH USE OF HYDRIDE OF ALUMINUM AS THE ENERGY CARRIER

Summary: Considered the possibility of using aluminum hydride as an alternative fuel for diesel generators. Held a series of mathematical calculations of basic parameters and characteristics of an ideal thermodynamic cycle of the H-diesel. The identified optimum parameters.

Key words: Diesel generator, engine thermodynamics, alternative energy carrier, hydride aluminum, perhydrole, hydrolysis, mathematical modelling, optimization of parameters.