

DOI: 10.17516/1999-494X-0428

УДК 621.436.052

Traction and Fuel-Economic Properties of Buses, Compressed Natural Gas

Bakhtiyor Bazarov*,
Ravshanjon Axmatjanov, Fakhriddin Sidikov,
Karimulla Ergashev and Bakhrom Vasidov
Tashkent State Transport University
Tashkent, Uzbekistan

Received 19.05.2022, received in revised form 07.09.2022, accepted 19.09.2022

Abstract. The use of compressed natural gas as a motor fuel is the most affordable and modern solution to the energy and environmental problems of road transport. The conversion and operation of city buses running on compressed natural gas contributes to a significant reduction in their harmful effects on the urban environment. It is known that the traction-speed, fuel-economic and environmental properties of vehicles largely depend on the performance properties of the type of motor fuel used. In this regard, the study of the comparative traction-speed, fuel-economic and environmental properties of vehicles can justify the choice of one or another type (brand) of a city bus running on compressed natural gas. This article presents the results of scientific research on obtaining traction-speed, fuel-economic and environmental properties of buses running on compressed natural gas.

Keywords: traction and fuel-economic calculation, compressed natural gas, city bus.

Citation: Bazarov, B., Axmatjanov, R., Sidikov, F., Ergashev, K., Vasidov, B. Traction and Fuel-Economic Properties of Buses, Compressed Natural Gas. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2022, 15(8), 931–939. DOI: 10.17516/1999-494X-0428

Тяговые и топливно-экономические свойства автобусов, работающих на сжатом природном газе

**Б. Базаров, Р. Ахматжанов,
Ф. Сидиков, К. Магдиев, Б. Васидов**
*Ташкентский государственный
транспортный университет
Узбекистан, Ташкент*

Аннотация. Использование сжатого природного газа в качестве моторного топлива является наиболее доступным и современным решением энергоэкологических проблем автомобильного транспорта. Эксплуатация городских автобусов на сжатом природном газе способствует значительному снижению вредных воздействий на городскую окружающую среду. Известно, что тягово-скоростные, топливно-экономические и экологические свойства транспортных средств во многом зависят от эксплуатационных свойств используемого вида моторного топлива. В этой связи изучение сравнительных тягово-скоростных, топливно-экономических и экологических свойств транспортных средств может обосновать выбор того или другого типа (марки) городского автобуса, работающего на сжатом природном газе. В данной статье приведены результаты научных исследований тягово-скоростных, топливно-экономических и экологических свойств автобусов, работающих на сжатом природном газе.

Ключевые слова: тяговый и топливно-экономический расчет, сжатый природный газ, городской автобус.

Цитирование: Базаров, Б. Тяговые и топливно-экономические свойства автобусов, работающих на сжатом природном газе / Б. Базаров, Р. Ахматжанов, Ф. Сидиков, К. Магдиев, Б. Васидов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(8). С. 931–939. DOI: 10.17516/1999-494X-0428

Введение

Оценка принятых конструкторско-технологических решений и получение высоких эксплуатационных показателей газобаллонных городских автобусов во многом зависит от выполнения существующих требований по разработке и постановке готовой продукции на производство.

Это особенно важно при переводе различных автобусов с дизелями на питание сжатым природным (СПГ) или сжиженным нефтяным газом (СНГ).

Процессы перевода транспортной техники на СПГ/СНГ отличаются по затратам и технической и организационной сложности от тех, которые имеют место при переводе транспортных средств на двухтопливную («газ-бензин») систему питания.

Проведение испытаний газобаллонной техники в реальных условиях эксплуатации позволяет получить необходимые данные для сравнительной оценки, а результаты могут стать основанием для рекомендаций по эксплуатации того или другого типа (марки) городского автобуса.

1. Цель и постановка задачи

Известно, что установление тягово-скоростных, топливно-экономических и экологических свойств транспортных средств служит научно-практическим обоснованием для их эксплуатации.

Обычно на альтернативные виды топлив (энергии) в основном переводят те транспортные средства, которые работают на бензине или дизельном топливе. При этом большое внимание обращают на разницу энергоэкологических показателей двигателей, работающих на том или на другом виде топлива. В этой связи сначала предварительно определяют расчетные значения тягово-скоростных и топливно-экономических свойств транспортных средств, переведенных на альтернативные виды топлив, а затем устанавливают их экспериментальные значения для сравнения.

Следует отметить, что при официальном утверждении типа транспортного средства, работающего на любом альтернативном виде топлива (например, на сжиженном нефтяном или на сжатом природном газе) допускается, что его номинальная выходная мощность должна составлять от 0,7 до 1,15 от выходной мощности двигателя базового транспортного средства [1–3].

Однако многие потребители транспортных средств, работающих на альтернативном виде топлива, заинтересованы в сохранении базовых показателей независимо от вида используемого моторного топлива.

При использовании любого вида моторного топлива предварительную оценку основных показателей транспортного средства производят расчетным способом и при получении удовлетворительных результатов далее проводят экспериментальные исследования.

При сравнении результатов расчетных и экспериментальных исследований основных показателей транспортного средства принимаются конкретные решения по использованию того или другого вида альтернативного энергетического источника или установки.

2. Анализ публикаций

Длительное время перевод различных дизельных транспортных средств, включая автобусы, на питание СПГ или СНГ осуществлялся путем их переоборудования газобаллонными установками [2–6].

Вместе с тем имеется широкий выбор различной нормативной, руководящей документации по переоборудованию, эксплуатации транспортных средств на СПГ/СНГ, работающих по двухтопливной системе питания («газ-бензин»). Данные транспортные средства могут работать или на базовом жидком топливе (бензин) или на СПГ/СНГ. Переоборудование данных транспортных средств осуществляется при значительно меньших временных и материальных затратах. Большинство указанной документации содержит отличительные технические показатели и характеристики транспортных средств, работающих на альтернативном виде топлива. К ним относятся контрольный расход СПГ/СНГ при постоянной скорости или при различных циклах движения; пассажироместимость или допустимая масса перевозимого груза; максимальная скорость движения; время разгона до скорости 100 км/ч; запас хода с одной заправкой и др. [7–10].

Однако подавляющее большинство организаций, которые занимаются переоборудованием колесной и другой техники на питание СПГ/СНГ, ограничивается лишь общими рекомендациями по эксплуатации, данными о конструкции и работе составляющих элементов, агрегатов газобаллонного оборудования.

Такой подход к данному вопросу порождает ряд проблем, связанных с обеспечением безопасной эксплуатации, установлением реальных эксплуатационных расходов топлива,

планированием эксплуатационных показателей колесной техники, работающей на СПГ/СНГ [11–17].

Такую же проблему наблюдаем при переводе дизельной техники на питание СПГ/СНГ по газодизельной или однопаливной (газовой) системе питания. Например, разработанные технические проекты на автобусы ISUZU SAZ NP21(NP26, NP37), SAZ HCYO, SAZ LE 60 и их модификации для переоборудования в газобаллонные также ограничиваются общими рекомендациями по эксплуатации.

3. Методы исследований

Тягово-скоростные и топливно-экономические свойства транспортных средств, переоборудованных на питание альтернативными видами топлив, исследуют поэтапно. На первом этапе выполняют расчет автомобиля (тепловой расчет двигателя, основные тяговые и топливно-экономические показатели) на базовом и альтернативном видах топлива. Далее полученные результаты сравнивают с экспериментальными данными.

Известно, что переоборудование механических транспортных средств на питание сжатым природным или сжиженным нефтяным газам относится к категории модернизированной продукции, которая должна проходить установленные этапы разработки, испытания опытных образцов, постановку на производство и периодические испытания выпускаемой продукции (техники) [18].

Предварительные испытания опытного образца проводят для определения соответствия получаемых отдельных показателей техническому заданию или существующим стандартам [19–21]. Данные испытания организует исполнитель проекта с целью определения того, насколько отличаются полученные результаты от соответствующих показателей базового транспортного средства.

Как уже было отмечено, основные показатели и характеристики переоборудованных транспортных средств устанавливают организации, осуществляющие эти работы (услуги) с указанием конкретных отклонений от базовых показателей и характеристик. Например, O'zDSt 1082:2011, кроме грузоподъемности (пассажиروместимости) и массы, также устанавливает изменение значений максимальной скорости (V_{\max}), времени разгона (t_a) до расстояния 1000 м и расхода топлива при постоянной скорости (60 km/h для категорий M_2 , M_3 и N , 80 km/h для категории M_1) на 100 км пути (G_{60} или 80 на 100 км) при принятии их значений за 100 % до переоборудования автотранспортных средств:

- для категорий M и N с принудительной системой зажигания (бензиновых), переоборудованных на СПГ с инжекторной системой питания двигателя, после переоборудования V_{\max} – не менее 94 %, t_p – не более 115 %, G_{60} или 80 на 100 км – не более 110 %;

- для категорий M и N с воспламенением от сжатия (дизеля), переоборудованных на СПГ (газовый двигатель с искровым зажиганием), V_{\max} – не менее для двигателя с турбонадувом 110 %, а без – 100 %, t_p – не более двигателя с турбонадувом 110 %, а без – 105 %, G_{60} или 80 на 100 км – не более для двигателя с турбонадувом 112 %, а без – 110 %.

При работе же дизеля с газодизельной системой питания V_{\max} – не менее для двигателя с турбонадувом 92 %, а без – 95 %, t_p – не более для двигателя с турбонадувом 114 %, а без – 105 %, G_{60} или 80 на 100 км – не более для двигателя с турбонадувом 112 %, а без – 110 %.

Необходимо заметить, что приемочные испытания опытных образцов газобаллонной техники, имеющие межведомственный характер, проводят с участием представителей соответствующих контролирующих органов.

4. Результаты и обсуждение

4.1. Тяговый и топливно-экономический расчёт автомобиля

Расчет автомобиля производят в соответствии с существующими методами, где значение требуемой мощности двигателя вычисляют по известной формуле:

$$N_e = \frac{V_{\max}}{3600\eta_{\text{тр}}} \left(G_a \Psi + \frac{K_b \cdot F \cdot V_{\max}^2}{13} \right), \text{ кВт}, \quad (1)$$

где Ψ – приведенный коэффициент дорожного сопротивления; V_{\max} – максимальная скорость движения автомобиля, км/ч; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии; G_a – сила тяжести автомобиля, Н; K_b – коэффициент лобового сопротивления воздуха; F – площадь лобового сопротивления автомобиля, м².

Полученное значение мощности по формуле (1) должно удовлетворять условию

$$N_{\text{емак}} = (1,05 \dots 1,1) N_e, \quad (2)$$

где $N_{\text{емак}}$ – максимальная мощность двигателя, установленная тепловым расчетом.

Последующие этапы исследований связаны уже с проведением экспериментальных испытаний городских газобаллонных автобусов.

Далее приведены обобщенные параметры исследованных газобаллонных городских автобусов (табл. 1).

4.2. Экспериментальные исследования основных тяговых и топливно-экономических показателей автобуса

Опытные образцы газобаллонной техники проходили полигонные испытания на Пскентском автополигоне, оснащенном необходимыми испытательными средствами для определения основных показателей и характеристик переоборудованных автотранспортных средств при полигонных испытаниях.

Пскентский автополигон (бывший Южный научно-исследовательский полигон для испытания автомобильной и мотоциклетной техники – ЮЖНИАМП) находится недалеко от г. Ташкента. Цементобетонное дорожное покрытие протяженностью 6,8 км и шириной проезжей части 14 м имеет три полосы движения: А. Внутренняя полоса – 80 км/ч; Б. Средняя полоса – 100...130 км/ч; В. Внешняя полоса – 160...220 км/ч, а также динамометрический участок – прямолинейный, строго горизонтальный – протяженностью 2 км.

В процессе полигонных испытаний использовали испытательное, контрольно-измерительное оборудование и приборы, необходимые для определения массовых показателей (весы автомобильные электронные переносные ВА-15 С-2); габаритных размеров; пройденного и тормозного пути, скорости, времени, замедления и ускорения (испытательный комплекс “Corrsys Datron”); влажности и температуры воздуха, скорости воздуха и др. На рис. 1 приведены фрагменты полигонных испытаний различных газобаллонных автомобилей на Пскентском автополигоне.

Таблица 1. Обобщенные параметры исследованных газобаллонных городских автобусов

Table 1. Generalized parameters of the studied gas-balloon city buses

№	Наименование параметра	Единицы измерения	MAN A22 CNG	ISUZU SAZ NP37	Справочное (гестрированные в г. Ташкенте)		
					ЛиАЗ-5292	Lotos (МАЗ-2016)	МАЗ-203965
1	Общее число мест (в т.ч. посадочных)	-	91 (28+1)	37 (14+1)	115 (24+1)	72 (27+1)	105 (25+1)
2	Нагрузка на переднюю/ заднюю ось	кг	5000/11000	2500/5000	7500/11000	4650/8800	7000/11000
3	Масса автобуса снаряж./полная	кг	9350/16000	4250/7000 **	11000/18450	8710/13480	10860/18000
4	Двигатель	-	MAN E 2876 LUN03	ISUZU 4HY1	Cummins CG-250.30	Yuchai YC 4G190	МБ OM 906 LA (BEV)
5	Количество цилиндров	-	P6	P4	P6	P6	P6
6	Рабочий объем двигателя	л	12,816	4,334	8,268	5,3	6,9
7	Номинальная мощность	кВт (л.с.) мин. ⁻¹	199(310) 1900	78(104) 3200	186(253) 2400	135(184) 2300	205(280) 2200
8	Максимальный крутящий момент	Нм мин. ⁻¹	1250 1000	268 1800	1017 1400	730 1400-1600	1000 1400-1600
9	Контрольный расход топлива при 60 км/ч	м ³ /100 _{км}	74-76 *	19,5-21,0 *	38	63*	40
10	Количество и объем газовых баллонов	шт/л	8/214	6/50	6/82+4/62	5/100	6/230
11	Суммарный объем баллонов	л (м ³)	1712 (342)	300 (72)	740 (148)	615 (123)	1380 (257)
12	Тип газового баллона	-	СПГ-3 Luxter Group (Великобритания)	СПГ-1 (Узбекистан)	СПГ-3 НПФ "Реал-Штрорм" (Россия)	СПГ-4 (Норвегия, Радаско)	СПГ-4 (Норвегия, Радаско)

Примечания:

* Эксплуатационный расход.

** Базовый показатель.



Рис. 1. Фрагменты полигонных испытаний различных газобаллонных автобусов ISUZU SAZ на Пскентском автополигоне

Fig. 1. Fragments of field tests of various ISUZU gas-balloon buses SAZ at the Pskent autopolygon

4.3. Обсуждение результатов расчетных и экспериментальных исследований основных тяговых и топливно-экономических показателей автобуса

Полученные результаты полигонных испытаний после обработки представлены в обобщенном виде, удобном для сравнения и составления заключения. В табл. 2 в качестве примера приведены обобщенные результаты полигонных исследований автобуса SAZ NP37 с газодизельной и газовой системами питания.

Таблица 2. Обобщенные результаты полигонных испытаний автобуса SAZ ISUZU NP37

Table 2. Generalized results of field tests of the bus SAZ ISUZU NP37

№	Наименование показателя	Система питания			Примечание
		Дизельное топливо	Газодизель	Сжатый природный газ	
1	Разгон автомобиля, s	67,43	70,23	68	Газодизельный вариант до 80 km/h; Газовый вариант до 60 km/h
2	Максимальная скорость движения, km/h	101,63	96,47	88,8	
3	Контрольный расход топлива при скорости 60 km/h, l/100km, (m ³ /100 km)	19,41	16,52m ³ ПГ+ 4,45lДТ	(17,87)	

Заключение

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Оценка целесообразности использования в качестве моторного топлива любого альтернативного энергетического источника выполняется поэтапно, причем началом таких работ является расчет сравнительных показателей энергетических установок транспортных средств с помощью известных методов, учитывающих отличительные свойства используемого моторного топлива.

2. Полученные расчетные значения тягово-скоростных и топливно-экономических свойств транспортных средств на различных топливах сравниваются с основными показателями (максимальная скорость движения, время разгона до заданной скорости движения, расход топлива) динамичности и топливной экономичности, полученными экспериментальным способом.

3. Полигонные испытания газобаллонной техники являются наиболее целесообразным способом оценки их эксплуатационных показателей и принятия решений о приемке к производству газобаллонных механических транспортных средств.

Список литературы / References

[1] *Правила 83 ЕЭК ООН*. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей [*UNECE Regulation 83. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to emissions of pollutants depending on the fuel required for the engines*] (in Russian).

[2] Базаров Б.И. *Научные основы энерго-экологической эффективности использования альтернативных моторных топлив*: дис. ... д-ра тех. наук. Ташкент, ТАДИ, 2006. 305 с. [Bazarov B.I. *Scientific bases of energy-environmental efficiency of using alternative motor fuels*. Tashkent, TADI, 2006 (in Russian)].

[3] Базаров Б. И., Калауов С. А., Васидов А. Х. *Альтернативные моторные топлива*: монография. Ташкент, SHAMS ASA, 2014. 186 с. [Bazarov B. I., Kalauov S. A., Vasidov A. X. *Alternative motor fuel*, Monograph. Tashkent, SHAMS ASA, 2014. 186 p. (in Russian)].

[4] *Outlook for biogas and Prospects for organic growth World Energy Outlook Special Report biomethane*. IEA, 2020. 93 p.

[5] *Стратегии устойчивого потребления и производства в странах Восточной Европы и Кавказа: обзор достижений и направление дальнейших действий*. ЮНЕП, 2015. 52 с. [*Sustainable Consumption and Production Strategies in Eastern Europe and the Caucasus: An Overview achievements and way forward*. UNEP, 2015 (in Russian)].

[6] Folkson R. *Alternative Fuels and Advanced Vehicle. Technologies for improved Environmental Performance*. London. ELSEVIER, 2014. 760 p.

[7] Davis S. C. *Transportation energy*. Data book: Edition 36. Oak Ridge: Center for Transportation Analysis, 2017. 458 p.

[8] Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. *Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания*. М., МАДИ, 2000. 311 с. [Lyutko V., Lukani V.N., Khachiya A. S. *Application of alternative fuels in internal combustion engines*. Moscow, MARI, 2000 (in Russian)].

[9] Bazarov B. I., Otabaev N. I., Odilov O. Z., Meliev H. O., Axynov J. A. Features of Using Liquefied Petroleum Gas with Addition of Dimethyl Ether as Fuel of Car with Spark-Ignition Engine. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2020, 7(11), 15695–15698.

[10] Bazarov B. I., Akhmatjanov R. N., Fayzullayev K., Odilov O. Z., Otabayev N. I. Performance Indicators of a Passenger Car with a Spark Ignition Engine Functioning With Different Engine Fuels: *Annals of R.S.C.B.*, 2021, 25(4), 6254–6262.

[11] Базаров Б. И., Сидиков Ф. Ш., Одилов О. З. и др. Современные тенденции в использовании альтернативных моторных топлив. *Журнал перспективных исследований в области технических наук*, 2019, 14(2), 186–188 [Bazarov B. I., Sidikov F. Sh., Odilov O. Z. and al. Modern trends in the use of alternative motor fuels. *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2019, 14(2) (in Russian)].

[12] Omar I. Award & R. Mamat & Obed M. Ali & et al. Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 82, 2586–2605.

[13] *Net Zero by 2050: A roadmap for the global energy system* («Нулевой баланс выбросов к 2050 году: план для глобальной энергетической системы»).

[14] Вахламов В. К. *Автомобили. Эксплуатационные свойства*. М., 2005. 240 с. [Vakhlamov V. K. *Cars. operational properties*. Moscow, 2005. 240 p. (in Russian)].

[15] Краченко В. А., Оберемок В. А. *Расчет основных параметров автомобиля и анализ его эксплуатационных качеств*. Зерноград, 2018. 154 с. [Krachenko V. A., Oberemok V. A. *Calculation of the main parameters of the car and analysis of its performance*. Zernograd, 2018 (in Russian)].

[16] Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. *Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств*. М., Машиностроение, 1989. 240 с. [Litvinov A. S., Farobin Ya. E. *Automobile. Theory of operational properties*. Moscow, 1989. 240 p. (in Russian)].

[17] Мелисаров В. М., Брусенков А. В., Беспалько П. П. *Тяговый и топливно-экономический расчёт автомобиля*. Тамбов, Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 28 с. [Melisarov V. M., Brusenkov A. V., Bespalko P. P. *Traction and fuel-economic calculation of the car*. Tambov, 2009 (in Russian)].

[18] *ГОСТ 15.001–73. Разработка и постановка продукции на производство*. Основные положения.

[19] *O'zDSt 35.110:2011 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения*: I. Элементов специального оборудования механических транспортных средств, двигатели которых работают на сжатом природном газе (СПГ). II. Транспортных средств в отношении установки элементов специального оборудования официального утвержденного типа для использования в их двигателях сжатого природного газа (СПГ).

[20] *O'zDSt 1082:2011 Переоборудование находящихся в эксплуатации автотранспортных средств для работы на сжатом природном газе*. Общие технические условия и методы испытаний.

[21] Ерохов В. И. *Газобаллонные автомобили. Конструкция, расчет, диагностика*. М., Горячая линия, 2006. 432 с. [Erokhov V. I. *Gas-balloon cars. Design, calculation, diagnostics*. М., Woetea line, 2006. 432 p. (in Russian)].