

Варламов Г.Б.\*<sup>1</sup>, Глазырин С.А.<sup>2</sup>, Барабаш П.А.<sup>3</sup>,  
Петренко В.Г.<sup>4</sup>, Бимурзина З.А.<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup> *Национальный технический университет Украины (КПИ имени И. Сикорского), Киев, Украина*

<sup>2</sup> *Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

<sup>5</sup> *АО «Астана – Энергия», Нур-Султан, Казахстан*

\* *Автор для корреспонденции: glan-sergey@yandex.ru*

## Методологические основы перевода транспортных дизельных двигателей на газодизельный режим эксплуатации

**Аннотация.** Научно обоснована целесообразность поиска, разработки и использования альтернативных экологически чистых моторных топлив, основным из которых предложено использование газового топлива, которое по суммарной экологической безопасности значительно эффективнее дизельного топлива.

Актуальность проведенных исследований и предлагаемых в данной статье разработок позволят реализовать принципиальные комплексные преимущества экологического и эксплуатационного характера применения газо-дизельного цикла работы ДВС. Это соответствует требованиям Парижского протокола по климату с уменьшением выбросов парниковых газов для удержания роста средней мировой температуры.

В работе описаны главные особенности и способы перевода дизельных двигателей на питание их сжатым природным газом. Детально проанализированы преимущества и недостатки всех способов реализации газо-дизельного цикла на существующих дизельных установках малой и большой мощности. Также описаны основные операции и изменение рабочих параметров для каждого способа реализации газо-дизельного цикла на действующих дизельных двигателях. Научно обосновано использование смешанного количественно-качественного регулирования подачи сжатого газа и дизельного топлива для различных нагрузок дизельного двигателя, работающего по газо-дизельному циклу.

Проведена систематизация и представлены в табличной форме сравнительные характеристики жидких и газовых моторных топлив, которые могут быть использованы для реализации газо-дизельного цикла в дизельных двигателях, описаны общие выводы.

**Ключевые слова:** природный газ, дизельный двигатель, гибридная газо-дизельная топливная система, экологичность, самосвал.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-134-1-68-78>

### Введение

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и первую очередь дизели получили широкое распространение на мобильных и стационарных энергоустановках.

Их суммарная мощность составляет около 80% от общей мощности, вырабатываемой всеми энергоустановками [1]. Использование ДВС в качестве источника энергии для движения транспортных средств имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества - это компактность силового агрегата, высокая удельная мощность, легкость заправки, сравнительно большой запас хода и др.

Недостатки - прежде экологическая опасность, ведь для движения требуется преобразование энергии, связанное со сгоранием топлива и загрязнением продуктами сгорания окружающей среды. Кроме этого дизельный двигатель - один из основных потребителей жидкого углеводородного топлива, запасы которого исчерпываются. При современных темпах потребления топлива нефтяного происхождения, разведанных запасов нефти хватит примерно на 50 лет [2].

Сокращение запасов нефти, повышение ее цены, энергетические кризисы, катастрофическое загрязнение окружающей среды отработанными газами ДВС, растущая зависимость многих стран от импорта этого сырья, ускорение глобального потепления — вот основные факторы, заставляющие искать нетрадиционные топлива для транспортных и стационарных ДВС.

Для некоторых стран, импортирующих около 85% сырой нефти и нефтепродуктов проблемы топливного обеспечения дизельных энергоустановок есть особенно острыми [3].

Решение указанных проблем наука и практика видят в использовании альтернативных экологически чистых моторных топлив [1, 4 - 7].

Как показывает опыт, в качестве альтернативного моторного топлива может успешно использоваться природный газ. Следует особо отметить, что природный газ является экологически чистым видом топлива. По суммарной экологической безопасности газовое топливо в сто (!) раз эффективнее дизельного [8].

Газ обладает рядом принципиальных преимуществ перед другими видами топлива:

- при его сжигании не образуется зола;
- его можно сжечь без образования дыма, сажи и других продуктов неполного сгорания;
- его сравнительно легко можно очистить от сернистых соединений и обеспечить потребителей бессернистым топливом, при сжигании которого не образуются токсические  $SO_2$  и  $SO_3$ .

Основным экологическим эффектом, который получается при сгорании природного газа в дизельных двигателях является резкое уменьшение выбросов частиц сажи, которые определяют дымность отработанных газов дизеля. Частицы сажи адсорбируют на своей поверхности химически активные соединения, которые являются основными носителями токсичных и канцерогенных веществ.

Кроме этого, в последние годы поднимается вопрос нормирования содержания углекислого газа ( $CO_2$ ) в отработавших газах ДВС. На конференции ООН по климату 2015 года, которая состоялась в г. Париж (Франция) [9], принятые ограничения на эмиссию в атмосферу диоксида углерода, который относится к климатически активным газам и вызывает глобальный парниковый эффект.

В отличие от Киотского протокола Парижское соглашение касается также и развивающихся стран. Основной целью Парижского соглашения, которое вступило в силу с 4 ноября 2016 года, является уменьшение выбросов парниковых газов, в том числе  $CO_2$ , для удержания роста средней мировой температуры. Замена жидкого топлива на газовое в дизелях позволяет снизить удельные выбросы  $CO_2$  почти на 30%.

Сжатый природный газ значительно дешевле нефтяного топлива и его цена не подвергается сезонному колебанию, как это имеет место с нефтепродуктами.

Таким образом, актуальность использования газового топлива в качестве моторного топлива для дизельных двигателей неоспорима. Замена дизельного топлива на газовое способна в несколько раз снизить себестоимость транспортных перевозок и одновременно улучшить экологию воздушного бассейна населенных пунктов и атмосферы в целом.

Для практической реализации указанных преимуществ использования газового топлива необходима совершенная и надежная универсальная газодизельная система питания, которая бы обеспечила эффективную работу двигателя как в стандартном дизельном, так и в газодизельном режимах.

**Методы исследования:** эмпирические, аналитические, экспериментальные, численные методы.

## Обсуждение

*Основные способы перевода дизелей на питание сжатым природным газом.*

Конструкция дизельного двигателя рассчитана на высокие нагрузки и давления, поэтому может быть с успехом использована для создания высокоэффективного газового двигателя [5, 16]. Наиболее распространенными являются два способа переоборудование дизелей для работы на природном газе:

- переоборудование дизелей в двигатели с искровым зажиганием;
- переоборудование дизелей для работы по газодизельному циклу.

При переоборудовании дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием в конструкцию двигателя вносятся существенные изменения (снижается степень сжатия и устанавливаются системы искрового зажигания). Основными недостатками переоборудование дизеля в двигатель с искровым зажиганием для работы на сжатом природном газе (СПГ) является уменьшение коэффициента полезного действия двигателя и невозможность возврата к дизелю.

При переоборудовании дизеля для работы по газодизельному циклу дизель необходимо дооборудовать газовой системой питания. Штатная топливная система остается, а дизельный двигатель становится двухтопливными, то есть может работать или на дизельном топливе, или на газодизельной смеси.

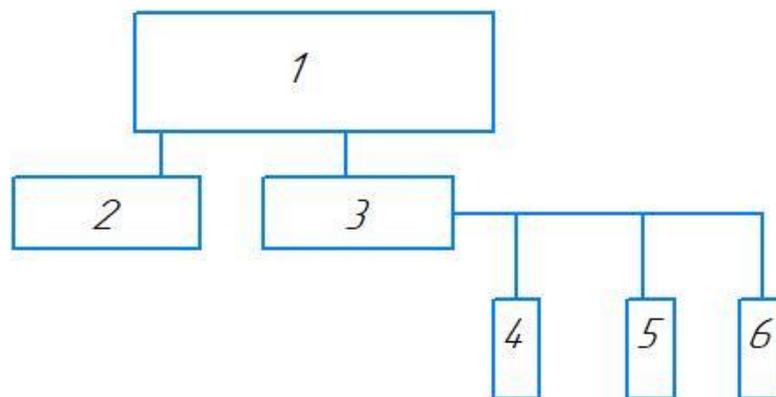
Возможно осуществить переоборудование топливной системы двигателя так, что дизель будет работать исключительно по газодизельному циклу.

Варианты использования природного газа в качестве моторного топлива представлены на рис. 1.

Температура самовоспламенения газа выше температуры самовоспламенения дизельного топлива. Поскольку температура в цилиндре двигателя в конце такта сжатия ниже температуры самовоспламенения газового топлива, то для ее зажигания необходимо в цилиндр газодизеля впрыскивать «запальную дозу» дизельного топлива.

Величина «запальной дозы» дизельного топлива, которое необходимо для зажигания газа, может колебаться в пределах от 5% ... 7% (в случае работы только по газодизельному циклу) до 20% ... 50% (в случае переоборудования транспортных дизелей с возможностью работы, как с дизельным, так и за газодизельными циклами) от номинального расхода топлива.

Существенное влияние на показатели (экологические и энергетические) работы газодизеля имеет выбор способа регулирования его мощности [11]. К таким способам относятся качественный и количественный способы регулирования.



**Рисунок 1. Варианты использования природного газа в качестве моторного топлива [10]:**

**1 – Природный газ в качестве моторного топлива; 2 – Двигатели с искровым с искровым зажиганием; 3 – Дизели; 4 – Газовая модификация двигателя: - установка системы зажигания; - снижение степени сжатия; - демонтаж дизельной топливной аппаратуры; +Высокая экономичность, +Унификация по большинству деталей; - Потеря двухтопливности; 5 – Газодизельная модификация базового двигателя: - установка малоразмерной топливной аппаратуры; - снижение степени сжатия; - возможность использования специальных видов жидкого топлива; +; - Потеря двухтопливности; - Высокая стоимость переоборудования; - Потеря двухтопливности; 6 – Дизель конвертированный для работы по газодизельному циклу: - ограничение запальной дозы жидкого топлива; - регулирование мощности в основном изменением подачи газа; +Высокая экономичность; + Двухтопливность**

Также существует смешанный способ регулирования мощности.

Наиболее распространенным является качественный способ регулирования мощности, как наиболее простой в реализации. В этом случае пытаются получить максимальную экономию дизельного топлива, несмотря на снижение эффективности использования газового топлива на малых нагрузках и на холостом ходу и повышение выбросов углеводородов.

Известно, что на полных нагрузках у газо-дизеля резко активизируется процесс тепловыделения в начальной фазе сгорания [11], что приводит к увеличению скорости роста давления до его максимального значения. Поэтому выбросы оксидов азота  $NO_x$  при максимальной мощности растут по сравнению с дизельным циклом. Несколько меняется ситуация при работе на частичных режимах и нагрузках, меньших 70% от полного. В результате уменьшения скорости сгорания и роста давления через обеднение газозоудной смеси уменьшается уровень шума и выбросы оксидов азота  $NO_x$ , но увеличивается выделение несгоревшего метана  $CH_4$ . Дымность отработанных газов значительно уменьшается на всех режимах работы. В общем суммарная токсичность газо-дизельных двигателей меньше, чем дизелей и бензиновых двигателей. Уровень шума в кабине водителя газодизеля на 2 ... 5 дБ ниже, чем при работе по дизельному циклу.

Итак, одним из основных преимуществ газодизеля является возможность работы как по дизельному (на дизельном топливе), так и по газодизельному циклам (на дизельном топливе и природном газе). Величина запальной дозы дизельного топлива при работе дизеля по газодизельному циклу может колебаться в пределах от 5% до 50% от номинального расхода топлива.

Среди газовых топлив, используемых в качестве топлива для ДВС, наиболее распространенные природный газ, который используется как в сжатом, так и в сжиженном состояниях.

Также могут применяться сжиженные углеводородные газы (пропан-бутан смеси), полученные в результате переработки нефтяного газа [12, 13].

Сжиженный нефтяной газ (пропан-бутановая смесь) или сжиженный природный газ (СПГ) или LPG (Liquefied Petroleum Gas) представляет собой смесь нефтяного и природных газов. Жидкое состояние такого газа возможно при температуре окружающей среды и давления менее 14 бар.

В газовом состоянии LPG имеет вдвое большую плотность, чем сжатый природный газ (Compressed Natural Gas - CNG).

LPG имеет высокое октановое число, поэтому имеет хорошие антидетонационные свойства и используется для двигателей с искровым зажиганием.

Однако, при использовании LPG в качестве топлива для дизелей транспортных средств требуется замена головки цилиндров двигателя для уменьшения степени сжатия, а также необходимо изменить дизельную топливную аппаратуру на газовую.

Сжатый природный газ (CNG) и сжиженный природный газ (LNG) также используются в качестве топлива для дизелей транспортных средств. Природный газ, который преимущественно состоит из метана  $CH_4$ , является более дешевым топливом, чем бензин или дизельное топливо. Для использования CNG или LNG в дизельных двигателях транспортных средств необходимо уменьшить степень сжатия, изменив головку цилиндров двигателя и установить газовое оборудование вместо топливной аппаратуры, или реализовать работу дизеля по газодизельному циклу.

## Результаты

При работе дизеля по газодизельному циклу дизельное топливо используется в качестве запальной дозы, а мощность регулируется подачей газа в цилиндры двигателя. Преимуществом переоборудования дизеля для работы по газодизельному циклу является относительная простота переоборудования без изменения конструкции двигателя [14].

Преимуществами использования природного газа в газодизеля является [13, 14]:

- уменьшение использования дизельного топлива на 50-85%;
- снижение выбросов твердых частиц и уменьшение почти вдвое дымности выхлопных газов (ВГ)
- снижение на 25% суммарных выбросов вредных веществ в ОГ;
- уменьшение уровня шума работы газо-дизеля (до 5 дБ);
- увеличение межремонтных сроков работы газо-дизеля и срока службы масла;
- при использовании природного газа отсутствует проблема холодного запуска;
- высокая летучесть газа предотвращает протекание топлива под транспортным средством в случае утечки, которая может произойти при использовании жидких топлив.

К недостаткам природного газа относятся:

- высокая температура самовоспламенения, которая затрудняет реализацию дизельного цикла;
- сжиженный природный газ трудно хранить, поскольку для этого необходимо достаточно низкая температура ( $-126^{\circ}C$  при давлении 0,1 МПа);
- возможна утечка газа в результате воздействия на состояние топлива температуры окружающей среды [6].

В результате проведенного анализа альтернативных топлив (АП), понятно, что все топлива при соответствующей организации рабочего процесса ДВС являются перспективными для использования в газодизельном цикле. Однако, все АП топлива имеют как преимущества, так и недостатки. Спирты, водород, эфиры и растительные масла не могут использоваться дизелями транспортных средств как самостоятельное топливо, а только в виде примесей.

Среди перечисленных наиболее распространены растительные масла. Для их изготовления необходимы существенные земельные участки для выращивания культур и создание заводов для их переработки.

Наиболее перспективным с точки зрения использования газовых топлив (особенно CNG) является работа дизеля по газодизельному циклу.

Природный газ добывают непосредственно из скважин чисто газовых месторождений, где он характеризуется стабильностью компонентного состава и физико-химических показателей и не требует последующей сложной технологической переработки, а также с нефтяных и газоконденсатных месторождений в качестве попутного газа. В таблице 1.1 приведен состав и основные показатели СПГ в зависимости от типа месторождения [8, 14].

По состоянию на 1999 год, по статистике фирмы "British Petroleum", разведанные запасы природного газа на планете составляют 145 триллионов  $\text{нм}^3$ , что эквивалентно 136,6 млрд. т. нефти. При годовом потреблении СПГ в мире около 2,1 трлн.  $\text{нм}^3$ , этих запасов традиционных газовых месторождений хватит примерно на 70 лет [6-8].

Наиболее перспективным с точки зрения использования газовых топлив (особенно CNG) является работа дизеля по газо-дизельному циклу.

Основные физико-химические показатели природного газа по сравнению с бензином и другими видами альтернативных топлив представлены в таблице 1.2 [15].

Таблица 1.1

## Состав и физико-химические показатели природного газа

Тип месторождения	Состав природного газа, % об.				Плотность при н. у., $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплота сгорания нижняя, $\text{МДж}/\text{м}^3$
	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$ и выше	и $\text{CO}_2$	$\text{N}_2$		
Чисто газовое	90...99	1...3	0,01...0,5	0,5...5	0,72...0,76	35...38
Нефтяное	40...90	2...50	0,2...1	1...20	0,8...1,5	32...35
Газоконденсатное	80...94	2...5	0,1...2	0,5...20	0,77...1,0	33...35

Природный газ с содержанием метана более 90%, имеет более высокую массовую теплоту сгорания (50  $\text{МДж}/\text{кг}$ ) по сравнению с бензином (44  $\text{МДж}/\text{кг}$ ). Но, в связи с меньшей плотностью метана теплота сгорания стехиометрической смеси (метан + воздух) несколько меньше по сравнению с бензовоздушной смесью (табл.1.2).

Таблица 1.2

Сравнительные характеристики моторных топлив

№	Показатели	Бензин	Сжиженн ые нефтя- ные газы	При-род- ный газ	Этанол	Мета- нол	Водо- род
1	Фазовое состояние при хранении	жидкост ь	жидкость	газ	жидкость	жидкост ь	Газ
2	Токсичность	да	да	нет	нет	да	да
3	Плотность при н. у., кг/д; кг/м3	0,72...0,74	0,52...0,55	0,72...0,78	0,79	0,795	0,09
4	Относительная плотность паров по воздуху	4,0...5,0	1,5...2,0	0,56...0,62	1,59	1,11	0,07
5	Теплота сгорания нижняя, МДж/кг	44,0	46,3	50,0	27,2	21,5	120,0
6	Стехиометрическое соотношение кг воздуха/кг топлива	15,05	15,7	16,8	9,0	6,5	34,5
7	Количество воздуха в стехиометри-ческой смеси, м3 воздуха/м3 пара	58,0	24...31	9,52	14,2	7,15	2,4
8	Теплота сгорания стехиометрической смеси, МДж/м3	3,71	3,5...3,8	3,49	1,77	2,62	3,19
9	Октановое число (по моторному методу)	76...94	90...94	110...120	92	88...94	40
10	Границы зажигания в смеси с воздухом,% об	0,6...6,0	1,9...9,5	5,0...15,0	4,0...13,7	5,5...21	4,0...74
11	Коэффициент избытка воздуха в пределах зажигания	0,3...1,75	0,35...1,78	0,6...2,0	0,7...2,0	0,7...2,0	0,15...10
12	Коэффициент диффузии в воздухе, см2/с	0,05...0,06	0,06...0,1	0,16...0,19			2,00
13	Температура зажигания, °С	320...450	370...450	550...690	570...630	530...580	550...600
14	Минимальная энергия зажигания, МДж	0,24...0,30	0,25...0,30	0,28...0,29			0,02

Выводы

Итак, проведенный анализ существующих исследований показал, что на данном этапе развития современной альтернативной энергетики наиболее перспективным является использование в дизельных двигателях газовых топлив, в частности, природного газа. Природный газ может быть использован как альтернатива традиционному нефтяному топливу.

Природный газ имеет ряд преимуществ, в частности, высокое октановое число и является более экологически чистым топливом, поскольку состоит преимущественно из метана  $CH_4$ , который подвергается чистому сгоранию.

Использование природного газа позволит снизить использование топлива нефтяного происхождения и способствовать сохранению окружающей среды благодаря уменьшению суммарных выбросов вредных веществ с отработавшими газами и уменьшения их дымности.

### Список литературы

1. Дельгадо Р. Транспорт XXI века: решение и проблемы защиты воздушного бассейна мегаполисов // Приводная техника. – 2000. – №3. – С.47–51.
2. Statistical Review of World Energy June 2017 [Электрон.ресурс]. - 2017. - URL: [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de\\_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf). (дата обращения: 01.11.2020).
3. Кобец Н. Перспективы производства и переработки семян рапса в Украине: Сб. докл. 6 Междунар. Конф. «Масложировая промышленность – 2005». -Киев,Украина, 2005. - С.46-52.
4. Книш Ю.В. Шляхи зменшення шкідливих викидів автотранспорту у навколишнє середовище // Науковий вісник НЛТУ України. - 2014. - № 24.3. - С. 81-86.
5. Хачиян А.С. Использование природного газа в качестве топлива для автомобильного транспорта // Двигателестроение. -2002.- №1. С.34-36.
6. Стативко В.Л. Формирование российского рынка альтернативных видов моторных топлив // Газовая промышленность. -2007. -№4.- С.17–19.
7. Кириллов Н.Г. Проблемы перехода автомобильного транспорта на водородное топливо // Газовая промышленность. - 2007. - №2.- С.68–72.
8. Будзуляк Б.В. Экологическая безопасность использования газомоторного топлива // Газовая промышленность. -1993.- №9.- С.28–30.
9. Конференция по климату в Париже 2015 [Электрон.ресурс]. - 2017. - URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BE\\_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%83\\_%D0%B2\\_%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B5\\_\(2015\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%83_%D0%B2_%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B5_(2015)) (дата обращения: 01.11.2020).
10. Ковбасенко С. Переобладнання дизеля в газодизель, як можливість розширення паливної бази автомобільного транспорту // Вісник. Науково-технічний збірник №1 (37). Серія «Технічні науки». НТУ. -2017. - С.154-160.
11. Долганов К.Є., Говорун А.Г., П'ятничко О.І. Автомобілі з бензогазовими двигунами і газодизелями: особливості конструкції і технічного обслуговування / К.Є.Долганов, А.Г.Говорун, О.І.П'ятничко. - Киев: Техніка, 1991. – 128 с.
12. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Харьков: Новое слово, 2007. – 452 с.
13. Лютко В. Застосування альтернативних палив у дизельних двигунах / В. Лютко. – Івано-Франківськ: Радомська Політехніка, 2000. - 238 с.
14. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
15. Гайнуллин Ф.Г., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Золатаревский Л. С. Природный газ как моторное топливо на транспорте/ Ф. Г. Гайнуллин, А. И. Гриценко, Ю. Н. Васильев, Л. С. Золатаревский. - Москва: Недра, 1986. – 255 с.
16. Тер-Мкртчян Г.Г. Конвертация дизеля в газовый двигатель [Электрон.ресурс]. - 2017. - URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14894>. (дата обращения: 01.11.2020).

Варламов Г.Б.<sup>1</sup>, Глазырин С.А.<sup>2</sup>, Барабаш П.А.<sup>3</sup>, Петренко В.Г.<sup>4</sup>, Бимурзина З.А.<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup> Украинаның Ұлттық техникалық университеті «Игорь Сикорский атындағы Киев политехникалық институты», Киев, Украина

<sup>2</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>5</sup>ЖШС «Астана – Энергия», Нұр-Сұлтан, Қазақстан

### Көлік дизельді қозғалтқыштарын газ-дизельді пайдалану режиміне ауыстырудың әдіснамалық негіздері

**Аңдатпа.** Альтернативті экологиялық моторлы отынды іздеудің, әзірлеудің және қолданудың тиімділігінің ғылыми негізі бар, басты артықшылығы дизельдік отынға қарағанда жалпы экологиялық қауіпсіздік тұрғысынан әлдеқайда тиімді газ отынын пайдалану болып табылады.

Жүргізілген зерттеулердің өзектілігі және осы мақалада ұсынылған әзірлемелер ICE жұмысының газ-дизельдік циклін пайдаланудың экологиялық және қолдану сипатының негізгі кешенді артықшылықтарын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл әлемдік температураның көтерілуін ұстап тұру үшін парниктік газдар шығарындыларын азайту жөніндегі климат туралы Париж хаттамасына сәйкес келеді.

Мақалада дизельдік қозғалтқыштарды оларды қысылған табиғи газбен жабдықтауды түрлендірудің негізгі ерекшеліктері мен әдістері сипатталған. Төмен және жоғары қуатты қолданыстағы дизель қондырғыларында газ-дизель циклын енгізудің барлық әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері жан-жақты талданған. Сондай-ақ, жұмыс істеп тұрған дизельді қозғалтқыштарда газ-дизель циклын енгізудің әрбір әдісі үшін негізгі операциялар мен жұмыс параметрлерінің өзгеруі сипатталған. Газ-дизель циклында жұмыс істейтін дизельді қозғалтқыштың әр түрлі жүктемелері үшін сығылған газ бен дизель отынын жеткізуде аралас сандық және сапалық бақылауды қолдану ғылыми түрде негізделген.

Жүйелеу жүргізіліп, дизельді қозғалтқыштарда газ-дизель циклын жүзеге асыруға болатын сұйық және газ мотор отындарының салыстырмалы сипаттамалары кесте түрінде келтірілген, жалпы қорытындылар жүйеленген.

**Түйін сөздер:** табиғи газ, дизельді қозғалтқыш, гибридті газ-дизельді отын жүйесі, экологиялық таза, самосвал.

Varlamov G.B.<sup>1</sup>, Glazyrin S.A.<sup>2</sup>, Barabash P.A.<sup>3</sup>, Petrenko V.G.<sup>4</sup>, Bimurzina Z.A.<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>L.N. Gumilev Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>5</sup>Astana-Energy JSC, Nur-Sultan, Kazakhstan

### Methodological basis for the conversion of transport diesel engines of transport diesel engines to gas-diesel operation

**Abstract.** The expediency of the search, development and use of alternative environmentally friendly motor fuels is scientifically substantiated, the main of which is the use of gas fuel, which is much more efficient than diesel fuel in terms of overall environmental safety.

The relevance of the research carried out and the developments proposed in this article will make it possible to realize the fundamental complex advantages of the ecological and operational nature of the use of the gas-diesel cycle of the ICE operation. This is in line with the Paris Protocol on a climate to reduce greenhouse gas emissions to keep the global average temperature rising.

The paper describes the main features and methods of converting diesel engines to their

compressed natural gas power supply. The advantages and disadvantages of all methods of implementing the gas-diesel cycle on existing diesel installations of low and high power are analyzed in detail. The main operations and changes in operating parameters for each method of implementing the gas-diesel cycle on operating diesel engines are also described. The use of a mixed quantitative and qualitative control of the supply of compressed gas and diesel fuel for various loads of a diesel engine operating on a gas-diesel cycle has been scientifically substantiated.

The systematization is carried out and the comparative characteristics of liquid and gas motor fuels, which can be used for the implementation of the gas-diesel cycle in diesel engines, are presented in tabular form, general conclusions are described.

**Keywords:** natural gas, diesel engine, hybrid gas-diesel fuel system, environmental friendliness, dump truck.

## References

1. Delgado R. Transport XXI veka: reshenie i problemy zashchity vozdušnogo bassejna megapolisov [Twenty-first century transport: solutions and challenges for protecting the air basin of megacities], Privodnaya tekhnika [Drive technology]. 2000. №3. P.47-51, [in Russian].
2. Statistical Review of World Energy June 2017, Available at: [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de\\_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf).(accessed 01.11.2020).
3. Kobets N. Perspektivy proizvodstva i pererabotki semyan rapsa v Ukraine [Prospects of rapeseed production and processing in Ukraine]: Sb. dokl. 6 Mezhdunar. Konf. «Maslozhirovaya promyshlennost' – 2005» [Proceedings of the 6th International Oil and Fats Industry Conf. Oil and Fats Industry Conference]. -Kiev,Ukraine, 2005. P.46-52, [in Russian].
4. Knysh Y.V. Puti umen'sheniya vrednyh vybrosov avtotransporta v okruzhayushchuyu sredu [Ways to reduce harmful emissions from vehicles into the environment], Nauchnyj vestnik NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of the NLCU of Ukraine]. 2014. No. 24.3. P. 81-86, [in Ukrainian].
5. Khachiyani A.S.S. Ispol'zovanie prirodnogo gaza v kachestve topliva dlya avtomobil'nogo transporta [Use of natural gas as fuel for road transport], Dvigatelistroenie [Engine construction]. 2002.No.1. P.34-36, [in Russian].
6. Stativko V.L. Formirovanie rossijskogo rynka al'ternativnyh vidov motornyh topliv [Formation of the Russian market of alternative types of motor fuels], Gazovaya promyshlennost' [Gas industry]. 2007. No.4. P.17-19, [in Russian].
7. Kirillov N.G. Problemy perekhoda avtomobil'nogo transporta na vodorodnoe toplivo [Challenges of converting road transport to hydrogen fuel], Gazovaya promyshlennost' [Gas industry]. 2007. No. 2. P.68-72, [in Russian].
8. Budzulyak B.V. Ekologicheskaya bezopasnost' ispol'zovaniya gazomotornogo topliva [Environmental safety of the use of NGV fuel] Gazovaya promyshlennost' [Gas industry]. 1993. No. 9. P.28-30, [in Russian].
9. Konferenciya po klimatu v Parizhe 2015 [Paris Climate Conference 2015], Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BE\\_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%83\\_%D0%B2\\_%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B5\\_\(2015\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%83_%D0%B2_%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B6%D0%B5_(2015)) [in Russian], (accessed 01.11.2020).
10. Kovbasenko S. Pereoborudovanie dizelya v gazodizel', kak vozmozhnost' rasshireniya toplivnoj bazy avtomobil'nogo transporta [Pereoborudovanie dizelya v gazodizel', kak vozmozhnost' rasshireniya toplivnoj bazy avtomobil'nogo transporta], Vestnik. Nauchno-tehnicheskij sbornik No. 1 (37) Seriya «Tekhnicheskie nauki». NTU [Bulletin. Scientific and Technical Collection. Technical Science Series. NTU]. -2017. - P.154-160, [in Russian].
11. Dolganov K.E., Govorun A.G., P'yatnichko A.I. Avtomobili s benzogazovimy dvigatelyami i

gazodizelyami: osobennosti konstrukcii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya [Vehicles with petrol and gas engines and gas-diesel engines: design and maintenance features], (Tekhnika, Kiev, 1991, 128 p.), [in Ukrainian].

12. Devyanin S.N. Rastitel'nye masla i topliva na ih osnove dlya dizel'nyh dvigatelej [Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines], (New word, Kharkiv, 2007, 452 p.), [in Russian].

13. Liotko V. Primenenie al'ternativnyh topliv v dizel'nyh dvigatelyah [The use of alternative fuels in diesel engines], (Radomska Politehnika, Ivano-Frankivsk, 2000, 238 p.), [in Ukrainian].

14. Parsadanov I.V. Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelej na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya [Improving the quality and competitiveness of diesels based on a comprehensive fuel and environmental criterion], (NTU KHPI, Kharkiv, 2003, 244 p.), [in Russian].

15. Gainullin F.G., Gricenko A. I., Vasil'ev YU. N., Zolotarevskij L. S. Prirodnyj gaz kak motornoe toplivo na transporte [Natural gas as motor fuel in transport], (Nedra, Moscow, 1986, 255 p.), [in Russian].

16. Ter-Mkrtich'yan G.G. Konvertaciya dizelya v gazovyj dvigatel' [Diesel to gas engine conversion], Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14894>. [in Russian], (accessed 01.11.2020).

#### **Информация об авторах:**

*Варламов Геннадий Борисович* - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и промышленная теплотехника», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический университет имени Игоря Сикорского», Киев, Украина.

*Глазырин Сергей Александрович* - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Барабаш Петр Алексеевич* - кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая и промышленная теплотехника», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический университет имени Игоря Сикорского», Киев, Украина.

*Петренко Валерий Георгиевич* - кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая и промышленная теплотехника», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический университет имени Игоря Сикорского», Украина.

*Бимурзина Зарина Аскарровна* - ведущий инженер отдела перспективного развития АО «Астана-Энергия», Нур-Султан, Казахстан.

*Varlamov Gennady Borisovich* - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Department of "Theoretical and Industrial Heat Engineering", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic University", Kyiv, Ukraine.

*Glazyrin Sergey Aleksandrovich* - Candidate of Technical Sciences, PhD, Head of the Department of Thermal Power Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Barabash Pyotr Alekseyevich* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Theoretical and Industrial Heat Engineering", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic University", Kyiv, Ukraine.

*Petrenko Valeriy Georgievich* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Theoretical and Industrial Heat Engineering", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic University", Kyiv, Ukraine.

*Bimurzina Zarina Askarovna* - Leading Engineer, Prospective Development Department, Astana-Energy JSC, Nur-Sultan, Kazakhstan.