

Советбеков Болотбек (Бишкек, Кыргызстан)
– кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автомобильный транспорт» ГОУВПО «КРСУ»
(720055, г. Бишкек, ул. Киевская 44, e-mail:
260479@mail.ru).

Sovetbekov B. – candidate of technical sciences,
assistant Professor. High state institution of professional
education «Kyrgyz-Russian Slavic university» of first
president of Russian Federation B.N Yeltsin (720055,
Bishkek, Kiyevskaya St. 44, e-mail: 260479@mail.ru).

УДК 656.065.36

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАНИЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ

Н.Г. Певнев, В.В. Понамарчук
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Применение водорода в качестве иницирующей добавки к основному топливу, приводит к повышению экономических и экологических показателей ДВС. Особое внимание уделено физико-химическим свойствам водорода. В статье проводится сравнение свойств водорода с другими видами моторных и газовых топлив. Дополнительно анализируются различные способы получения и хранения водорода. Приведен пример действующего устройства для получения водорода на борту автомобиля, а также рассмотрены результаты его применения.

Ключевые слова: водород, генератор синтез-газа, конверсия метана, иницирующая добавка.

Введение

По мнению специалистов многих стран, в обозримом будущем никакой замены традиционным ДВС в массовом автомобилестроении не предвидится, тем более, что у них имеются большие потенциальные возможности для повышения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов. По крайней мере, на ближайшие два десятилетия ДВС остается основным типом силовой установки для автомобилей, что вынуждает искать сегодня новые решения энергетических проблем автомобильного транспорта.

Нормы на токсичные выбросы автомобилей ужесточаются каждые пять лет примерно в два раза. Невыполнение требований директив Еврокомиссии по выбросам CO_2 ведет к снижению конкурентоспособности автомобилей и к потере рынка их сбыта, а невыполнение норм по токсичности – к запрету на продажу. Вышеперечисленные факторы привели к интенсивным работам, направленным к использованию альтернативных и возобновляемых моторных топлив, в том числе водорода. В настоящее время в промышленно развитых странах действуют государственные программы, стимулирующие работы по использованию альтернативных моторных топлив на автотранспорте [1].

В настоящее время активно ведутся работы по исследованию возможностей использования альтернативных моторных

топлив – низших спиртов (метанол, биоэтанол, бутанол), природного и попутного нефтяного газов, растительных масел, специально выращиваемых сельскохозяйственных культур, водорода и т.д. В первую очередь эти исследования ведутся с целью замены основного вида топлива на выпускаемых автомобилях без внесения в двигатель существенных конструктивных изменений, а также с целью изучения возможностей их комбинирования и применения в качестве добавок. Одновременно оценивается и влияние такой замены на состояние окружающей среды – оно как минимум не должно ухудшаться в большей степени, чем при использовании традиционного топлива.

Роль водорода при горении топлива

Практически все перечисленные выше альтернативные виды топлива в состоянии заменить какую-то часть традиционного топлива только благодаря наличию в своем составе способных к окислению элементов. Из всех видов альтернативных топлив отдельно стоит выделить водород. Дело в том, что его добавка не только способна заменить энергоресурс уменьшаемой доли бензина или дизельного топлива. Его действие более интересно – водород обладает высокой скоростью диффузии, из чего вытекает его способность образовывать однородную смесь в камере сгорания за очень короткий промежуток времени [2].

При горении водорода толщина зоны гашения (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) меньше примерно в 5 раз, чем у углеводородных топлив. Это доказывает высокую эффективность воздействия водорода на кинетику сгорания смеси во всем объёме [2]. Соответственно возрастает полнота сгорания топлива, и уменьшается эмиссия токсических веществ, что приводит к существенному снижению вредных выбросов остаточных углеводородов и сажи, а также окисей углерода и азота. Данный факт подтверждается испытаниями, проведёнными Российским федеральным ядерным центром (РФЯЦ ВНИИЭФ) совместно с Институтом катализа им. Г.К. Борескова и ОАО «АвтоВАЗ» на моторном стенде Тольяттинского государственного университета (ТГУ) в 2004 году [3]. Испытания проводились на двигателе ВАЗ-21102 с добавками чистого водорода в бензино-воздушную смесь. Именно при этих испытаниях была показана возможность снижения выбросов NO_x и CO без специальной обработки выхлопных газов (отсутствие каталитического

нейтрализатора), повышение КПД двигателя и уменьшение расхода топлива [3].

Свойства водорода

Кроме этого стоит отметить, что скорость горения водородно-воздушных смесей на порядок больше, чем скорость горения аналогичных смесей на основе бензина или дизтоплива см. таблицу 1 [4]. При минимальных добавках водорода в топливо-воздушную смесь время сгорания последней существенно уменьшается. Это происходит из-за того что, водород смешавшись с попадающей в цилиндр смесью не только сгорает, выделяя тепловую энергию для работы двигателя, но и эффективно поджигает смесь во всем объеме. Это связано с тем, что молекулы водорода могут выступать в качестве иницирующих центров при сгорании углеводородного топлива, об этом можно найти упоминание в работах таких академиков как Н.Н. Семенов и Я.Б. Зельдович [5]. Применительно к работе двигателя это означает, что при добавке водорода, можно снизить дозу основного топлива в заряде и сделать зажигание более поздним. Это приводит к повышению эффективности работы двигателя.

Таблица 1 – Физико-химические свойства бензина и водорода

Свойства	Бензин	Водород
Молекулярная масса, кг/моль	117	2,015
Плотность, кг/м ³	670	0,086
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	44000	120085
Пределы воспламенения (объёмная доля), %	1,2...6,0	4,0...75,0
Ламинарная скорость распространения пламени, м/с	0,37...0,43	1,9...2,7
Энергия воспламенения, мДж	0,25	0,02
Коэффициент диффузии, см ² /с	0,08	0,63
Толщина зоны гашения, мм	2,0	0,6

На сегодняшний день применение водорода в автомобиле в качестве основного моторного топлива или в виде добавки к нему порождает огромное количество споров и мнений. Безусловно связано это, с его физико-химическими свойствами, и огромным количеством методов его получения. Именно поэтому для дальнейшего рассмотрения водорода как моторного топлива, необходимо тщательно проанализировать его физико-химические свойства. Ввиду того что целью применения водорода на автомобильном транспорте является повышение экологических и экономических показателей автомобилей, то немало важен будет вопрос выбора более экономически выгодного и экологически безопасного метода его производства.

Водород — самый лёгкий газ, он легче воздуха в 14,5 раз. Очевидно, что чем меньше масса молекул, тем выше их скорость при одной и той же температуре. Таким образом, самые лёгкие молекулы водорода движутся быстрее молекул любого другого газа и тем самым быстрее могут передавать теплоту от одного тела к другому. Отсюда следует, что водород обладает самой высокой теплопроводностью среди газообразных веществ. Его теплопроводность примерно в семь раз выше теплопроводности воздуха.

Водород при нормальных условиях — это газ без цвета, запаха и вкуса. Жидкий водород существует в очень узком интервале температур Это бесцветная жидкость, очень лёгкая (плотность при $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 0,0708 г/см³) и текучая (вязкость при $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 13,8 сП).

Этим объясняются трудности при ожижении водорода. Сравнительная характеристика водорода с основными представителями моторных газовых топлив, представлена в таблице 2 [4].

Таблица 2 – Сравнение физико-химических свойств водорода с газовыми топливами

Вещество	Водород H ₂	Метан CH ₄	Пропан C ₃ H ₈	Бутан C ₄ H ₁₀
Плотность газовой фазы при нормальных условиях, кг/м ³	0,0899	0,7168	2,019	2,703
Температура кипения, °C	- 252,8	- 161,6	- 42,1	- 0,5
Температура плавления, °C	- 259,2	- 182,5	- 187,6	- 138,4
Удельная теплота сгорания, кДж/кг	120085	35880	48000	45800
Пределы воспламенения (объемная доля), %	4,0...75,0	4,4...17	2,1...9,5	1,9...8,4

Способы хранения водорода. Водород хорошо растворим во многих металлах (Ni, Pt, Pd и др.), особенно в палладии (850 объемов H₂ на 1 объем Pd). Практически не растворим в серебре. С растворимостью водорода в металлах связана его способность диффундировать через них. Именно поэтому немаловажным остается

вопрос хранения водорода на борту автомобиля. На сегодняшний день в России большая часть водорода произведенного промышленно, транспортируется и хранится в баллонах соответствующих ГОСТ 949-73, которые имеют характеристики указанные в таблице 3 [6].

Таблица 3 – Характеристики баллонов для водорода

Объем, л	Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, кг	Максимальное количество хранимого водорода, кг
50	14,7 (150)	219	1685	71,3	0,67
50	19,6 (200)	219	1755	93	0,90
40	14,7 (150)	219	1370	58,5	0,54
40	19,6 (200)	219	1430	76,5	0,72
20	14,7 (150)	219	740	32,3	0,27

Проанализировав данные приведенные в таблице 3, можно прийти к выводу, что применение баллонов данного типа в качестве хранилища моторного топлива на автомобиле нерационально, ввиду массогабаритных характеристик баллонов.

За рубежом наиболее часто для хранения водорода в автомобиле используют гидриды металлов. Некоторые металлические сплавы имеют особенность при определенных давлениях насыщаться водородом и образовывать с ним химические соединения — гидриды. Например, в гидриде MgH₂ содержится 7% водорода, а в гидриде NiMgH₂ — 3,2%. В процессе связывания водорода с металлом выделяется теплота, которую необходимо отводить. Для обратного

процесса выделения водорода гидрид необходимо нагреть подобно воде для образования пара. Гидрид MgNi начинает выделять достаточное количество водорода при его нагревании примерно до 350 °C. Массо-габаритные характеристики гидридных баков представлены в таблице 4 [7]. Несмотря на явные преимущества гидридных баков над баллонами большим недостатком по-прежнему остаётся значительный вес, и значительная стоимость материалов для изготовления такого бака. Кроме того, медленное выделение водорода из гидрида, представляет проблему получения необходимого количества водорода на различных режимах работы двигателя.

Таблица 4 – Характеристики гидридных баков для водорода

Тип гидрида	Объём бака, л	Масса бака, кг	Количество водорода, кг
FeTiH ₂	50	200	4
NiMgH ₂	50	100	4
MgH ₂	25	50	4

Одной большой общей проблемой, для всех вышеперечисленных методов хранения водорода на борту автомобиля, является отсутствие водородных заправочных станций. А ведь создание водородной инфраструктуры требует огромного количества затрат, и является сложнейшей задачей не только экономически но и технически. А в масштабах России, где для обеспечения всей территории государства требуется огромное количество водородных АЗС, данная задача неосуществима не только в настоящее время, но и в ближайшем будущем.

В ближайшей перспективе использование водорода как топлива, повсеместно на всей территории России не представляется возможным из экономических соображений. Следовательно, наиболее целесообразно в настоящее время и на ближайшую перспективу следует разрабатывать технические решения с целью получения водорода на борту автомобиля.

Методы получения водорода

Водород практически не встречается в природе в чистой форме и должен извлекаться из других соединений с помощью различных методов.

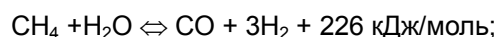
Разнообразие способов получения водорода, и огромное количество веществ содержащих водород – два главных преимущества водородной энергетики, которые повышают энергетическую безопасность и снижают зависимость от отдельных видов сырья.

Наиболее распространенными способами получения водорода считаются [8]:

- паровая конверсия;
- автотермический реформинг (кислородная или воздушная конверсия)
- крекинг метана (каталитическое разложение);
- электролиз воды;

Паровая конверсия метана и его гомологов является основным промышленным методом получения водорода. Процесс заключается в следующем: пар реагирует с природным газом при высоких температурах и умеренных давлениях в присутствии катализатора (обычно содержащего никель). При помощи паровой конверсии водород можно получать

разной чистоты: 95-98% или особо чистый. В зависимости от дальнейшего использования водород получают под различным давлением: от 1,0 до 4,2 МПа. Сырье (природный газ или легкие нефтяные фракции) подогревается до 350-400° в конвективной печи или теплообменнике и поступает в аппарат десульфирования. После ступеней высокотемпературной и низкотемпературной конверсии газ поступает на адсорбцию CO и CO₂, а затем на метанирование остаточных оксидов. В результате получается водород 95-98,5% чистоты с содержанием в нем 1-5% метана и следов CO и CO₂ [8,9].



В том случае, если требуется получить особо чистый водород, установка дополняется секцией адсорбционного разделения конвертированного газа. В отличие от предыдущей схемы конверсия CO здесь одноступенчатая. Газовая смесь, содержащая H₂, CO₂, CH₄, H₂O и небольшое количество CO, охлаждается для удаления воды и направляется в адсорбционные аппараты, заполненные цеолитами. Все примеси адсорбируются в одну ступень при температуре окружающей среды. В результате получают водород со степенью чистоты 99,99%. Давление получаемого водорода составляет 1,5-2,0 МПа.

В настоящее время данным способом производится примерно половина всего водорода. Неудобство данного метода заключается в том, что реактор для получения водорода имеет значительные размеры, и соответственно не подходит для применения на автомобиле. Но окончательно исключить данный метод из рассмотрения не следует, ввиду того, что в дальнейшем, при более глубоком освоении технологий, возможны разработки более компактного реактора.

При автотермическом реформинге в реакционный каталитический объем подается смесь пара, природного газа и кислорода в пропорциях, при которых одна часть метана сгорает в кислороде, а другая реагирует с водяным паром, производя водород и оксиды углерода. Частичное сгорание природного

газа обеспечивает высокую температуру, необходимую для реакции конверсии [8].

В процессе крекинга метана природный газ нагревают до температур выше 1000 °С, при которых происходит процесс разложения молекулы метана на водород и углерод. Процесс имеет в 2 раза меньший выход водорода в расчете на потребленный в качестве сырья метан, однако при высокой степени разложения метана позволяет с меньшими затратами выделить водород как конечный продукт. Данный процесс является перспективным ввиду того, что в результате реакции образуются два ценных продукта: водород и углерод. В отличие от окислительных превращений метана, образующийся водород не требует очистки от примесных газов, в частности от СО и СО₂, а образующийся в процессе углерод, как правило, имеет форму нанотрубок или нановолокон [8,9].

Получение водорода при помощи электролиза воды является самым простым методом. В воду помещают два электрода и подводят к ним напряжение. Но ввиду того что чистая вода практически не проводит тока, к ней добавляют электролиты (обычно гидроксид калия КОН). При электролизе водород выделяется на катоде. На аноде выделяется эквивалентное количество кислорода, который, следовательно, в этом методе является побочным продуктом. Получающийся при электролизе водород очень чист, если не считать примеси небольших количеств кислорода, который легко удалить пропусканием газа над подходящими катализаторами, например над слегка нагретым палладированным асбестом. Однако, в установках, работающих по этому принципу, для получения одного кубометра водорода требуется 4...5 киловатт-часов электроэнергии, что весьма трудно обеспечить на борту автомобиля и кроме того - довольно дорого.

В данный момент применяются не только методы указанные выше, но и комбинации этих методов. Возможно, одна из этих комбинаций будет использоваться на начальной стадии перехода к водородной энергетике. Однако, в долгосрочной перспективе необходим переход на возобновляемые источники энергии, так как одной из главных целей внедрения водородной энергетики является возобновляемость ресурсов.

Получение водорода на борту автомобиля. В научной литературе имеются сведения о действующих устройствах, позволяющих получать водородосодержащий газ на борту автомобиля.

Институтом катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН представлен бортовой генератор синтез-газа, который состоит из каталитического реактора воздушной конверсии углеводородного топлива в синтез-газ, систем дозирования топлива и воздуха, устройства для запуска, системы охлаждения. Катализатор выполнен на основе металлотетчатого носителя, на который нанесен активный компонент с наночастицами никеля. Рабочая температура 850–900 °С, производительность по синтез-газу 5-25 м³/ч. Синтез-газ представляет собой смесь окиси углерода и водорода. Соотношение СО:Н₂ в синтез-газе зависит от применяемого способа получения этого продукта. При воздушной конверсии метана, это отношение близко 1:2, а выход водорода составляет не менее 32%. А для двигателя автомобиля даже 6~10 процентная добавка водорода позволяет обеспечить устойчивую работу на обедненных топливных смесях. Это объясняется иницирующим воздействием водорода, который образует центры сгорания. Каталитический реактор работает по схеме, представленной на рисунке 1 [1].

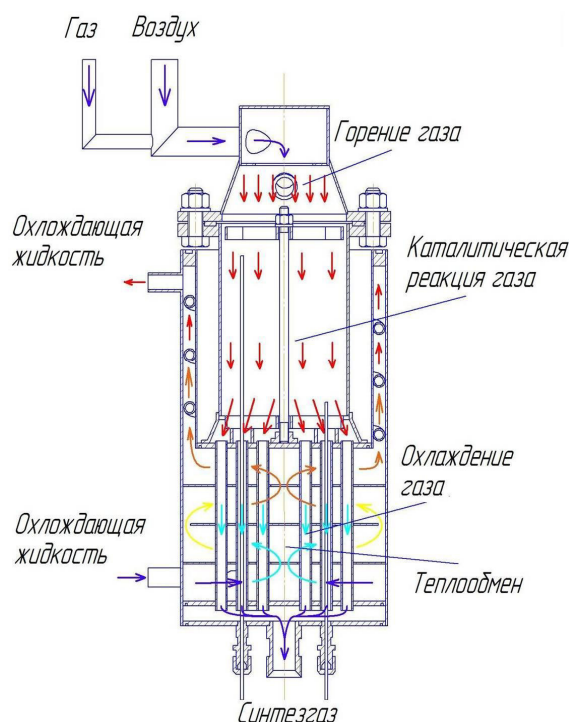


Рис. 1. Схема работы генератора синтез-газа

В 2008 и 2009 годах были проведены испытания в реальных условиях эксплуатации: автомобили ГАЗ-2310 «Соболь» и «Баргузин», оборудованные бортовыми генераторами синтез-газа, приняли участие в автопробегах «голубой коридор», организованных ОАО «Газпром» по маршрутам Санкт-Петербург - Москва и Москва - Сочи. Испытания показали что добавки синтез-газа к основному топливу значительно снижают эмиссию CO , CH , NO_x и CO_2 и обеспечивают суммарное уменьшение расхода топлива. Примечательно, что все приведенные выше результаты получены на «неоптимизированном» к газовому топливу двигателе, и это открывает большие перспективы для данной технологии.

Как следует из предварительных экспериментов, применение синтез-газа в качестве добавки к используемому в ДВС углеводородному топливу обеспечивает значительное снижение концентрации CO и NO_x в выхлопных газах двигателя. Этим достигается выполнение норм **EURO-IV без применения каталитических нейтрализаторов в выпускном тракте двигателя**, а также существенная экономия топлива, особенно на малых и средних нагрузках.

Выводы

1. В результате анализа физико-химических свойств водорода и методов его получения выявлено, что водород рационально использовать в текущий период в качестве иницирующей добавки к основному топливу, без хранения его на борту автомобиля.

2. Воздушная конверсия природного газа является наиболее простым способом получения водородсодержащего синтез-газа на борту транспортного средства. К тому же добавка 6~10% синтез-газа к основному топливу имеет такой же эффект, что и добавка чистого водорода. Проводимые сегодня в водородной энергетике расчетно-экспериментальные работы подтверждают перспективность направления по повышению экономичности и улучшению экологических характеристик ДВС путем введения в камеру сгорания водородсодержащего газа, вырабатываемого генератором синтез-газа на борту автомобиля.

Библиографический список

1. Певнев, Н.Г. Перспективы использования газобаллонных автомобилей с бортовым генератором синтез-газа / Н.Г. Певнев, В.А. Кириллов, О.Ф. Бризицкий, В.А. Бурцев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 3(15). – С. 40-46.
2. Фомин, В.М. Водород как химический реагент для совершенствования показателей работы автомобильного двигателя с НВБ / В.М. Фомин, А.С. Платунов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4 (22). – С. 30-39.
3. Бризицкий, О.Ф. Использование генератора синтез-газа в ДВС автомобиля / О.Ф. Бризицкий, В.Я. Терентьев, В.А. Кириллов, А.И. Савицкий, В.А. Бурцев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 6(6). – С. 25-28.
4. Певнев, Н.Г. Анализ свойств водорода с целью возможности его применения в качестве добавки к основному топливу / Н.Г. Певнев, В.В. Понамарчук // Прогрессивные технологии в транспортных системах. – 2015. – С. 304-309.
5. Перетрухин, С.Ф. Бортовой генератор синтез-газа для ДВС с искровым зажиганием / С.Ф. Перетрухин, О.Ф. Бризицкий, В.А. Кириллов, Н.А. Кузин, С.И. Козлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 5(17). – С. 68-74.
6. ГОСТ 949-73 – Баллоны стальные малого и среднего объема для газов, технические условия. – М.: Госстандарт России. – С. 3-5.
7. Мацкерле, Ю. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешск. В. Б. Иванова; Под ред. А. Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
8. Столяревский, А.Я. Технология получения синтез-газа для водородной энергетики / А.Я. Столяревский // Водородная энергетика и транспорт. – 2005. – №2(22). – С. 27-32.

9. Понамарчук, В.В. Физико-химические свойства и способы добычи водорода / В.В. Понамарчук // Фундаментальные и прикладные науки - основа современной инновационной системы. – 2015. – С. 27-32.

PROSPECTS OF THE COMBINATION OF MOTOR FUEL BY APPLICATION OF THE HYDROGEN CONTAINING SHCHY ADDITIVE

N.G. Pevnev, V.V. Ponomarchuk

Abstract. The idea that use of hydrogen as the initiating additive to the main fuel, leads to increase of economic and ecological indicators of ICE locates. The special attention is paid to physical and chemical properties of hydrogen. In article comparison of properties of hydrogen with other types of motor and gas fuels is carried out. Various ways of receiving and storage of hydrogen are in addition analyzed. The example of the operating device for receiving hydrogen onboard the car is given, and also results of its application are considered.

Keywords: hydrogen, the generator synthesis gas, methane conversion, the initiating additive.

References

1. Pevnev N.G., Kirillov V.A., Brizickij O.F. Perspektivy ispol'zovaniya gazoballonnyh avtomobilej s bortovym generatorom sintez-gaza [Prospects of use of gas-balloon cars with the onboard generator synthesis gas]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2010, no 3(15), pp. 40-46.
2. Fomin V.M., Platunov A.S. Vodorod kak himicheskij reagent dlja sovershenstvovan'ja pokazatelej raboty avtomobil'nogo dvigatelja s NVB [Vodorod as chemical reagent for improvement of indicators of operation of the automobile engine with NVB]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2011, no 4 (22), pp. 30-39.
3. Brizickij O.F., Terent'ev V.Ja., Kirillov V.A., Savickij A.I., Burcev V.A. Ispol'zovanie generatora sintez-gaza v DVS avtomobilja [Use of the generator synthesis gas in car DVS]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2008, no 6(6), pp. 25-28.
4. Pevnev N.G., Ponomarchuk V.V. Analiz svojstv vodoroda s cel'ju vozmozhnosti ego primeneniya v kachestve dobavki k osnovnomu toplivu [The analysis of properties of hydrogen for the purpose of a possibility of its application as an additive

to the main fuel]. *Progressivnye tehnologii v transportnyh sistemah*, 2015, pp. 304-309.

5. Peretruhin S.F., Brizickij O.F., Kirillov V.A., Kuzin N.A., Kozlov S.I. Bortovoj generator sintez-gaza dlja DVS s iskrovym zazhiganiem [The onboard generator synthesis gas for DVS with spark ignition]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2010, no 5(17), pp. 68-74.

6. GOST 949-73 – Ballony stal'nye malogo i srednego ob'joma dlja gazov, tehicheskie uslovija [State standart 949-73 – Cylinders steel small and average volume for gases, specifications]. Moscow, Gosstandart Rossii. pp. 3-5.

7. Mackerle Ju. Sovremennij jekonomichnyj avtomobil' [The modern economic car]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 320 p.

8. Stoljarevskij A.Ja. Tehnologija poluchenija sintez-gaza dlja vodorodnoj jenergetiki [Tekhnologiya of receiving synthesis gas for hydrogen power]. *Vodorodnaja jenergetika i transport*, 2005, no 2(22), pp. 27-32.

9. Ponomarchuk V.V. Fiziko-himicheskie svojstva i sposoby dobychi vodoroda [Physical and chemical properties and ways of extraction of hydrogen]. *Fundamental'nye i prikladnye nauki - osnova sovremennoj innovacionnoj sistemy*, 2015. pp. 27-32.

Певнев Николай Гаврилович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: eira_254@mail.ru).

Понамарчук Владимир Викторович (Россия, Омск) – аспирант 2го года обучения, направления 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: skif9210@mail.ru).

Pevnev Nikolay Gavrilovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical science, professor of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: eira_254@mail.ru).

Ponomarchuk Vladimir Viktorovich (Russian Federation, Omsk) – graduate student of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: skif9210@mail.ru).