EDN: JREQUW

УДК 621.431.73:629.113 *2.2.6*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Г.В. Кустарев[1], Р.Г. Данилов[1,2], Н.М. Андрюхов[1,3], В.И. Заколодкин[2]

[1] Российская инженерная академия
Российская Федерация, 125009, г. Москва, Газетный пер., 9, стр. 4

[2] Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)
Российская Федерация, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, 2

[3] Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Российская Федерация, 125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64

Аннотация. Рассмотрены характерные особенности, преимущества и недостатки газовых и битопливных двигателей внутреннего сгорания. Приведены технические параметры и внешние скоростные характеристики современных отечественных газовых двигателей, применяемых на автомобильном транспорте. Рассмотренные в статье материалы позволяют обоснованно выбрать газовый двигатель для использования его на автомобильном транспорте.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, газопоршневой двигатель, газодизель, автомобильный транспорт, внешние скоростные характеристики, мощность, крутящий момент.

Введение

В настоящее время на автомобильном транспорте широкое применение получают двигатели внутреннего сгорания, работающие на газомоторном топливе. Также широко используются битопливные двигатели, которые кроме основного вида топлива дизельного и бензинового могут работать на газообразном топливе – компримированном природном газе (КПГ) или сжиженном нефтяном газе (СНГ). Коммерческая эффективность применения газовых и битопливных двигателей определяется низкой стоимостью газомоторного топлива.

Материалы

Сравнение рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания при работе на газообразном топливе и на бензине (не говоря уже о других более тяжелых топливах) показывает, что при работе на газе упрощается процесс подготовки рабочей смеси, поскольку в смеситель поступает уже газообразное топливо, легче и совершеннее смешиваемое с воздухом, чем жидкое. При работе на газе не имеет места конденсация паров на стенках всасывающего трубопровода и на стенках цилиндров непрогретого двигателя. Благодаря этому смесь, поступающая в отдельные цилиндры, имеет более однородный состав. Отпадает также необходимость в подогреве всасывающей трубы, не разжижается смазка в картере

и почти отсутствует нагарообразование. Это не только увеличивает время работы двигателя без замены масла, но и уменьшает коррозию и износ цилиндров, поршней и колец.

Хорошие пусковые свойства газообразного топлива обеспечивают легкий запуск двигателя даже при низких температурах окружающего воздуха. Благодаря полному сгоранию, хорошей сохранности смазки и малому нагарообразованию двигатели при работе на газообразном топливе более долговечны и реже периодичность ремонта и технического обслуживания.

Отработанные газы вследствие полного сгорания менее вредны, чем отработанные газы жидких топлив. Высокие октановые числа газообразных горючих обеспечивают мягкую, без детонационных явлений, работу двигателя на любых режимах, что является наиболее эффективным средством повышения мощности и экономичности.

При переводе бензинового двигателя на газообразное топливо, в особенности на низкокалорийное, наблюдается некоторая потеря мощности. При прочих равных условиях эта потеря вызывается в основном меньшей теплотворной способностью большинства газовоздушных рабочих смесей по сравнению с бензино-воздушной смесью. Для метанового газа эта потеря не превышает 8-9 %. Мощность двигателя, работающего на сжиженном газе, не уступает мощности при работе на бензине, изменяясь в пределах 3-5 % в ту или другую сторону на различных режимах, в зависимости от состава газа, степени подогрева рабочей смеси и конструкции смесительного устройства.

Переоборудование дизельных двигателей под использование газового топлива имеет свои особенности. Газ, при увеличении давления в цилиндре на такте сжатия, в отличие от дизельного топлива, не воспламеняется. Двигатель дооборудуют принудительной системой зажигания (свечами зажигания как у бензиновых моторов).

Битопливные газодизельные и газобензиновые двигатели, кроме основного вида топлива, способны работать на газовом топливе (КПГ или СНГ). Битопливные двигатели менее зависимы от наличия газовых заправочных станций. Обычные серийные дизели [1, 2] становятся газодизелями после оснащения автомобиля газовой топливной аппаратурой, ее регулировки и испытаний. В газодизелях для зажигания топливовоздушной смеси используется запальная порция дизельного топлива. Для газодизелей, оснащенных современной топливной системой Common Rail, запальная порция дизтоплива составляет от 5-10 % на номинальном режиме до 30-40 % при малой нагрузке [3].

Недостатками газовых двигателей являются значительный занимаемый объем и большая масса баллонов для хранения КПГ, недостаточный пробег на одной заправке, сложности с заправкой в районах, где нет большого числа газовых заправочных станций, это и повышенные требования безопасности при работе с газообразным топливом. Тем не менее для эксплуатации на коммерческом транспорте важным и приоритетным является высокий экономический эффект от использования дешевого газового топлива.

В таблицах 1—8 приведены внешние скоростные характеристики (ВСХ) современных отечественных газовых и битопливных двигателей. Основные технические параметры газовых и битопливных двигателей приведены в таблице 9.

Таблица 1. ВСХ газовых двигателей Ярославского моторного завода

Модель двигателя	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при частоте вращения n, мин$^{-1}$						
					1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
ЯМЗ-53444	110	2300	490	1200	44	61,5	71,8	82	92,4	102,6	108
ЯМЗ-53414	125	2300	590	1300	50	72	86,5	98,8	109	121	126
ЯМЗ-53424	128	2300	595	1300	49	71,5	87	100	112	121	126,7
ЯМЗ-53504	154	2300	780	1200	56,5	97	114	130,7	143	150	153
ЯМЗ-53654	154	2300	800	1200	68	100	117	134	143	149	151
ЯМЗ-53644	192	2300	1099	1100	100	138	161	184	192	196	196
ЯМЗ-53624	211	2300	1148	1100	104,7	144	168	192	203,5	208	209,5
ЯМЗ-53604	229	2300	1236	1200	99,5	155	181	207	220	226	230

Таблица 2. ВСХ рядных газовых двигателей ПАО «КАМАЗ»

Модель двигателя	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$					
					800	1000	1200	1400	1600	1800
КАМАЗ-950.53-350	257	1900	1700	1100	109	169	214	249	265	264
КАМАЗ-950.52-400	294	1900	1800	1100	109	176	226	264	297	299
КАМАЗ-950.51-430	318	1900	1900	1100	109	184	239	278	313	318
КАМАЗ-950.50-460	338	1900	2000	1100	109	194	251	293	331	337

Таблица 3. ВСХ V-образных газовых двигателей ПАО «КАМАЗ»

Модель двигателя	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$						
					1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
КАМАЗ-820.92-300	221	2200	1226	1500	112	145,5	153	202	213	219	221
КАМАЗ-820.93-320	235	2200	1373	1500	128	163	198,5	225	231	234	235

Таблица 4. ВСХ газовых двигателей АО «Кама-дизель»

Модель двигателя	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$						
					1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
КАМАЗ-445.551-160	118	2300	600	1300	44	73	88	100	109	115	117
КАМАЗ-445.550-185	136	2300	650	1400	48	78	95	109	117	126	134
КАМАЗ-667.551-260	191	2300	1000	1300	78	120	146,6	164	174	181	188
КАМАЗ-667.550-290	213	2300	1100	1300	72	128	161	183	194	205	211
КАМАЗ-689.551-320	235	2300	1200	1300	83	140	176	200	213	224	231
КАМАЗ-689.550-340	250	2300	1400	1300	105	167	205	231	239	247	249

Таблица 5. ВСХ газовых двигателей Минского моторного завода

Модель двигателя	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$					
					1000	1200	1400	1600	1800	2000
MMZ-262NG	100	2100	568	1500	54,5	70	83	94	99	100
MMZ-262NG.1	116	2100	659	1500	61	78	96	109	114	116
MMZ-262NG.2	132	2100	780	1400	68	94	114	128	132	133
MMZ-262NG.3	156	2100	925	1400	81	113	136	150	154	157

Таблица 6. ВСХ газодизельных двигателей Минского моторного завода

Модель двигателя	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$						
					1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
ГД-243	60	2200	298	1600	24,6	33	42,5	50	54	57,5	60
ГД-245.7	95,6	2200	422	1100	43,9	53	61,8	70,7	79,5	88,4	95,6
ГД-245.9	100	2400	460	1400		54	67	77	85	91	96
ГД-260.1	114	2100	622	1400	50	75	91	100	107	113	

Таблица 7. ВСХ битопливных двигателей Ульяновского моторного завода

Модель двигателя	Топливо	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$						
						1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
A2755 Evotech	Бензин	78,5	4000	220	2500	19	31,7	42,7	57,6	66,6	75,1	78,5
A2755 Evotech	СНГ	76,7	4000	219	2500	20,5	32,2	42,8	57,3	66	74	76,7
A3055 Evotech	Бензин	87,5	4000	250	2350	21,5	34,5	49,8	64,6	73,2	83,9	87,5
A3055 Evotech	СНГ	82,5	4000	240	2350	21,5	34,2	49	62	69,7	80,3	82,5
A3055 Evotech	КПГ	78	4000	220	2400	19,9	31,4	44	57,5	62,8	71,5	78

Таблица 8. ВСХ битопливных двигателей Заволжского моторного завода

Модель двигателя	Топ-ливо	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	M_{max}, Нм	n, мин$^{-1}$	Мощность, кВт, при n, мин$^{-1}$								
						1000	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2800	3000
ЗМЗ-5245.10	Бензин	101,8	3200	314	2600	29	44,5	54	61	63	70	78	91,5	96,8
ЗМЗ-5245.10	СНГ	98,1	3200	299,6	2600	27,5	41	47	53,5	60	67	75	86	93,5
ЗМЗ-5245.10	КПГ	90,5	3200	277,4	2600	26,5	39,5	45	51	57	63	69	81	85,8

Таблица 9. Технические параметры отечественных газовых и битопливных двигателей

Производитель, базовая модель	Число и вид цилиндров	Диаметр и ход поршня, мм	Рабочий объем, л	Номинальная мощность N_e при частоте вращения			Макс. крутящий момент M_{max} при частоте вращения			Масса, кг
				кВт	л. с.	мин$^{-1}$	Н·м	кгс·м	мин$^{-1}$	
ММЗ ГД-243	4РВ	110×125	4,75	60	81,6	2200	298	30,4	1600	430
ММЗ ГД-245.7	4РВ	110×125	4,75	95,6	130	2200	422	43	1100	450
ММЗ ГД-245.9	4РВ	110×125	4,75	100	136	2400	460	46,9	1400	450
ММЗ ГД-260.1	6РВ	110×125	7,12	114	155	2100	622	63,4	1400	690
MMZ-262NG	6РВ	110×140	7,98	100	136	2100	568	57,9	1500	900
MMZ-262NG.1	6РВ	110×140	7,98	116	158	2100	659	67,2	1500	900
MMZ-262NG.2	6РВ	110×140	7,98	132	180	2100	780	79,5	1400	900
MMZ-262NG.3	6РВ	110×140	7,98	156	212	2100	925	94,3	1400	900
УМЗ А2755 Evotech	4РВ	96,5×92	2,69	78,5	107	4000	220	22,4	2500	178
УМЗ А3055 Evotech	4РВ	96,5×102	2,984	87,5	119	4000	250	25,5	2350	205
ЗМЗ-5245.10	8V90	92×88	4,67	101,8	138	3200	314	32	2600	268
ЯМЗ-53444	4РВ	105×128	4,43	103	140	2300	490	49,9	1200	460
ЯМЗ-53414	4РВ	105×128	4,43	125	170	2300	590	60	1200	460
ЯМЗ-53504	4РВ	110×135	5,13	154	210	2300	780	79,5	1200	540
ЯМЗ-53654	6РВ	105×128	6,65	154	210	2300	800	81,5	1200	640
ЯМЗ-53644	6РВ	105×128	6,65	192	261	2300	1099	112	1100	640
ЯМЗ-53624	6РВ	105×128	6,65	211	287	2300	1148	117	1100	640
ЯМЗ-53604	6РВ	105×128	6,65	229	311	2300	1236	126	1200	640
КАМАЗ-445.551-160	4РВ	107×124	4,46	118	160	2300	600	61,2	1300	385
КАМАЗ-445.550-185	4РВ	107×124	4,46	136	185	2300	650	66,3	1400	385
КАМАЗ-667.551-260	6РВ	107×124	6,67	191	260	2300	1000	102	1300	575
КАМАЗ-667.550-290	6РВ	107×124	6,67	213	290	2300	1100	112	1300	575
КАМАЗ-689.551-320	6РВ	114×144	8,88	235	320	2300	1200	122	1300	710
КАМАЗ-689.550-340	6РВ	114×144	8,88	250	340	2300	1400	143	1300	710
КАМАЗ-820.92-300	8V90	120×130	11,76	221	300	2200	1226	125	1500	860
КАМАЗ-820.93-320	8V90	120×130	11,76	235	320	2200	1373	140	1500	860
КАМАЗ-950.53-350	6РВ	132×158	12,97	257	350	1900	1700	173	1100	1130
КАМАЗ-950.52-400	6РВ	132×158	12,97	294	400	1900	1800	183	1100	1130
КАМАЗ-950.51-430	6РВ	132×158	12,97	318	430	1900	1900	194	1100	1130
КАМАЗ-950.50-460	6РВ	132×158	12,97	338	460	1900	2000	204	1100	1130

Примечание: РВ – рядное вертикальное; V90 – V-образное под углом 90°.

Двигатели мощностью до 150 кВт и массой до 500 кг используются на легких коммерческих автомобилях, сельскохозяйственной технике и автобусах малого и особо малого класса. Двигатели мощностью до 300 кВт предназначены для среднетоннажных грузовых автомобилей и автобусов, а более 300 кВт устанавливают на седельные тягачи, работающие на междугородних перевозках, самосвалы и другую строительную технику.

Результаты

Автомобильный транспорт получает широкие перспективы и важные преимущества при использовании газовых двигателей. Снижение финансовых затрат до 25 %, в том числе за счет более низкой стоимости топлива. В результате более «мягкого» рабочего процесса увеличивается интервал межсервисного технического обслуживания. Ресурс двигателя, работающего на газе, увеличивается на 20-30 %, уменьшается шум и вибрация. Газодизельный двигатель при сохранении мощностных характеристик обеспечивает на 14 % снижение выбросов CO_2 в атмосферу.

Обсуждение

Важно при проектировании новых машин использовать современные двигатели. Приведенные в статье технические параметры и внешние скоростные характеристики позволяют обоснованно подобрать современные отечественные экологически чистые газовые и битопливные двигатели. Выбор двигателя осуществляется по результатам расчета баланса мощности автомобиля в самом напряженном режиме с учетом характера его движения, дорожных условий, а также потерь мощности на привод генератора, компрессора, насосов гидросистемы и др. устройств и выполнения проверочных тяговых расчетов, позволяющих на начальном этапе определить кинематические и динамические характеристики разрабатываемой техники в заданных условиях эксплуатации.

Дополнительные материалы

Вклад авторов

Личный вклад авторов. Концепция — Г.В. и Р.Г.; формальный анализ — Н.В.; ресурсы — Р.Г.; подготовка данных — Н.В. и В.И.; написание — оригинальный черновик — Р.Г.; написание — рецензирование и редактирование — Г.В.; визуализация — В.И.; надзор — Г.В.; административное управление проектом — Г.В. Все авторы прочитали и согласны с опубликованной версией рукописи.

Финансирование

Финансирование. Это исследование не получило внешнего финансирования.

Благодарности

Авторы благодарят д-ра техн. наук, проф. В.В. Минина (Сибирский Федеральный университет) за оказанную поддержку и направление научных исследований. Авторы признательны генеральному директору Минского моторного завода А.М. Ботвиннику, генеральному директору ПАО «Автодизель» А.А. Матюшину, генеральному директору ПАО «КАМАЗ» С.А. Когогину и руководителю группы комплектации двигателей, силовых агрегатов и сертификации КИО двигателей НТЦ ПАО «КАМАЗ» Е.С. Семенову за предоставленную техническую информацию по современным двигателям.

Конфликт интересов

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этические требования

Этические требования. Не применяются.

Заявление об информированном согласии. Получено информированное согласие от всех участников исследования.

Список литературы

1. Кустарёв Г.В. Автотракторные двигатели наземной транспортно-технологической техники на современном этапе / Г.В. Кустарёв, Р.Г. Данилов, Н.М. Андрюхов // IV Междунар. Косыгинский Форум «Проблемы инж. наук: формирование технологического суверенитета». Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симп. «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны» (20-22 февраля 2024 г.). Т. 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2024. – С. 154–161.
2. Данилов Р.Г. Газовые двигатели для строительных машин / Р.Г. Данилов, Н.М. Андрюхов, В.А. Кижапкин и др. // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2025. – № 1. –С. 114-119.
3. Синявский В.В., Шатров М.Г., Максимов И.В., Вакуленко А.В., Голубков Л.Н. Предложения по организации рабочего процесса автомобильного газодизеля / В.В. Синявский, М.Г. Шатров, И.В. Максимов и др. // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 2 (36).

PROSPECTS FOR USING GAS ENGINES BY ROAD TRANSPORT

G.V. Kustarev[1], R.G. Danilov[1,2], N.M. Andryukhov[1,3], V.I. Zakolodkin[2]

[1] Russian Academy of Engineering
Building 4, 9, Gazetny Lane, Moscow, 125009, Russian Federation

[2] State Scientific Center of the Russian Federation Federal State Unitary Enterprise "Central Research Automobile and Auto-Motor Institute "NAMI"" (SSC RF FSUE "NAMI")
2, Avtomotornaya St., Moscow, 125438, Russian Federation

[3] Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI)
64, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russian Federation

Absrtact. The article discusses the characteristics, advantages, and disadvantages of gas and bi-fuel internal combustion engines. It provides technical parameters and external speed characteristics of modern domestic gas engines used in automotive transport. The materials presented in the article allow for a reasonable selection of a gas engine for use in automotive transport.

Keywords: internal combustion engine, gas-piston engine, gas-diesel engine, automobile transport, external speed characteristics, power, and torque.

Материалы представлены на Международной научно-практической конференции «Современные подходы и практические инициативы в инженерных науках» (г. Казань, 2-3 октября 2025 года).

Статья представлена в редакцию 15 августа 2025 г.