

---

# Методика уменьшения выбросов $NO_x$ , путем применения газодизельной системы питания

УДК 621.436

Новикова Надежда Андреевна,  
магистрантка  
E-mail: [nadya18n@gmail.com](mailto:nadya18n@gmail.com)

Кондратюк Александр Александрович,  
аспирант

Воробьев Сергей Александрович,  
канд. тех. наук, доцент

Статья посвящена исследованию целесообразности перехода грузового транспорта на газодизель с точки зрения повышения экологической безопасности и уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу. Рассмотрен зарубежный опыт регламентации и регулирования вредных выбросов отработанных газов автомобилей. На примере анализа технико-экономических показателей грузового автомобиля КамАЗ—5511 с дизелем КамАЗ 740, а также замеров выбросов вредных веществ и дисперсных частиц при работе дизеля с газодизельным и дизельным циклами при движении по магистральным и городским маршрутам, удалось доказать, что применение газодизеля снижает уровень выбросов оксида углерода и уменьшает содержание твердых частиц почти на 90% и более чем на 50% уменьшаются выбросы оксидов азота ( $NO_x$ ).

**Ключевые слова:** газодизель, грузовой транспорт, экология, вредные выбросы, газы.

Автотранспорт — один из основных показателей технико-экономического развития общества, он способствует удовлетворению социальных потребностей населения. В мире эксплуатируется около 1 миллиарда автомобилей. Более 70% грузов и 85% пассажиров перевозят именно автомобильным транспортом [1]. Но, в то же время, автомобильный транспорт — один из самых мощных источников загрязнения атмосферы. Расчеты вредных выбросов различными отраслями транспорта свидетельствуют, что автомобильный транспорт является основным с точки зрения загрязнения окружающей природной среды [2].

Вредное воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду имеет многосторонний характер. Это влияние проявляется при движении автомобилей, их техническом обслуживании, а также в связи с работой инфраструктуры, обеспечивающей функционирование автомобильного транспорта. Одним из существенных источников выбросов вредных веществ являются отработанные газы автомобильных двигателей, что обостряет вопросы экологической безопасности, которые особо актуальны в дизельных двигателях, поскольку, как правило, дизельными двигателями оснащаются тяжелые грузовые автомобили, автобусы, строительная, дорожная и сельскохозяйственная техника.

Именно отработанные газы грузовых автомобилей дают на сегодняшний день в 80–90% загрязнения атмосферы в городах и крупных мегаполисах. К числу вредных веществ, содержащихся в отработанных газах автомобилей с дизельными двигателями, относятся: диоксин серы ( $SO_2$ ) оксид углерода ( $CO$ ), оксиды азота ( $NO_x$ ) углеводороды ( $C_nH_n$ ), бензапирен ( $C_{20}H_{12}$ ), сажа [3].

С целью уменьшения негативного влияния отработанных газов, а также разрешения

---

проблемы исчерпаемости запасов нефти и загрязнения окружающей среды на сегодняшний день все большее распространение приобретает использование альтернативного топлива. К наиболее распространенным альтернативным топливам можно отнести такие как: сжатый и сжиженный газ, водород, биодизельное топливо, этанол, биогаз.

Для обеспечения работы дизеля на нефтяном и на альтернативном топливе используют двухтопливные двигатели. Перспективным в настоящее время является использование двухтопливных дизелей, которые на разных режимах работы используют различные соотношения топлива, например, газодизельный двигатель.

Анализ эксплуатации газодизельных двигателей показывает, что газ можно использовать как альтернативное топливо для автомобилей, благодаря этому достигается: уменьшение выбросов вредных веществ с отработанными газами, что особенно важно для населенных пунктов; уменьшение импорта нефти; уменьшение поступления метана в атмосферу (10% от мировых объемов метана, попадающих в атмосферу, поступает с открытых свалок); увеличение количества рабочих мест в сфере грузовых перевозок; решение ряда санитарно-гигиенических проблем.

Европейские автомобилестроители уже в течение длительного времени уделяют внимание грузовым автомобилям с газодизелями, которые используют для работы природный газ. На сегодня четыре европейских производителя выпускают десять различных моделей автобусов и семь моделей грузовиков с газодизелями.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, значительную, как практическую, так и теоретическую ценность имеют вопросы повышения экологической безопасности при переходе грузового транспорта на газодизель.

Ведущие ученые в области экологии автомобильного транспорта большое внимание уделяют уменьшению вредного влияния отработанных газов на окружающую среду. Опубликовано большое количество работ, в которых рассматриваются вопросы анализа, оценки и расчетов показателей токсичности выбросов подвижного состава автомобильного транспорта в окружающую среду. Но наряду с этим требует дополнительного исследования зависимость величины вредных выбросов от типа двигателя, используемого на автотранспорте, в частности газодизеля.

Применение сжатого и сжиженного газа является наиболее распространенным среди всех альтернативных топлив. Заправка сжатым природным и сжиженным нефтяным газом газодизельных двигателей позволяет снизить токсичность отработавших газов по основным контролируемым параметрам. Токсичность отработанных газов газодизельного двигателя в режиме свободного ускорения при работе на газодизельной смеси в 2 — 4 раза ниже, оксидов азота в 1,5 — 2,0 раза меньше, чем при работе на дизельном топливе, однако при этом увеличивается содержание углеводородов —  $CH$ , но это лишь незначительное количество не сгоревшего, совершенно безвредного метана. Кроме того, в газодизеле, по сравнению с обычным дизельным двигателем, возрастают ресурс (из-за уменьшения отложений на деталях цилиндро—поршневой группы) и срок службы масла. Уменьшается шум от работы двигателя на 3 — 5 децибел.

Опыт эксплуатации газобаллонных автомобилей показал, что применение газового топлива на автомобильном транспорте влечет за собой: снижение грузоподъемности автомобиля за счет установки баллонов высокого давления; уменьшение удельных затрат на топливо при использовании сжатого природного и сжиженного нефтяного газа меньше на 45 — 55% и 35—45% соответственно вследствие более низкой стоимости газового топлива [4].

Передовые страны мира, а в частности Европейский союз, уже сделали первые шаги к улучшению экологической безопасности автомобильного транспорта и внедрили нормы выбросов вредных веществ в выхлопных газах колесных транспортных средств, начав внедрение этих норм

в автостроительную отрасль и их последующее совершенствование. Содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей, не оборудованных системами нейтрализации отработанных газов, не должно превышать пределы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

**Предельно допустимое содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей, не оборудованных нейтрализаторами**

Топливо, на котором работает двигатель	Частота вращения	Оксид углерода, объемная доля, %	Углеводороды, объемная доля, млн $-1$ , для двигателей с числом цилиндров	
			до 4, включая	более 4
Газ природный	$n_{\text{мин}}$	1,5	600	1800
	$n_{\text{п}}$	1,0	300	600
Газ нефтяной сжиженный	$n_{\text{мин}}$	3,5	1200	2500
	$n_{\text{п}}$	1,5	600	1000

Кроме того, для проверки соответствия дизельных двигателей экологическим нормативам и стандартам применяются специальные средства инструментального контроля — измерители дымности отработавших газов (дымомеры). Основным показателем дымности, который нормируется, является натуральный показатель ослабления светового потока  $K$ , вспомогательным — коэффициент ослабления светового потока  $N$  (см. таблицу 2).

Таблица 2

**Показатели проверки дизельных двигателей на дымность**

Объект испытания	Предельно допустимый натуральный показатель ослабления светового потока, $K_{\text{доп}}$ , м-1	Предельно допустимый коэффициент ослабления светового потока, $N_{\text{доп}}$ , %
автомобили с дизелями:		
без надува	2,5	66
с надувом	3,0	73
автомобили с газодизелями:		
без надува	1,7	52
с надувом	2,0	58

Газодизельное топливо имеет следующие преимущества по отношению к ископаемым горючим материалам [5]:

- нетоксично, практически не содержит серы и канцерогенного бензола;
- разлагается в природных условиях и при этом биологически безвредно;
- обеспечивает значительное снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании в двигателях внутреннего сгорания и в технологических агрегатах;
- увеличивает цетановое число топлива и его смазочные свойства, что существенно

увеличивает ресурс двигателя;

— имеет высокую температуру воспламенения, что делает его использование более безопасным.

Благодаря теоретическим исследованиям рабочего цикла газодизельного двигателя были установлены основные причины изменений его энергоэкологических показателей, происходящие вследствие перехода на заправку топливными смесями с содержанием газовой составляющей. Так, сравнительный анализ расчетных индикаторных показателей газодизеля показал, что использование газовых топливных композиций снижает энергонаполнение цилиндров, а также несколько ухудшает термодинамическую эффективность рабочего цикла двигателя из-за уменьшения скорости тепловыделения и увеличения продолжительности процесса сгорания. Указанные факторы ухудшают энергетические показатели, но одновременно создают предпосылки для улучшения экологических характеристик газодизельного двигателя, который работает на газовых композициях.

Рассмотрим на практическом примере как меняются характеристики экологической нагрузки и выброса вредных веществ в окружающую среду в случае перехода грузового транспорта на газодизель.

Для исследования проанализируем технико-экономические показатели грузового автомобиля КамАЗ—5511 с дизелем КамАЗ 740, а именно: выбросы вредных веществ и дисперсных частиц при работе дизеля по газодизельному и дизельным циклам во время движения по магистральным и городским маршрутам.

Сначала рассмотрим магистральный цикл, который реализуется на участке прямолинейной, горизонтальной дороги с асфальтобетонным или цементно-бетонным покрытием протяженностью 4000 м и состоит из 8—ми участков, на которых автомобиль движется с устоявшимися скоростями 30, 50, 70, 50, 70, 75, 65 и 45 км/ч. Между этими участками происходят разгон или замедление автомобиля при необходимости с переключением передач.

При скорости автомобиля 30 км / ч включена IV передача, а при разгоне от 30 до 50 км / ч производится переключение с IV на V передачу и дальше автомобиль движется на этой передаче.

Результаты расчетов при работе двигателя по дизельному и газодизельному циклам приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Показатели грузового автомобиля КамАЗ—5511 при движении по магистральному маршруту**

Показатели	Рабочий цикл двигателя		Отношение показателей
	дизельный	газодизельный	
Средняя скорость движения автомобиля, км / ч	56,85	58,11	1,02
Время движения по магистральному циклу, с	253,31	247,80	0,98
Расход топлива: дизельного, г. газового, м <sup>3</sup> газового, г	1203,88 - -	4 2 8 , 8 5 0,99 09,83	0,36 - -
Количество теплоты, содержащейся в затраченном топливе, кДж: дизельном газовом	51164,90 -	18226,13 33957,01	0,36 -

Общее количество теплоты, содержащейся в затраченном топливе, кДж	51164,90	52183,14	1,02
Выбросы за время движения по магистральному циклу, г : оксидов азота $NO_x$ углеводородов $C_mH_n$ оксид углерода CO дисперсных частиц	21,77 1,92 9,74 2,49	1 8 , 4 5 65,09 27,01 0,44	0 , 8 5 33,90 2,77 0,18

При работе двигателя по газодизельному циклу автомобиль расходует на 64% меньше дизельного топлива (за счет замещения дизельного топлива природным газом). При этом выбрасывается в атмосферу с отработавшими газами (ОГ) на 15% меньше  $NO_x$ , в 33,90 раза больше  $C_mH_n$ , в 2,77 раза больше CO, выбросы дисперсных частиц меньше в 5,66 раза. При этом время движения автомобиля по магистральному маршруту при работе двигателя с газодизельным циклом на 2,0% меньше, а средняя скорость движения на столько же выше.

Сравним те же показатели автомобиля КамАЗ—5511 при движении по городскому маршруту на дороге. Этот маршрут реализуется на таком же измерительном участке длиной 4000 м, как и магистральный цикл. Цикл начинается с движения с места и содержит 16 участков движения с постоянными скоростями, которые изменяются в пределах от 15 до 60 км / ч, три промежуточные остановки, участки разгонов, замедлений и торможений и заканчивается остановкой автомобиля. Технические возможности автомобиля КамАЗ—5511 позволяют выполнить требования этого маршрута в полном объеме.

В начале цикла и после каждой остановки автомобиль трогался с места на I передаче, а потом разгонялся с переключением передач до соответствующей скорости согласно схеме цикла. На разных участках, в зависимости от необходимой скорости движения автомобиля, использовалась наиболее выгодная передача движения.

Всего при выполнении цикла произведено 18 переключений передач в сторону повышения и 9 в сторону понижения. Результаты расчетов при работе двигателя по дизельному и газодизельному циклам приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Показатели грузового автомобиля КамАЗ—5511 при движении по городскому маршруту**

Показатели	Рабочий цикл дизеля		Отношение показателей
	дизельный	газодизельный	
Средняя скорость движения автомобиля, км / ч	28,38	28,99	1,02
Время движения по городскому циклу, с	507,48	496,78	0,98
Расход топлива: дизельного, г. газового, м <sup>3</sup> газового, г	1651,32 - -	7 0 1 , 9 8 1,14 817,38	0,43 - -
Количество теплоты, содержащейся в затраченном топливе, кДж: дизельном газовом	70181,10 -	29834,15 39102,01	0,43 -
Общее количество теплоты, содержащейся в затраченном топливе, кДж	70181,10	68936,16	0,98
Выбросы за время движения по городскому циклу, г: оксидов азота $NO_x$ углеводородов $C_mH_n$ оксид углерода CO дисперсных частиц	30,23 3,43 17,40 3,00	2 5 , 3 8 69,30 33,44 1,37	0 , 8 4 20,20 1,92 0,46

При работе дизеля по газодизельному циклу автомобиль расходует на 57% меньше

дизельного топлива (за счет замещения дизельного топлива природным газом). При этом выбрасывается в атмосферу с ОГ на 16% меньше  $NO_x$ , в 20,2 раза больше  $C_mH_n$ , в 1,92 раза больше  $CO$ . Выброс дисперсных частиц в 2,19 раза меньше. Время движения автомобиля по городскому маршруту при работе двигателя по газодизельному циклу на 2% меньше, а средняя скорость движения на столько же выше.

В рассмотренных примерах снижение расхода дизельного топлива за счет частичного замещения его природным газом при движении автомобиля по магистральному и городскому маршруту почти одинаково — соответственно на 66 и 68% по сравнению с расходом при работе по дизельному циклу. То же можно сказать и о выбросах дисперсных частиц — они меньше соответственно в 3,91 и 3,6 раза.

Что касается токсичных веществ, то в городском цикле по сравнению с магистральным выбросы  $NO_x$  уменьшаются больше, а  $C_mH_n$  и  $CO$  растут меньше по сравнению с дизельным циклом.

Таким образом, подводя итоги проведенному исследованию, можно сделать следующие выводы. В современных условиях и в перспективе основным содержанием программных действий многих государств является решение проблем рационального использования топливных ресурсов и охраны окружающей среды. Наиболее приемлемым решением указанных проблем является использование альтернативных топлив, в частности природного газа в сфере эксплуатации транспортных средств. Особенно важным является использование природного газа на грузовых автомобилях. Для этого на них целесообразно использовать газодизель, существенным преимуществом которого является возможность работы по дизельному и газодизельному циклам с одинаковой мощностью, что важно для грузового транспорта.

Во многих странах мира газодизель получает широкое распространение, правительствами и специализированными организациями разрабатываются соответствующие стандарты и нормативы по выбросу вредных веществ в атмосферу.

Практический эксперимент, который включал в себя исследование и анализ технико-экономических показателей грузового автомобиля КамАЗ—5511 с дизелем КамАЗ 740, замеры выбросов вредных веществ и дисперсных частиц при работе двигателя по газодизельному и дизельному циклам во время движения по магистральному и городскому маршруту показал следующее. При движении по стандартному магистральному циклу на дороге замещение дизельного топлива газовым составляет 65–76%, а выбросы дисперсных частиц в 3,7–5,6 раза меньше, чем с дизелем. При движении по городскому циклу на дороге замещение дизельного топлива газовым составляет 57–68%, а выбросы дисперсных частиц в 2,2–3,6 раза меньше.

Приведенные результаты позволяют утверждать, что переход грузового транспорта на газодизель позволит значительно улучшить экологическую безопасность и выбросы вредных веществ в окружающую среду.

## Литература

1. Шамис В.А., Мочалин М.С. Направления совершенствования планирования перевозок грузов автомобильным транспортом // Научно-методический электронный журнал Концепт. — 2017. — № 7. — С. 18-24.
2. Азаров В., Гайсин С., Кутенёв В. К вопросу о комплексной безопасности автомобилей // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. — 2016. — № 2. — С. 46-54.
3. Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Килюшник В.М., Младенский А.В. Анализ методов и средств экологического контроля выбросов вредных веществ отработавших газов автомобилей // Известия Московского государственного технического университета МАМИ.

---

— 2016. — № 4(30). — С. 82-89.

4. Шатров М.Г., Хачиян А.С., Сиянский В.В., Шишлов И.Г., Вакуленко А.В. Физическое моделирование рабочего процесса газодизеля // Тракторы и сельхозмашины. — 2017. — № 4. — С. 3-10.
5. Марков В.А., Поздняков Е.Ф., Шатров В.И. Природный газ как наиболее выгодное моторное топливо // Автомобильная промышленность. — 2016. — № 12. — С. 8-9.