

пальных автобусах и мусороуборочных автомобилях. В Италии введен запрет на строительство АЗС без блока заправки природным газом.

Заключение

1. Каждое из исследованных альтернативных топлив позволяют улучшить топливно-экологические показатели дизеля городского автобуса.

2. Наиболее высокая топливно-экологическая эффективность в эксплуатации обеспечивается при использовании в качестве топлива для дизеля городского автобуса сжиженного природного газа. В качестве силовой установки для городского автобуса целесообразно применение газового двигателя.

3. Внедрение на городском автотранспорте газовых двигателей, работающих на природном газе, позволяет:

– обеспечить существенный вклад в проблему ресурсосбережения за счет снижения потребления де-

фицитных нефтяных моторных топлив;

– обеспечить значительный экономический эффект в результате снижения затрат на топливо и на возмещение экологического ущерба.

Список литературы:

1. Парсаданов И. В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: Монография. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
2. Парсаданов И. В., Кунах Е. А. Топливо-экологическая оценка дизеля городского автобуса с учетом условий эксплуатации. Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №2.
3. Парсаданов И. В., Кричковская Л. В., Грицаенко И. В. Комплексная оценка экономико-экологических затрат при эксплуатации ДВС на разных территориях // Сборник научных статей XIV Международной научно-практической конференции. Том 1. – 2006. – С. 140 – 143.
4. Каницо П. М., Костенко К. В., Саратина М. В. Эколого-экономический анализ эффективности использования газообразных энергоносителей на автомобильном транспорте // Автомоб. транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – Вып. 21. – С. 98 – 107.

УДК. 629.113

Г.П. Подзноев, канд. геол.-мин. наук, У.А. Абдулгасис, д-р техн. наук

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ЦИКЛА Н-ДИЗЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГИДРИДА АЛЮМИНИЯ

Состояние проблемы.

Поиск альтернативных вариантов энергообеспечения транспорта ведется в различных направлениях. Наиболее перспективно использование в качестве энергоносителя водорода, ресурсы которого практически неисчерпаемы. Наиболее продвинутым выглядит вариант с топливными элементами, реализованный в моделях Honda-FCX и DM HyWire [2,3], в которых водород помещается в специальные сверхпрочные баллоны объемом 150 – 160 дм³ под давлением 35 МПа. Масса H₂ при этом составляет

всего 4,5–4,9 кг (570 МДж), способных обеспечить лишь 400–450 км пробега. Также проблематична перспектива широко пропагандируемых биотоплив, являющихся теми же углеводородами с присущими им проблемами и требующих существенной реструктуризации агросектора, и так с трудом справляющегося с насущными запросами жизнеобеспечения.

Пути решения проблемы

Одним из перспективных путей решения проблемы может стать использование ряда гидридов

металлов. Наиболее интересен в этом отношении гидрид алюминия (AlH_3), в условном объеме которого (150 дм^3) содержится 22,2 кг водорода с энергопотенцией около 2665 МДж [1]. Наибольший энерговыход получается при гидролизе AlH_3 . При этом из его первоначального объема в 150 дм^3 AlH_3 можно получить уже 44,4 кг газообразного H_2 с энергопотенцией 5370 МДж, что выше таковой для 150 дм^3 бензина (5060 МДж). Кроме этого при гидролизе выделяется значительное количество тепловой энергии (16,0–18,0 МДж/кг AlH_3 , или около 3700 МДж в варианте 150 дм^3 AlH_3). Таким образом, полный энергопотенциал AlH_3 может достигать 9000 МДж, что в 1,8 раза выше адекватного по объему бензина или в 15,8 раза выше,

чем в случае сжатого до 35 МПа водорода [4].

В работе [5] рассмотрен Концепт ДВС с использованием AlH_3 (Н-Дизеля), в который перед адиабатным сжатием введен гидролиз AlH_3 , дающим высокую температуру ($\sim 3600^\circ\text{K}$) и давление 9,0 МПа. Столь высокие температура и давление уже в начале термодинамического цикла не могут быть приемлемы ни с технологической, ни с технической точки зрения. Сбалансировать в этом случае параметрические характеристики цикла Н-Дизеля с максималь-

ным приближением их к реальному циклу Дизеля возможно путем введения на гидролиз добавочной воды. Это позволяет существенно снизить температуру парогазовой фазы до приемлемых $600\text{--}800^\circ\text{K}$ и повысить ее теплосодержание. В этом случае на стадию адиабатного сжатия поступает оптимально нагретая паро-водородная смесь под приемлемым давлением.

Задачи исследований

В задачу исследований входило определение термодинамических характеристик цикла, которые, как и в обычных циклах ДВС, определяются начальной температурой, степенью сжатия (ϵ), показателем адиабаты (k) и степенью предварительного расширения в процессе сгорания водорода. Также оценивалась зависимость рассчитанных значений параметров (температуры и давления), термического КПД (η), и совершаемой работы (A) от квоты добавочной воды, степени сжатия, степени регенерации теплоты и энергетического баланса цикла. Последний складывался из теплоты гидролиза (q_1'), парциально приходящейся на парогазовую фазу и теплоты сгорания (q_1'') водорода в камере сгорания двигателя (варианты 1-11 табл. 1 и 2).

Таблица 1. Результаты расчетных исследований. Варианты 1-12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_2O_d	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0	5,0	-
$q_{\text{гидр.}}$	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958	19578	1958	-
q_1'	1104	1785	1861	1892	1908	1861	1892	1908	1892	1908	1919	-
q_1''	3042	-										
q_1	4146	4827	4903	4934	4950	4903	4934	4950	4934	4950	4961	5083
ϵ	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15	17
t_2	3591	1207	844,1	689,5	604,7	844,1	689,5	604,7	689,5	604,7	549,3	298
t_3	5723	1859	1328	1099	971,7	1569	1313	1170	1444	1287	1180	850
t_4	7258	263	1842	1486	1282	2069	1691	1471	1817	1585	1431	2234
t_5	5536	1878	1276	1008	855,9	1145	910,6	778,6	853,8	730,9	650,8	1086
p_2	1,205	0,405	0,283	0,23	0,203	0,283	0,23	0,203	0,23	0,203	0,184	0,1
p_3	9,602	3,12	2,226	1,83	1,631	5,26	4,38	3,918	7,225	6,481	5,929	4,85
p_4	9,602	3,12	2,226	1,83	1,631	5,26	4,38	3,918	7,225	6,481	5,929	4,85
p_5	2,033	0,631	0,435	0,336	0,287	0,484	0,30	0,26	0,286	0,245	0,218	0,365
η	0.330	0.606	0,624	0,633	0,640	0.742	0.750	0.754	0,816	0,823	0,830	0,580
A	1368	2925	3059	3123	3168	3638	3700	3732	4026	4074	4117	2948
q_2	2777	1903	1847	1809	1781	1263	1235	1217	909	875,2	845	1983

В таблице 1 и 2 даны:

H_2O_d - добавочная вода на гидролиз (г); q гидр. – количество генерируемой при гидролизе теплоты (Дж); q_1^1 - теплота гидролиза, вводимая в цилиндр перед адиабатным сжатием; q_1^2 – количество теплоты, введенное за счет сгорания H_2 в камере сгорания; q_1 - суммарная теплота, введенная в процесс; ε - степень сжатия паро-водородной фазы; t_2 - температура паро-водородной фазы перед адиабатным сжатием ($^{\circ}K$); t_3 - температура после адиабатного сжатия ($^{\circ}K$); t_4 – температура в конце сгорания ($^{\circ}K$); t_5 – температура паро-газовой фазы в конце адиабатного расширения ($^{\circ}K$); p_2 - давление перед адиабатным сжатием (МПа); p_3 – давление в конце сжатия (МПа); p_4 - давление в конце сгорания (МПа); p_5 - давление паро-газовой фазы в конце адиабатного расширения (МПа); η – термический КПД; A – совершаемая работа; q_2 – выводимая из цикла теплота.

Из таблицы и рис. 1 и 2 видно, что по мере увеличения добавочной воды количество вводимой в цикл теплоты q_1^1 возрастает. При этом снижаются температура и давление. Причем, в начале адиабатного сжатия (жирная линия на рис.1) и процесса сгорания (жирный пунктир) t_2 остается несколько выше, чем для традиционного Дизеля (вариант 12 на рис.1) за счет теплоты гидролиза, стабилизируясь для квоты добавочной воды в пределах 3-5 г на цикл. В конце адиабатного сжатия t_3 выше, а в конце сгорания значительно ниже, чем у Дизеля. При этом видно закономерное увеличение температуры от ε (пунктир 1 для конца адиабатного сжатия и пунктир 2 для конца изобарного горения).

Несколько иная зависимость прослеживается для давления. При $\varepsilon = 5$ оно значительно ниже такового для традиционного цикла, а для $\varepsilon = 15$ - существенно выше. Также четко прослеживается понижение давления по мере увеличения количества добавочной воды и заметно повышается в зависимости от степени сжатия (пунктир 3). Для КПД характерно

устойчивое возрастание, как при увеличении квоты добавочной воды, так и, более четко, - от степени сжатия.

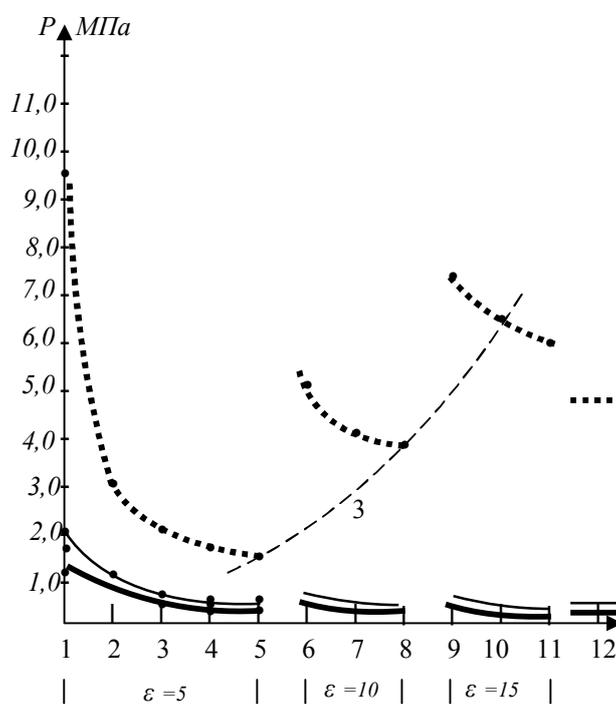


Рис. 2. Зависимость давления от количества добавочной воды и ε в цикле Н-Дизеля

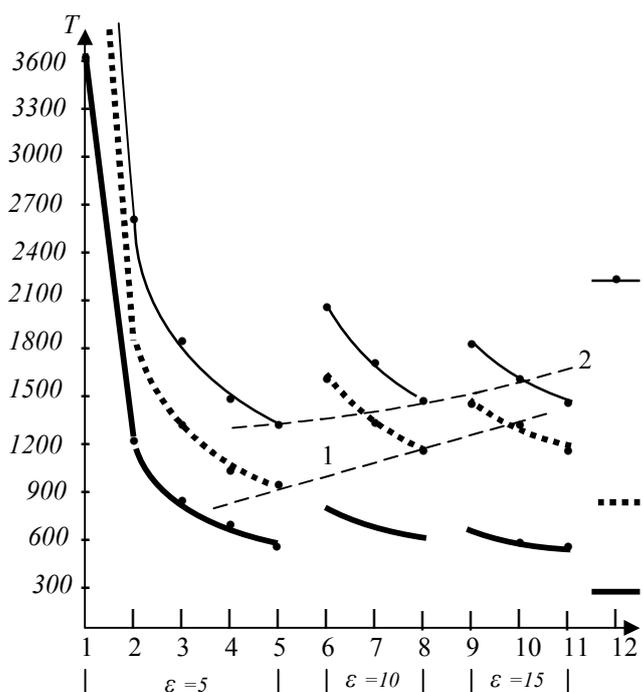


Рис. 1. Зависимость температуры от количества добавочной воды и ε в цикле Н-Дизеля

Таблица 2. Результаты расчетных исследований. Варианты 13-18

	13	14	16	17	18
H ₂ O	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0
q _r	1958	1958	1958	1958	1958
q _{пер}	1500	2000	1500	2000	2500
q _{1¹}	3287	3751	3339	3816	4297
q _{1²}	3042	3042	3042	3042	3042
q ₁	6329	6793	6381	6858	7339
ε	10	10	10	10	10
t ₂	1440	1672	1034	1207	1380
t ₃	2477	2836	1856	2130	2377
t ₄	2623	2985	2010	2291	2543
t ₅	1548	1784	1147	1324	1504
p ₂	0,60	0,70	6,4	6,9	8,5
p ₃	10,4	11,8	11,4	12,2	14,6
p ₄	10,4	11,8	11,4	12,2	14,6
p ₅	0,63	0,745	0,71	0,76	0,93
η _t	0,715	0,786	0,732	0,787	0,826
A	4525	5340	4671	5397	6062
q ₂	1803	1524	1712	1460	1274

Таким образом, можно определить наиболее комфортные для работы Н-Дизеля диапазоны изменения основных исходных показателей. Это - квота добавочной воды в количестве 3-4 г на цикл и степень сжатия 10-15. Для оптимизированных исходных показателей проведена серия расчетов по характеру влияния степени регенерации теплоты на основные параметры и конечные показатели цикла (табл. 2), отраженные на рис. 3 и 4. Из графиков видно, что регенерация теплоты особенно заметно влияет на снижение количества выводимой из цикла теплоты. Это приводит к существенному увеличению термического КПД цикла (варианты 13-18). При этом также возрастают значения температуры и, особенно, давления (рис. 3, вариант 12). Их оптимизация возможна за счет снижения квоты подаваемого в процесс АНЗ до уровня обеспечения количества совершаемой работы за цикл, аналогичной традиционному Дизелю.

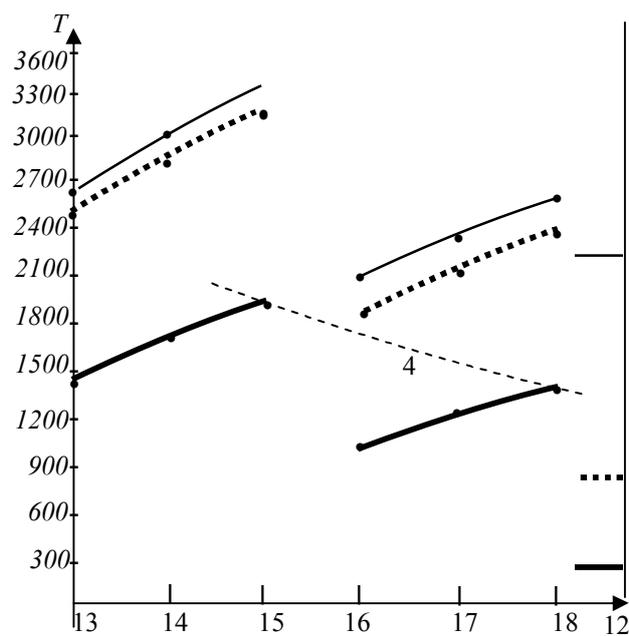


Рис. 3. Зависимость температуры от степени регенерации теплоты в цикле Н-Дизеля

Графическое отражение соотношений между основными характеристиками цикла Н-Дизеля (рис.4), показывают четко выраженное возрастание термического КПД и количества работы от увеличения степени сжатия, количества подаваемой на гидролиз добавочной воды и степени регенерации теплоты. При этом значения КПД в объеме и диапазоне проведенных расчетов могут достигать значений 0,8-0,83, что в идеале близко к термическому КПД регенеративного цикла Карно. Подобное допущение определяется особенностью цикла Н-Дизеля, связанной с резким доминированием паров воды в рабочем теле и возможностью ее конденсации в жидкую фазу. Последняя в теплообменнике поглощает часть выводимой теплоты и затем вновь направляется на гидролиз, циркулируя по замкнутой схеме и обеспечивая, тем самым, регенерацию теплоты. Отходящими продуктами при этом, что весьма важно, будут остаточная паровая фаза и азот – экологически безвредные вещества.

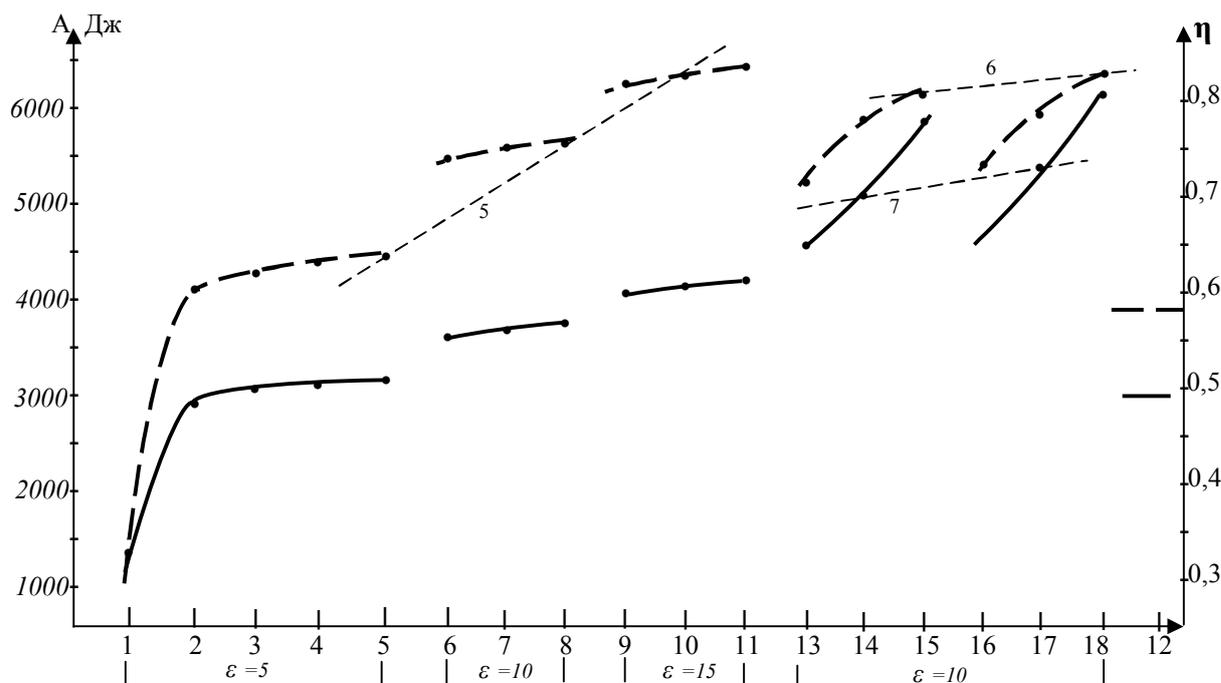


Рис. 4. Зависимость термического КПД η и количества работы A цикла от степени сжатия ϵ , количества добавочной воды и степени регенерации теплоты $q_{рег}$ в цикле Н-Дизеля

Выводы и рекомендации

Следующий этап исследований должно стать определение наиболее оптимальных соотношений основных термодинамических характеристик и параметров в рамках идеального цикла Н-Дизеля. На основании определения наиболее оптимальных вариантов работы цикла, можно начать исследования и расчеты основных конструктивных узлов и поиск компоновочной схемы Н-Дизеля.

Параллельно описанной выше схеме развития работ необходимы дополнительные исследования возможности расширения перечня перспективных металлгидридов, особенно на основе композиции гидридов Al, Na и Si, а также технологических схем их производства. Решение этой проблемы позволит получить наряду с регенерируемым после гидролиза Al_2O_3 , практически неограниченную сырьевую базу

для многотоннажного производства металлгидридных энергоносителей, поскольку исходным сырьем для получения подобных комплексных металлгидридов будут весьма широко распространенные магматические породы щелочного ряда.

Список литературы:

1. Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф., Смирнова Л.Н. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. // Справочник. Москва. Изд-во Химия.- 1989. - 672 с.
2. Фомин А. Водородный фундамент. // Ж. За рулем. 2004. № 1.- С. 64 – 67.
3. Орлов Д. Теплота спасет мир. // Вокруг Света. - - 2003. № 2. - С. 67 –73.
4. Подзноев Г.П. Абдулгасис У.А. Металлогидридные системы энергообеспечения транспорта. // Двигатели внутреннего сгорания.- Харьков: НТУ ХПИ.- 2004 г.- С. 32-36.
5. Подзноев Г. П., Абдулгасис У.А. Возможности повышения эффективности термодинамического цикла Дизеля путем использования альтернативного энергоносителя. // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков: НТУ «ХПИ».- 2007. № 1. -С. 87-91.