

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Статья посвящена анализу режимов работы автотранспортных средств в городских условиях эксплуатации на традиционном и альтернативном видах топлив (АВТ) (компримированном природном газе (КПГ) и сжиженном нефтяном газе (СГСН)). Исследования проводились в реальных условиях эксплуатации на базе ходовых лабораторий. По итогам выполненной работы предложен аналитический метод оценки эффективности перевода автомобилей на АВТ, разработаны нормы расхода газового топлива и разработана газовая аппаратура нового поколения, обеспечивающая эффективную работу грузовых автомобилей на КПГ.

Режимы работы современных автотранспортных средств (АТС) в значительной мере определяют экологическую и топливно-экономическую эффективность транспортного процесса.

МГТУ «МАМИ» и ОГУ проведен комплекс работ, связанных с оценкой режимов работы автотранспортных средств в городских условиях эксплуатации на традиционном и альтернативном видах топлива (компримированном природном и сжиженном нефтяном газе КПГ и ГСН соответственно).

Объектом исследований являлись рабочие процессы АТС (режимы работы, расход топлива, выброс вредных веществ и др.), а предметом исследований – автобусы, грузовые и легковые автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями, работающие на традиционных и альтернативных топливах.

Для исследования режимов работы АТС в реальных условиях эксплуатации на базе упомянутых автомобилей и автобусов разработаны ходовые лаборатории, оборудованные контрольно-измерительной аппаратурой и приборами для регистрации расхода топлива, режимов работы двигателя, скорости движения ав-

томобиля и выброса вредных веществ и других параметров.

Ходовые лаборатории разработаны на основе базовых транспортных средств или автобусов. Принципиальная схема ходовой лаборатории на базе грузового автомобиля представлена на рис. 1. Функциональная схема измерительной системы ГСН содержит соответственно контрольный 1 и магистральный 2 вентиля, мерный бачок 3, газовый редуктор соответственно низкого 4 и высокого 5 давления, магистраль-

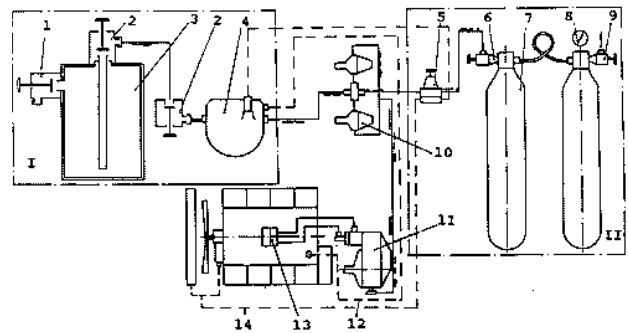


Рисунок 1. Принципиальная схема измерительной системы КПГ (или ГСН) ходовой лаборатории на базе автомобиля ГАЗ-33076 (33075): I - система измерения ГСН; II - система измерения КПГ.

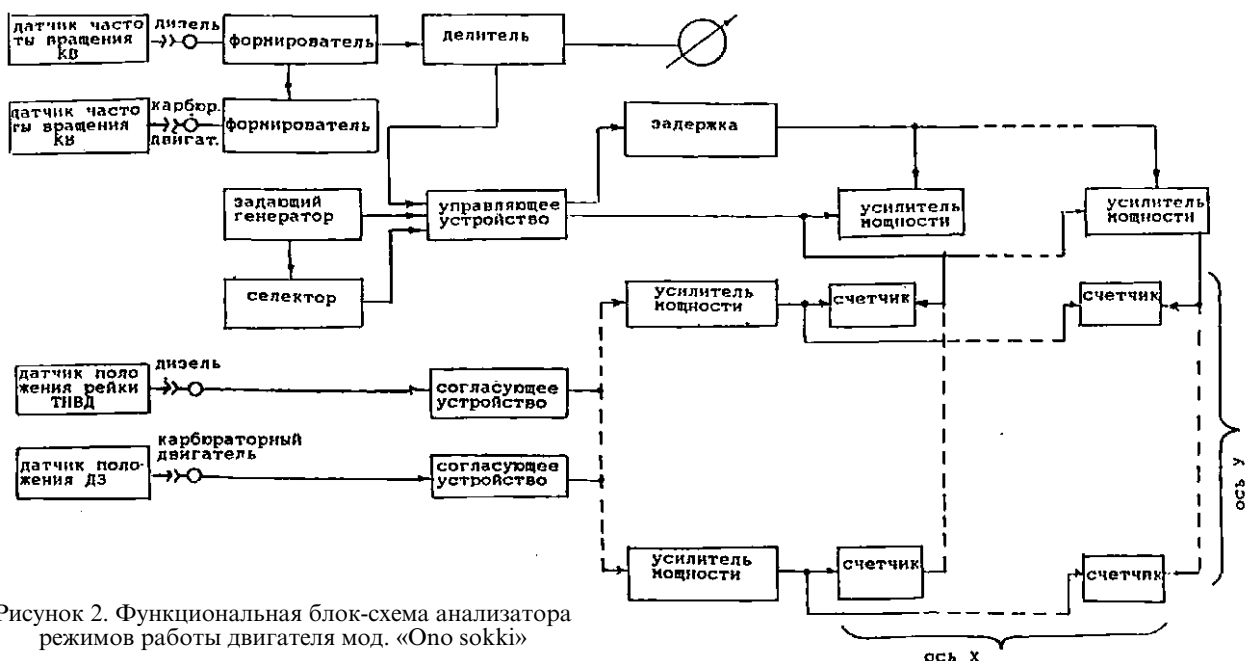


Рисунок 2. Функциональная блок-схема анализатора режимов работы двигателя мод. «Ono sokki»

ный клапан 6, баллон 7 КПП, манометр 8, наполнительный клапан 9, электромагнитный клапан 10, газовый редуктор 11, трубопровод отвода жидкости из испарителя 12, карбюратор-смеситель 13 и трубопровод подвода жидкости из системы охлаждения в подогреватель (испаритель). Аналогичная ходовая лаборатория была создана на базе автомобиля ЗИЗ-431610, КамАЗ-5320 и автобусов «Икарус-280».

Исследование режимов работы ДВС, особенностей и эффективности разработанных топливных систем и газовой аппаратуры в реальных условиях эксплуатации при работе на жидком моторном топливе или альтернативных видах топлива (СНГ, СПГ, бинарном топливе) осуществляли в реальных условиях эксплуатации на наиболее характерных и представительных режимах.

Изучение режимов движения автомобилей (ходовой лаборатории) осуществлялось с помощью статистического анализатора режимов работы двигателя фирмы «Ono sokki» мод. PIFA-100. Общий вид статистического анализатора режимов работы двигателя и блок-схема представлены на рис. 2.

Диапазоны нагрузочного и скоростного режимов работы двигателя разделены на 10 интервалов каждый. При делении диапазонов на 10 интервалов представляется возможным регистрация 100 режимов. При этом нагрузочный режим работы двигателя характеризуется величиной открытия ДЗ, а скоростной -  $n$  КВ двигателя. Текущий режим отсчитывается на пересечении одной из 10 точек X и Y осей анализатора и интегрируется счетчиком, работающим от тактовых импульсов электронного секундомера. Датчик регистрации величины открытия ДЗ устанавливаются на ее оси. Регистрация частоты вращения КВ ( $n$ ) производится по электрическим импульсам от распределителя зажигания.

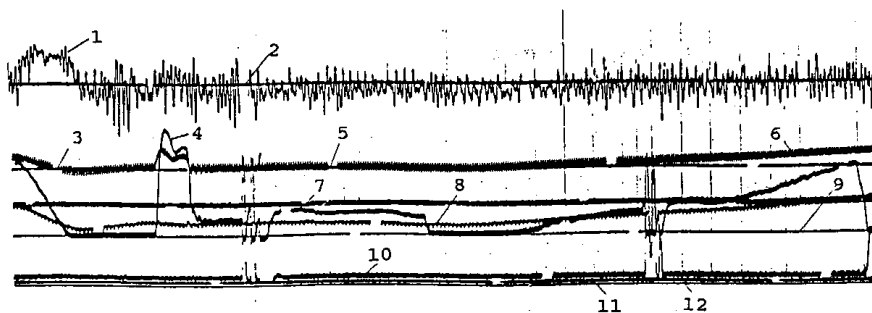


Рисунок 3. Фрагмент типичной осциллограммы параметров движения газодизельного автомобиля КамАЗ-53208:

- 1 – величина ускорения; 2 – нулевой уровень положения датчика ускорения;
- 3 – нулевой уровень датчика положения рычага управления топливоподачей;
- 4 – величина хода рычага управления; 5 – нулевой уровень положения датчика частоты вращения КВ; 6 – величина частоты вращения КВ; 7, 12 – расход дизельного и газового топлива соответственно; 8 – скорость движения автомобиля;
- 9 – нулевой уровень датчика частоты вращения КВ; 10 – нулевой уровень датчика хода педали управления; 11 – скорость движения автомобиля.

Для определения режимов работы двигателей были выбраны характерные маршруты движения грузовых автомобилей и автобусов в г. Москве и г. Оренбурге, включая периферийные и хордовые маршруты, а также в центральной части городов, в том числе фиксированные маршруты «Садовое кольцо», «Большая Роза». Полученные результаты являются исходными материалами для создания проекта ездового испытательного цикла грузовых автомобилей и автобусов массой свыше 3,5 т. Движение автомобилей осуществляли на хордовых и периферийных маршрутах, а также в центральной части города. АТС испытывали с максимальной нагрузкой и без груза.

Для определения численных значений автобусов учитывали факторы, подлежащие регистрации при проведении экспериментальных заездов по оценке расхода топлива газодизельными автобусами на различных маршрутах движения: количество технологических остановок на маршруте; количество случайных остановок на маршруте; продолжительность технологических остановок по перегонам маршрута; продолжительность случайных остановок по перегонам маршрута; общее время движения по перегонам маршрута и загрузка салона автобуса по перегонам.

В эксплуатационных условиях режимы движения автомобиля носят случайный характер, поэтому для обработки полученных результатов приемлемы вероятностные законы распределения. Методика обработки результатов производилась на вычислительном комплексе Wang-2200 производства США по специальной программе. Пример осциллограммы грузового автомобиля с дизельным двигателем показан на рис. 3.

Анализ ОГ проводили по основным компонентам (рис. 4)  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_m H_n$  и  $NO_x$ . Указанные компоненты ОГ записывались на осциллограмму практически безинерционными (для данных условий опытов) само-писцами. Постоянная времени газоанализатора, равная отношению объема измерительной камеры и вспомогательных трубопроводов к основному расходу ОГ. Для данных условий опытов она составляла  $T_k = 0,048$  сек. и учитывалась соответствующим образом при расшифровке осциллограмм. Максимальная относительная погрешность измерений концентраций

вредных веществ при различной скорости их изменения в измерительной камере газоанализатора не превышала  $\pm 3,0\%$ . Газоанализатор после каждой серии опытов испытаний тарировались по эталонному газу.

Современная концепция газобаллонной автомобильной техники базируется преимущественно на экспериментальных данных [1, 2].

Аналитическое обоснование целесообразности работы АТС на газовом топливе (сжатом природном газе КПП) представлены весьма упрощенно и не учитывает многообразия условий и особенностей ее эксплуатации.

Параметры и показатели качества газового топлива и бензина имеют ряд различий как по теплотехническим характеристикам, так и по физическому состоянию. Вместе с тем на основе предлагаемого топливного эквивалента появляется возможность проводить анализ эффективности применения газа в качестве моторного топлива. В настоящей работе приведен аналитический метод определения расхода газового топлива и проведены экспериментальные исследования газовых двигателей грузовых автомобилей средней грузоподъемности.

Теоретической особенностью обоснования целесообразности работы на КПП является определение расхода базового топлива по отношению к газовому топливу.

Исходной теоретической предпосылкой для проведения подобного анализа принято уравнение энергетического и мощностного баланса работы двигателя, изложенное в трудах акад. Е.А.Чудакова [3].

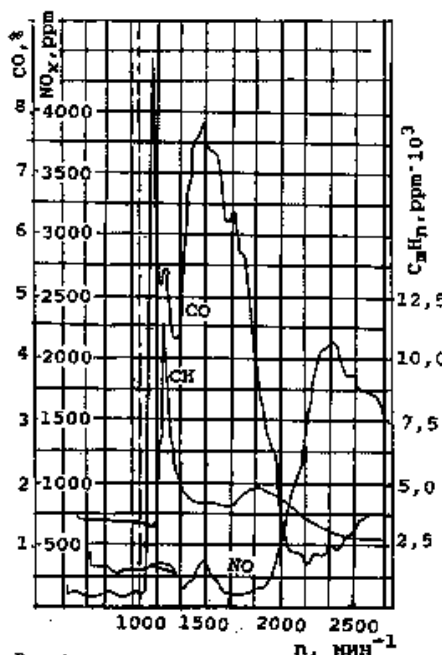


Рисунок 4. Оциллограмма изменения концентраций ВВ в ОГ при PP автомобиля на динамометрическом стенде.

В соответствии с уравнениями энергетического баланса работы двигателя и автомобиля минимальный расход топлива на 100 км пути может быть определен с помощью соответствующих аналитических выражений. Методологической особенностью работы газобаллонных автомобилей является определение топливного эквивалента газового топлива по отношению к жидкому моторному топливу.

В соответствии с уравнениями энергетического и мощностного баланса работы двигателя и автомобиля минимальный расход топлива на 100 км пути может быть определен с помощью соответствующих формул. При работе на газовом топливе (КПП) минимальный расход топлива на 100 км пути составит

$$Q_o^{снг} = \{g_e^v * [G_a * \Psi_o * (1 + AV^2) + (c * \rho * F * V_a^2 / 2 * 3,6^2)]\} / 10V_a * \eta_r * \rho_v, \text{ л/100 км, (1)}$$

где  $g_e$  и  $g_e^v$  – расход топлива на единицу транспортной работы соответственно для жидкого моторного топлива (г/кВтч), КПП (м³/кВтч);  $G_a$  – полная масса автомобиля, кг;  $V_a$  – скорость движения автомобиля, км/час;  $A$  – постоянный коэффициент, равный  $(4-5) * 10^{-5}$ ;  $F$  – площадь проекции автомобиля на плоскость, перпендикулярную направлению движения, м²;  $c$  – коэффициент сопротивления воздуха, кг·с²/м⁴;  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м³;  $\Psi$  – коэффициент суммарного дорожного сопротивления;  $V_a$  – скорость автомобиля, км/час;  $\eta_r$  – механический КПД;  $\rho_r$  и  $\rho_v$  – плотность жидкого моторного топлива (кг/л) и КПП (кг/м³).

Для определения расчетной нормы расхода газа введем расходный (массовый) эквивалент  $\tau_r$ , равный отношению расхода бензина к расходу газа при одних и тех же условиях работы автомобиля.

Из формулы (1) следует, что топливный эквивалент газа по отношению к жидкому моторному топливу равен для КПП:

$$\tau_{снг} = Q_o / Q_o^{снг} = (g_e * \rho_r) / (\rho_r * g_e^v), \text{ л/м}^3. \quad (2)$$

Расход топлива на единицу транспортной работы связан с эффективным КПД двигателя следующими соотношениями

$$g_e = 2647 / (H_n * \eta_e); \quad g_e^v = 2647 / (H_n^r * \eta_e^r) \quad (3)$$

где 2647 – переводной коэффициент;  $H_n$ ,  $H_n^r$  – теплота сгорания соответственно жидкого моторного топлива (кДж/кг), КПП (кДж/м³);  $\eta_e$ ,  $\eta_e^r$  – эффективный КПД двигателя при работе на жидком моторном и газом топливе.

Тогда расходный (массовый) эквивалент газового топлива может быть определен по формуле:

$$\tau_r = (H_n^r / [(H_n * \eta_n) (\eta_e^r / \eta_e)]). \quad (4)$$

Результаты стендовых испытаний двигателей при работе их на газе и бензине показывают, что величина  $(\eta_e^r/\eta_e) = 1,0$  и стандартизируемые значения физических величин:

а) для бензина (ГОСТ 2084-77):

$$H_{и} = 43,9 \text{ мДж/кг}; \rho_T = 0,74 \text{ кг/л};$$

б) для СПГ (ГОСТ 27577-87):

$$H_{и} = 34,7 \text{ мДж/м}^3; \rho_T = 0,72 \text{ кг/м}^3$$

Топливные эквиваленты для пересчета газового топлива в жидкое моторное топливо (для КПП при пересчете на бензин) составят

$$\tau_{спг}^6 = (H_{и}^r/H_{и}^* \eta_T) = 34,7/43,9 \times 0,74 = 1,07 \text{ л/м}^3. \quad (5)$$

Таким образом, 1000 м<sup>3</sup> СПГ могут заменить 1070 л бензина или 1070 x 0,74 = 790 кг бензина.

Из этого следует, что для замены 1 т бензина требуется 1000/790 = 1265 м<sup>3</sup> КПП.

Результаты измерений, полученные при определении концентрации токсичных веществ в ОГ автомобилей ЗИЛ-441810 и ГАЗ-33076 при работе на бензине и газовом топливе, приведены в таблице 2.

Скоростные качества газобаллонных автомобилей ЗИЛ-431610 и ГАЗ-33076 приведены в таблице 3.

Удовлетворительные динамические качества газобаллонных автомобилей связаны с небольшим избыточным выходным давлением трехступенчатого газового редуктора, что свидетельствует о менее инерционной его системе подачи газа. Показатели топливной экономичности автомобилей ЗИЛ-431610 и ГАЗ-33076 при работе на КПП и бензине приведены в таблице 4.

Удовлетворительные показатели расхода газа грузовыми автомобилями достигнуты благодаря оптимальной работе газового редуктора и газового карбюратора-смесителя.

Общий запас хода автомобиля по контрольному расходу топлива при скорости 60 и 80 км/час составляет 655 и 535 км соответственно.

Использование ходовой лаборатории позволило оценить эффективность перспективных конструкций газовой аппаратуры и разработать нормы расхода газового топлива перспективных моделей и действующего производства. Разработана газовая аппаратура нового поколения, обеспечивающая эффективную работу грузовых автомобилей на КПП.

Таблица 2. Содержание вредных веществ в ОГ

Марка двигателя	Режим работы двигателя на холостом ходу, мин <sup>-1</sup>	Требования ГОСТ 17.2.2.03-87		Показатели токсичности по видам топлива			
				бензин		КПП	
		СО	С <sub>м</sub> Н <sub>п</sub>	СО	С <sub>м</sub> Н <sub>п</sub>	СО	С <sub>м</sub> Н <sub>п</sub>
ЗИЛ-508.10	600	1,5	3000	1,1	2400	0,4	800
	1200	2,0	1000	0,8	600	0,2	400
ЗМЗ-5327	600	1,5	3000	1,2	2500	0,4	800
	1200	2,0	1000	0,9	650	0,2	400

Таблица 3. Скоростные качества газобаллонных автомобилей

Наименование параметра	Модель автомобиля			
	ЗИЛ-431610		ГАЗ-33076	
	бензин	газ	бензин	Газ
Максимальная скорость, км/час	92,1	85,5	90,6	80,5
Время разгона, с на пути 400 м на пути 1000 м	34,5	38,4	34,6	36,8
	63,2	69,8	69,8	69,8
Время разгона со скорости 20 км/час до скорости 60 км/час	32,0	41,5	30,8	40,5
Путь выбега со скорости 50 км/час, м	790	790	715	715

Таблица 4. Показатели топливной экономичности автомобилей

Модель автомобиля	Расходы топлива при различных скоростях движения, км/час							
	20	30	40	50	60	70	80	V, км/час
ЗИЛ-431610 (бензин)	26,1	25,2	24,1	26,8	28,9	31,1	34,9	36,7 л/100км
ЗИЛ-431610 (газ)	27,9	26,9	25,8	28,6	30,9	33,2	37,2	39,2 м <sup>3</sup> /100км
ГАЗ-33076 (бензин)	19,9	18,1	18,6	20,4	23,3	26,2	29,9	л/100 км
ГАЗ33076 (газ)	21,2	19,4	19,3	21,8	24,9	28,1	31,9	м <sup>3</sup> /100 км

В результате выполненной работы разработан аналитический метод определения эффективности перевода грузовых автомобилей на АВТ. Результаты испытаний показали, что комплекты газовой аппаратуры обеспечивают получение высоких топливно-экономических и экологических показателей газобаллонных автомобилей. Применение разработанной системы питания обеспечивает замещение 10 т бензина в год при эксплуатации автомобиля средней грузоподъемности.

Многие вопросы создания эффективной конструкции, организации производства и эксплуатации грузовых автомобилей, оснащенных газовой аппаратурой нового поколения, в полной мере еще не решены. Однако в отрасли уже созданы необходимые предпосылки для эффективного решения этой важной проблемы.

#### Список использованной литературы:

1. Григорьев Е.Г., Колубаев Б.Д., Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили. М.: Машиностроение, 1989. – 212 с.
2. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Золотаревский Л.С. Транспорт на газе. М.: Недра, 1992. – 342 с.
3. Чудаков Е.А. Избранные труды. Том 1. Теория автомобиля. М.: АН СССР, 1961. – 463 с.