

ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ – 406.2 НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

А.А.Сивов¹

Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГСЭ),
191015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 7

Аннотация – На базе автомобильного двигателя ЗМЗ 406.2 и мощностного тормоза LPHY разработана установка для исследований показателей работы нейтрализатора оксидов азота и двигателя на переходных процессах. Определены три области режимов работы двигателя: малых нагрузок, средних нагрузок. Исследованы показатели токсичности двигателя ЗМЗ-406.2 на установленных режимах работы.

Ключевые слова: Двигатель, неустановившиеся режимы, токсичность выброса

ENGINE ZMZ – 406.2 DIAGNOSTICS ON UNSTEADY OPERATING MODES

A.A.Sivov

St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE),
191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7;

The summary – On the basis of automobile engine ZMZ 406.2 and brakes LPHY the installation for researches indicators of work for neutralizer oxides nitrogen and the engine on transients was designed. Three areas of operating modes dvi-gatelja are defined: small loadings, average loadings. Indicators of toxicity of engine ZMZ-406.2 on the established operating modes are investigated.

Keywords: the Engine; unsteady modes; toxicity of emission

При движении автомобиля, особенно в городе, режимы работы двигателя постоянно изменяются, при этом постоянно изменяется частота вращения коленчатого вала двигателя и нагрузка, подача топливовоздушной смеси в цилиндры. Таким образом, нестационарные режимы являются преобладающими при эксплуатации автомобилей и составляют от всего времени движения [1]:

- при интенсивном городском движении примерно 95 %;
- при движении по грунтовым дорогам около 85...90 %;
- на загородных усовершенствованных автомобильных дорогах 30...35 %.

По статистике, в зависимости от условий эксплуатации на каждые 1000 км пробега приходится 50 пусков и остановок двигателя. При движении автомобилей по дорогам различного качества их двигатели наибольшее время работают при открытой на 5 – 70 % дроссельной заслонке карбюратора и развиваемой мощности от 13 до 78% от номинальной.

В городских условиях продолжительность работы автомобиля в режимах

ускорения достигает 67 %. Протяженность участков разгона и замедления, существенным образом влияющих на среднюю техническую скорость движения, составляет 70 – 80 % от общего пути, пройденного автомобилем.

Во время разгона расход топлива в 1,35 – 1,45 раза больше, чем при равномерном движении автомобиля на этом же участке, так как значительная часть топлива, расходуемая на приобретение автомобилем кинетической энергии, при замедлении может быть обращена в полезную работу лишь частично. Расход топлива на режимах разгона, прежде всего, зависит от средней величины ускорения автомобиля, производительности ускорительного насоса, частоты и качества выполнения приемов переключения передач, а также от суммарного числа оборотов коленчатого вала, приходящихся на единицу пути.

К наиболее характерным переходным процессам при движении в городе относятся процессы пуска, разгона и наброс нагрузки [2].

В процессе пуска двигателя наблюдаются весьма резкие изменения параметров рабочего процесса и в значительных пределах. Для пуска характерны следующие фазы: раскрутка двигателя до появления первых вспышек топлива в цилиндрах τ_1 ; разгон двигателя до вступления в действие регулятора частоты вращения τ_2 ; разгон двигателя с одновременным уменьшением цикловой подачи топлива Δg_u , соответствующей подаче на холостом ходу, τ_3 ; прогрев двигателя с относительно малым изменением скоростного режима и цикловой подачи τ_3 . Общая длительность процесса пуска составляет

$$\tau_{\Sigma} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4. \quad (1)$$

Продолжительность первой фазы зависит в основном от наличия и состояния смазки на трущихся поверхностях деталей. Во второй фазе интенсивно увеличивается частота вращения двигателя при неблагоприятных характеристиках топливоподачи и низкой температуре деталей цилиндра, что обуславливает большой период задержки воспламенения топлива τ_1 и в последующих циклах повышенные значения максимального давления цикла p_z и скорости нарастания давления газов в цилиндре $(dp/d\varphi)_{\max}$. Период задержки воспламенения топлива τ , существенно зависит от температуры стенок камеры сгорания. После первых вспышек возрастает частота вращения, улучшаются характеристики топливоподачи и смесеобразование, повышаются температура стенок камеры сгорания, давление и температура в конце сжатия p_c и T_c . При этом сокращаются τ и потери теплоты через стенки цилиндра. В начале второй фазы может наблюдаться снижение коэффициента наполнения η_v связи с большими ускорениями вращения коленчатого вала.

Третья фаза определяется вступлением в действие регулятора частоты вращения. При этом цикловая подача топлива Δg_u снижается до значений, соответствующих режиму холостого хода. Четвертая фаза характеризуется монотонным изменением всех параметров рабочего процесса до стабилизации темпе-

ратурного состояния деталей двигателя. Изучение параметров рабочего процесса при пуске двигателей представляет интерес в связи с разработкой и реализацией мероприятий по снижению температурного предела холодного пуска и пусковых износов.

Из большого многообразия процессов разгона двигателя наиболее характерными являются два типа: за счет увеличения цикловой подачи топлива; за счет уменьшения момента сопротивления при подаче топлива.

Процесс разгона за счет увеличения цикловой подачи топлива включает три фазы: первая фаза соответствует времени изменения воздействующего фактора, т.е. цикловой подачи рабочего процесса, и длится до момента достижения номинальной частоты вращения коленчатого вала. Первая фаза протекает при плавном монотонном изменении всех показателей в сравнительно малых пределах при дальнейшем незначительном росте n и прогреве деталей двигателя до достижения ими в конце фазы значений, соответствующих новому установившемуся режиму. Вторая фаза разгона длится от нескольких секунд до минут в зависимости от типа двигателя и влияния перечисленных выше факторов. Продолжительность третьей фазы разгона составляет для автотранспортных двигателей от 4 до 6 минут, а для крупногабаритных дизелей до 25 – 30 минут и определяется временем, необходимым для прогрева двигателя.

При набросе нагрузки, так же как и при разгоне, наблюдаются три фазы переходного процесса. Длительность первой фазы определяется характером наброса нагрузки; для второй сравнительно кратковременной фазы характерны резкие и значительные изменения показателей рабочего процесса; третья фаза характеризуется монотонным их изменением в малых пределах до завершения прогрева двигателя и выхода его на новый установившийся режим работы. Сброс нагрузки. Этот переходный процесс характеризуется резким уменьшением момента сопротивления и относительно ма-

лым изменением частоты вращения коленчатого вала в пределах степени неравномерности регулятора частоты вращения. При этом можно выделить две фазы процесса: первая характеризуется значительными резкими изменениями показателей и сравнительно небольшой продолжительностью; вторая - плавными изменениями показателей в малых пределах при достижении в конце процесса значений, характерных для конечного установившегося режима.

В исследованиях используется опытный образец нейтрализатора оксидов азота (рис. 1).

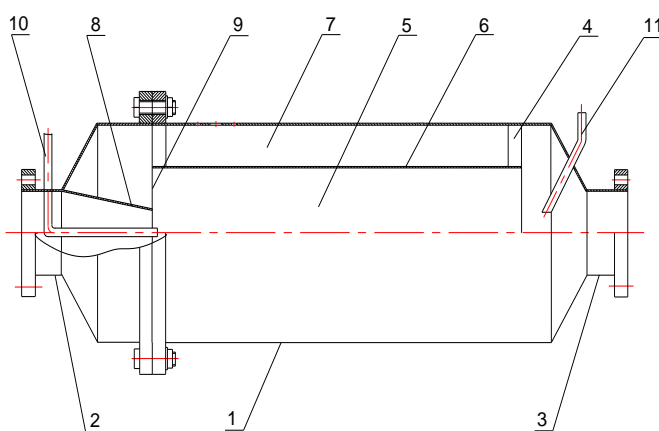


Рисунок 1 – Схема нейтрализатора

Поток отработавших газов поступает по выхлопной трубе к входному патрубку 2 нейтрализатора [3]. Проходя суживающееся сопло 8, отработавшие газы создают пониженное давление в начале смесительной камеры 5, вследствие чего по кольцевому каналу 7 часть отработавших газов поступает на рециркуляцию через кольцевое отверстие 9. За счет разности давлений на входе и выходе смесительной камеры засасывается также газ-восстановитель по трубке 10 подачи газа-восстановителя в смесительную камеру 5, где затем идет процесс интенсивного перемешивания с основным потоком отработавших газов, проходящим через суживающееся сопло.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях «Санкт – Петербургского университета сервиса и экономики» и «Автотранспортного и

электромеханического колледжа администрации Санкт-Петербурга».

Установка для исследований показателей работы нейтрализатора оксидов азота и двигателя создана на базе автомобильного двигателя ЗМЗ 406.2[4] Заволжского автомобильного завода. Стенд оснащен системами, обеспечивающими его функционирование на всех режимах исследований, а также контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой, позволяющей контролировать и регистрировать все необходимые для работы и проведения исследований параметры двигателя и системы очистки ОГ. Комплектация двигателя соответствовала требованиям ГОСТ 14846-81. Двигатель обкатан в соответствии с техническими условиями завода-изготовителя. В качестве нагрузочного устройства используется мощный тормоз LPHY (рис. 2).



Рисунок 2 – Мощный тормоз LPHY

Агрегат смонтирован на мобильной раме и пристыковывается к испытуемому двигателю с помощью быстроразъемных соединений. Мощный тормоз охлаждается водопроводной водой с помощью системы охлаждения. Специальный карданный вал передает вращательное движение двигателя на насос высокого давления, который затормаживает двигатель (рис. 3).

Имеющийся в составе комплекса блок индицирования позволяет отображать и снимать характеристики протекающих процессов в камере сгорания двига-

теля. Процесс снятия показаний осуществляется при использовании свечи индикации, встроенного датчика давле-

ния, усилителя заряда и программной оболочки.

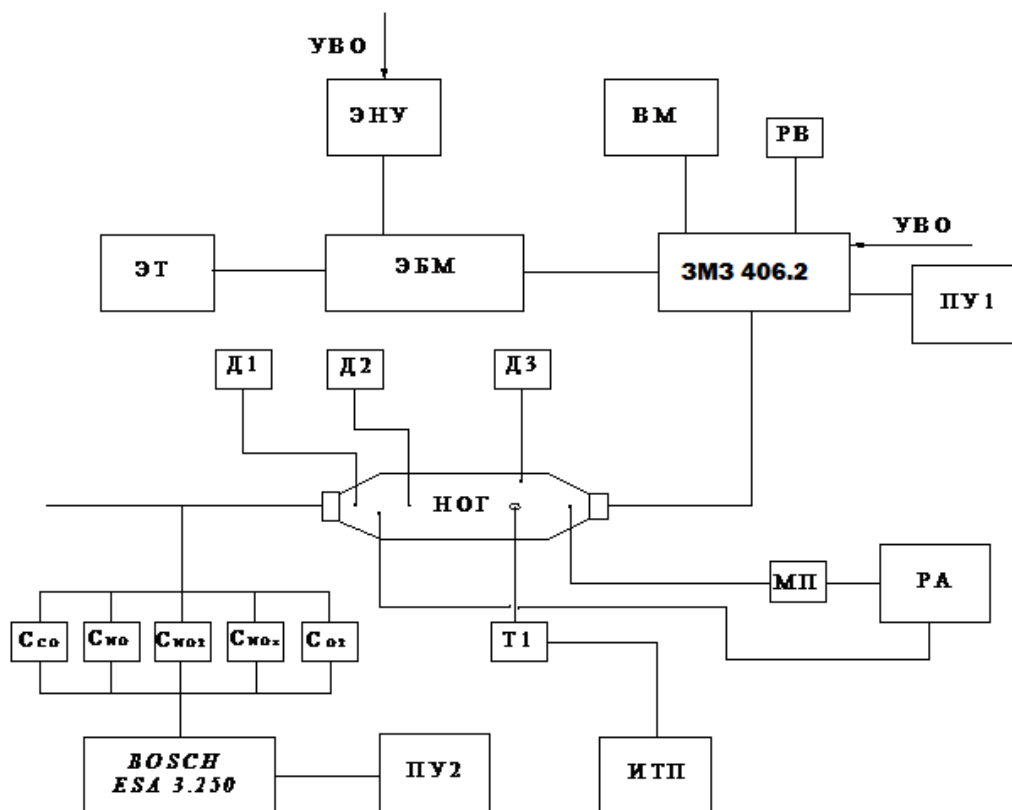


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки: ЗМЗ 406.2 - двигатель; ЭБМ – электрическая балансирная машина; ЭНУ – электрическое нагрузочное устройство; ВМ – весовой механизм для замера часового расхода топлива; РВ – расходомер воздуха; ЭТ – электронный тахометр; НОГ – нейтрализатор ОГ; РА – емкость с раствором аммиака; МП – механизм подачи аммиачного раствора; ИТП – измеритель температуры потенциометрический; Т1 – термопара; BOSCH ESA 3.250 – газоанализатор; Д1, Д2, Д3 – датчики для замера давления; ПУ1, ПУ2 – пульт управления; УВО – управляющее воздействие оператора

Программа располагает как файлами получаемых данных измерений, так и файлами для демонстрации функционирования системы. Так же мощностной тормоз оснащён USB-интерфейсом.

Методикой предусматривалось проведение сравнительных исследований работы двигателя на режимах номинальной мощности ($n=5200 \text{ мин}^{-1}$), максимального крутящего момента ($n=4500 \text{ мин}^{-1}$) без подачи газа (рис. 4) и при подаче газа – восстановителя (аммиака).

При имитации режимов разгона в условиях города наиболее целесообразно использовать фазы разгона согласно ГОСТ Р 41.83-2004. Для этого, используя расчетные данные, установлены точки

характеристики, соответствующие началу и концу фазы разгона [5].

Частота вращения коленчатого вала n_i (мин^{-1}) двигателя при имитации движения автомобиля, соответствующая i -ой фазе разгона, задается следующим образом:

$$n_{ie} = \frac{V_{ie} \cdot u_{кп} \cdot u_{zn}}{0,105 \cdot r_k}, \quad (2)$$

где: V_{ie} – скорость текущей фазы разгона, м/с; $u_{кп}$ – передаточное число ступени коробки передач; u_{zn} – передаточное число главной передачи; r_k – радиус качения колеса, м.

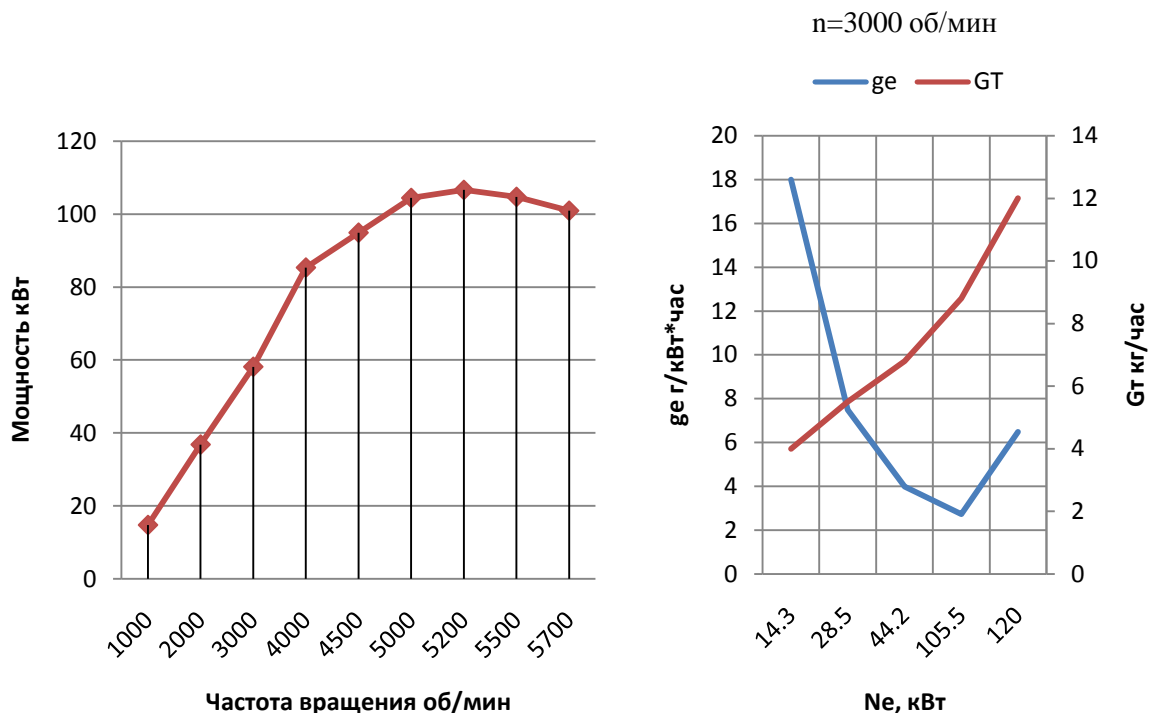


Рисунок 4 – Характеристики двигателя 3МЗ 406.2

Определяем значение мощности и крутящего момента, соответствующее для i -ой фазы разгона.

$$N_{ei} = \frac{N_{max}}{n_N} \cdot \frac{n}{1-\alpha_1} \left[\frac{3-4\alpha_1}{2} + \alpha_1 \frac{n}{n_N} - \frac{1}{2} \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \right], \quad (3)$$

$$M_{ei} = \frac{9550 \cdot N_{ei}}{n_i} \quad (4)$$

где n_i – частота вращения КВ, соответствующая i -ой фазе разгона, (мин^{-1}).

После преобразований уравнений параметры для нагрузочного устройства соответствующие i -ой фазе разгона, определяются по формуле (5).

$$P_{vesi} = \frac{M_{ei}}{g \cdot t_t} \quad (5)$$

Типичные режимы движения автомобиля задаются ездовым циклом (ЕЦ), состоящим из этапов холостого хода, разгона, установившегося движения, замедления и торможения. Количество эквивалентных режимов определяется исходя из анализа графика ЕЦ. Каждый этап разгона в ЕЦ представляется числом точек, соответствующих числу используемых при разгоне ступеней коробки передач. Каждый этап равномерного

движения представляется одной точкой, а этапы холостого хода и замедления – точкой холостого хода [5]. Городской ездовой цикл по ГОСТ Р 41.83-2004 (рис. 5) в соответствии с предлагаемой методикой представляется 12-ю режимами (табл. 1).

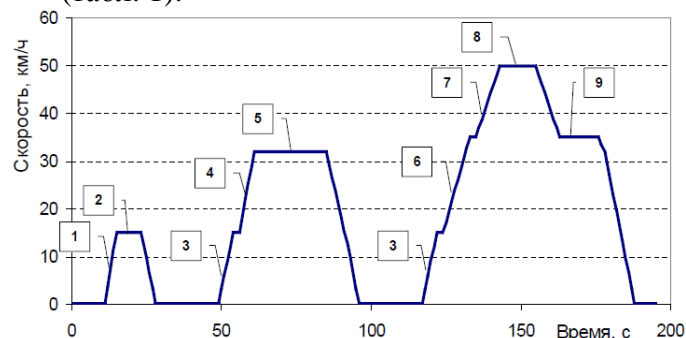


Рисунок 5 – Городской ездовой цикл по ГОСТ Р 41.83-2004

Поскольку режимы разгона на первой передаче с ускорением $0,83 \text{ м/с}^2$ повторяются в ЕЦ дважды, то в табл. 1 они представлены одной строкой с их суммарной продолжительностью. Четыре этапа холостого хода, а также три этапа выбега автомобиля представлены одним режимом холостого хода с минимальными

ми оборотами коленчатого вала двигателя n_{\min} . Три этапа принудительного холостого хода во время замедления автомобиля представлены режимом холостого хода с повышенными оборотами коленчатого вала двигателя.

Методика определения эквивалентных режимов базируется на следующих допущениях, связанных со спецификой испытательного оборудования:

Таблица 1 – Этапы городского цикла по ГОСТ Р 41.83-2004

Наименование этапа	Скорость, км/ч	Ускорение, м/с ²	Длительность, с	Степень КП
Разгон	0-15	1,04	4	1
Равномерное движение	15	-	8	1
Разгон	0-15	0,83	5+5=10	1
Разгон	15-32	0,94	5	2
Равномерное движение	32	-	24	2
Разгон	15-35	0,62	9	2
Разгон	35-50	0,52	8	3
Равномерное движение	50	-	12	3
Равномерное движение	35	-	13	3
Холостой ход, n_{\min}	-	-	77	-
Холостой ход, $n_{\text{пов}}$	-	-	25	-

Каждый эквивалентный режим определялся совокупностью двух показателей: скоростью движения автомобиля и мощностью сопротивления движению автомобиля. Скорость задавалась согласно частоте вращения двигателя, мощность сопротивления движению определялась нагрузкой, создаваемой стендом (табл. 2). Минимизируя число режимов исследований, режимы работы двигателя условно разделяются на три области: малых нагрузок, средних нагрузок, больших нагрузок (таб. 3).

На режимах малых нагрузок основным требованием является обеспечение устойчивой работы двигателя. Для этого топливно-воздушную смесь приходится обогащать, используя систему холостого хода карбюратора. Это приводит к существенному увеличению выбросов СО и СН вследствие неполного сгорания

– неустановившиеся режимы разгонов автомобиля заменяются установившимися режимами испытаний на нагрузочном стенде;

– режимы принудительного холостого хода заменяются режимом холостого хода с повышенными оборотами коленчатого вала двигателя.

смеси. На режимах средних нагрузок главное – это достижение максимальной топливной экономичности. Для этого топливно-воздушную смесь обедняют, насколько это возможно для данного двигателя.

При этом выбросы углеводородов (СН) и оксида углерода (СО) снижаются. Однако, вместе с тем растут выбросы оксидов азота (NO), особенно на повышенных частотах вращения коленчатого вала, так как именно на этих режимах в полной мере реализуются два основных условия образования этих веществ – высокая температура и наличие свободного кислорода. На режимах больших нагрузок рабочий процесс формируют таким образом, чтобы обеспечить наивысшую энергоотдачу от сжигаемого топлива. С этой целью топливно-воздушную смесь опять приходится обогащать, используя систе-

му экономайзера и/или эконостата карбюратора. Соответственно, выбросы СО и СН увеличиваются по сравнению с частичными нагрузками, а выбросы NO на-

оборот снижаются из-за недостатка свободного кислорода.

Таблица 2 – Представление режимов разгона АТС

№ режима	V_{ie} , м/с	$U_{КП}$	$\delta_{вр}$	$N_{ив}$, кВт	$N_{ин}$, кВт	N_{ie} , кВт
1	2,08	1	1,612	0,006	5,52	5,526
2	4,17	1	1,612	0,046	-	0,046
3	2,08	1	1,612	0,006	4,406	4,412
4	6,53	2	1,231	0,175	11,935	12,11
5	8,9	2	1,231	0,442	-	0,442
6	6,95	2	1,231	0,211	8,38	8,591
7	11,81	3	1,108	1,035	10,74	11,782
8	13,89	3	1,108	1,685	-	1,685
9	9,72	3	1,108	0,578	-	0,578

Таблица 3 – Точки работы двигателя на эквивалентных режимах

№ режима	N_{ik}	n_{ie}	M_{ie}	k_{ie}	Область
1	0,66	768	109	0,022	высоких нагрузок
2	1,29	1535	9,22	0,044	малых нагрузок
3	0,66	768	69,7	0,055	средних нагрузок
4	2,02	1393	107,4	0,027	высоких нагрузок
5	2,28	1896	17,85	0,131	малых нагрузок
6	2,15	1482	76,71	0,049	средних нагрузок
7	3,66	1501	108,88	0,044	высоких нагрузок
8	4,31	1766	35,9	0,066	малых нагрузок
9	3	1236	30,75	0,071	малых нагрузок
10	-	750	-	0,42	холостого хода
11	-	1200	-	0,137	холостого хода

Литература

1. Кузьмин Н.А. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации. Нижний Новгород, 2002.
2. Николаенко А.В., Шкрабак В.С. Энергетические установки и машины. Двигатели внутреннего сгорания: Учеб. пособие. СПб.: СПбГАУ, 2005.
3. Николаенко А.В., Салова Т.Ю. Способ и устройство для снижения выбросов оксидов азота с отработавшими газами дизелей //«Экология и

сельскохозяйственная техника». Тез. докл. научн.– практ. конф. ВНИПТИМЭСХ. СПб, 1998. С. 214–216.

4. Двигатель ЗМЗ 4062. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту ОАО «Заволжский моторный завод». – Заволжье. 2002.

5. Безопасность транспортных средств (автомобили) / В. А. Гудков, Ю. Я. Комаров, А. И. Рябчинский, В. Н. Федотов. Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2010. - 431 с.

¹ Сивов Александр Александров, аспирант СПбГУЭСЭ тел.: +7(911)981-99-96; e-mail: mr.sivoff@gmail.com