

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)
Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование кафедры)
13.04.03 «Энергетическое машиностроение»
(код и наименование направления подготовки)
Энергетические комплексы и системы управления
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Выполнение перспективных норм токсичности стандарта Stage
газовыми двигателями

Студент

В.К. Мыскин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Тольятти 2019

Оглавление

Введение. Актуальность проблемы	4
Глава 1. Состояние вопроса и задача исследования	6
1.1. Показатели оценки эффективности рабочего процесса	6
1.2. Период быстрого сгорания	9
Глава 2. Экспериментальные исследования	25
2.1. Цель работ	25
2.2. Объект испытаний	25
2.3. Условия проведения испытаний	25
2.4. Измерительное оборудование	27
2.5. Порядок проведения испытаний	28
2.6. Обработка результатов испытаний	31
2.7. Результаты испытаний и их анализ	33
Глава 3. Технические требования на комплект электронной системы управления двигателем.	41
3.1. Назначение	41
3.2. Технические требования к составу, функциям и параметрам системы управления	42
3.3. Состав системы управления.	43
3.4. Требования радиоэлектронной защиты	47
3.5. Требования к стойкости к внешним воздействиям	47
3.6. Требования надежности	49
Глава 4. Технические требования на низковольтный жгут проводов ЭСУД	49
4.1. Назначение	49
4.2. Технические требования к изделию	50
4.3. Требования к материалам и комплектующим изделиям	50
4.4. Требования к скреплению проводов в жгут	51
4.5. Требования к электрическим параметрам	51
4.6. Требования к механическим параметрам	52

4.7. Требования по стойкости к внешним воздействующим факторам	52
4.8. Требования к надежности	53
4.9. Этапы выполнения ОКР	53
4.10. Порядок выполнения и приемки этапов ОКР	54
Заключение	55
Основные термины и условные обозначения	56
Список использованных источников	60
Приложение А - Спецификация комплектации ДВС	75
Приложение Б - Спецификация ЭСУД	76
Приложение В - Спецификация системы питания газом	82
Приложение Г - Протоколы испытаний ДВС	84
Приложение Д - Протокол испытаний ГСМ	87
Приложение З - Результаты стендовых измерений параметров ДВС	89

ВВЕДЕНИЕ

Использование в автотранспорте такого природного газа, как метан во всем мире заметно увеличилось.

Данный природный газ является сырьем ископаемым, но в классификации горюче-смазочных материалов, используемых для транспортных средств, сжиженный и компримированный природные газы – это газы, относящиеся к альтернативным видам топлива.

В качестве моторного топлива природный газ широко используется, прежде всего, в странах, имеющих собственные газовые месторождения и озабоченных проблемами энергетической и экологической безопасности и экономической стабильности. К таким странам относятся Пакистан, Аргентина, Бразилия, Индия, Китай и США [1-15].

На сегодняшний день в мире насчитывается более двадцати миллионов транспортных средств, работающих на природном газе. Динамика ведет к тому, что в ближайшие пять лет их количество превысит 30 миллионов единиц.

Согласно Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года приоритетным направлением является экологическая политика в транспортной сфере, а именно снижение негативного воздействия транспортной системы на окружающую среду.

Таким образом, тема работы выполнение перспективных норм токсичности стандарта Stage газовыми двигателями является актуальной

Цель данной работы заключается в разработке таких методов, которые позволят обеспечить выполнение современных норм Stage.

Задачи, решаемые в ходе работы, для выполнения поставленных целей:

- проработка состояния вопроса по теме диссертации на данный период;
- отработка и определение зависимости выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами ДВС с искровым зажиганием, работающего на КПП, бензине, пропан-бутане в условиях моторного стенда;

- сравнение результатов, полученных при исследовании действующими и перспективными нормами выбросов токсичных компонентов;

- подготовка перечня рекомендаций для усовершенствования данного двигателя.

Объектом исследования является ДВС ЗМЗ-409061.10.

Предметом исследования является топливная экономичность и экологические показатели.

Научная новизна данной работы:

- определена зависимость выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами двигателя с искровым зажиганием, использующего бензин, пропан-бутан, КПП.

- определена зависимость расхода топлива при работе ДВС на бензин, пропан-бутан, КПП.

- получены доказательства влияния вида используемого топлива на экологические характеристики двигателя.

Практическая значимость работы:

- полученные в ходе работы результаты помогут установить перспективные направления данной тематики применения альтернативных топлив.

Публикации. По теме диссертационного исследования была опубликована одна статья.

Результаты, полученные в ходе работы, помогают спрогнозировать дальнейшее развитие данных способов улучшения экологических и экономических параметров двигателя, также отметить более перспективные направления их исследования.

Глава 1 Состояние вопроса и задача исследования.

Такую задачу, как повышение энергоэффективных показателей поршневых ДВС на режимах частичных нагрузок ставили перед собой многие отечественные и зарубежные ученые, такие как: Н.Х. Дьяченко, А.В. Дмитриевский, Н.А. Иващенко, D.N. Assani, C.F. Taylor, др.

1.1 Показатели оценки эффективности рабочего процесса

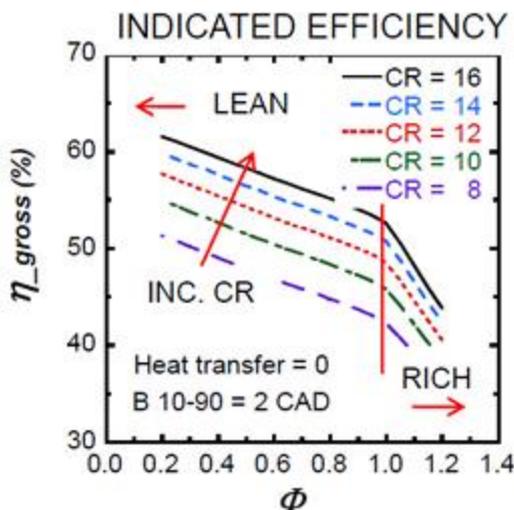


Рисунок 1.1 - Термический КПД ПДВС с искровым зажиганием в зависимости от степени сжатия и состава смеси

Расчетная термическая эффективность (η_t) двигателя с искровым зажиганием, имеющая степень сжатия ($\varepsilon = 9-12$) для идеального воздушного цикла Отто составляет приблизительно 60-63% [16-23]. Этот КПД является функцией степени сжатия (ε) и показателя отношения теплоемкостей ($\gamma = \kappa = 1,4$ для воздуха) и определяется по следующей формуле [24]:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}},$$

где: ε - геометрическая степень сжатия двигателя; γ - показатель политропы сжатия (расширения).

Данная расчетная эффективность значительно выше, чем фактическая. Это связано с принятыми допущениями идеального воздушного цикла Отто. Если учитывать реальные свойства рабочей смеси, то идеальный воздушный цикл Отто будет называться при постоянном объеме. Расчетная термическая

эффективность этого цикла при стехиометрическом составе смеси и степени сжатия равной $\varepsilon=12$ составит около 50%, рисунок 1.1.

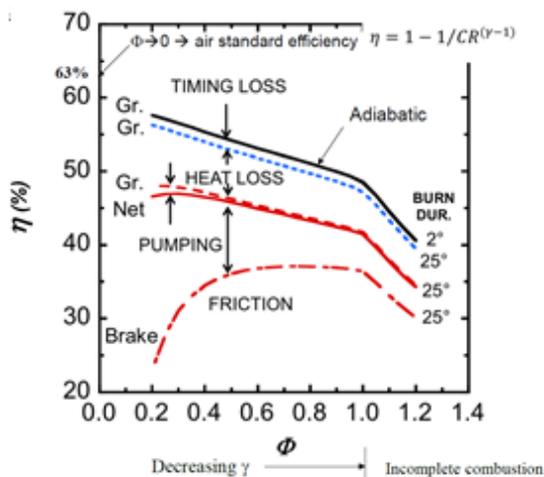


Рисунок 1.2 – Эффективность реального рабочего процесса ПДВС с искровым

Эффективность будет зависеть от степени сжатия и соотношения воздуха-отработавшие газы-топливо [21]. По факту эффективность реального рабочего цикла будет на 20% меньше, чем идеальный топливно-воздушный цикл Отто. Это зависит от потери тепла в системе охлаждения, продолжительности сгорания, насосные потерями, утечки или неполное сгорание топлива в реальном процессе, которые оцениваются через ряд различных КПД: $\eta_{СГОР}$, $\eta_{ТЕРМОД}$, $\eta_{ГАЗООБМЕН}$ ($\eta_{i,NET}$ - применяемое обозначение в иностранной литературе), $\eta_{ТР}$ [21,25].

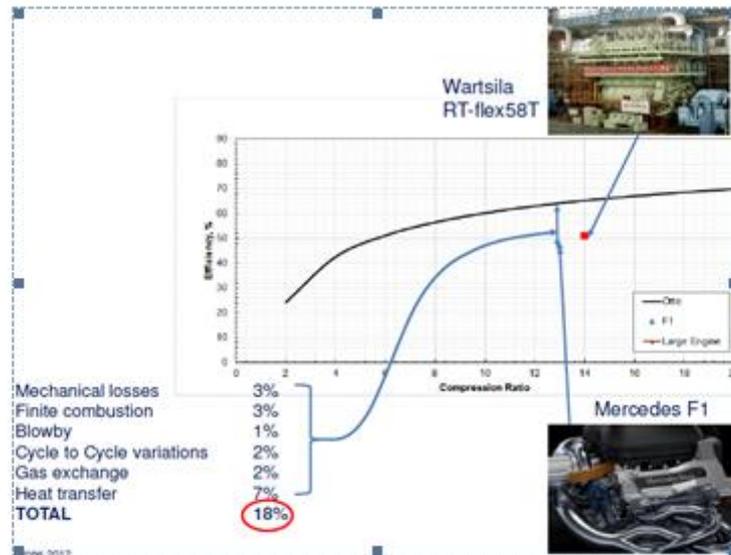


Рисунок 1.3 – Максимальная достигнута эффективность современных двигателей в сравнении с теоретическим термическим КПД

Соответственно $\varepsilon=12$ максимальный индикаторный КПД, составляет около 40–42% на режиме полной нагрузки, когда дроссельная заслонка открыта полностью [21, 23, 25, 26], как показано на рисунке 1.2 [23].

При определении эффективного КПД (η_e) на выходном валу двигателя, необходимо принимать во внимание потери на трение. При полной нагрузке данные потери составят не более 10% ($\eta_m=0,9$) от указанной работы [21]. Следовательно, эффективный КПД рабочего цикла ПДВС легкового автомобиля при полной нагрузке составит 30–35%, что резко отличается от уровня эффективности для двигателей большого литража или двигателей, используемых для спортивных автомобилей, рисунок 1.3 [27].

Для определения оценки преобразования теплоты топлива в эффективную работу, а также составляющих тепловых потерь в теории ПДВС через коэффициенты эффективности, используются следующие формулы:

$$\eta_e = \eta_i * \eta_m ;$$

$$\eta_e = \eta_{СГОР} * \eta_{ТЕРМОД} * \eta_{ГАЗООБМЕН} * \eta_{ТР} ;$$

$$\eta_i = \eta_{СГОР} * \eta_{ТЕРМОД}$$

$$\eta_m = \eta_{ГАЗООБМЕН} * \eta_{ТР} ,$$

где: η_e - эффективный КПД ПДВС; η_i - индикаторный КПД ПДВС; η_m - механический КПД ПДВС; $\eta_{СГОР}$ - эффективность процесса сгорания; $\eta_{ТЕРМОД}$ - термодинамический КПД рабочего цикла; $\eta_{ГАЗООБМЕН}$ - эффективность газообмена; $\eta_{ТР}$ - затраты на трение в двигателе и паразитные потери.

В работе вводится понятие относительного КПД рабочего цикла [28]:

$$\eta_g = \frac{\eta_i}{\eta_t}, \text{ величина, которого оценивается для действительного цикла}$$

$$\eta_g = 0,7 \dots 0,9.$$

С учетом ранее приведенных зависимостей, получим:

$$\eta_g = \frac{\eta_{СГОР} * \eta_{ТЕРМОД}}{\eta_t}.$$

Отличие режима частичной нагрузки от режима полной нагрузки в больших потерях тепла в системе охлаждения, разное время сгорания и пр., в связи с этим необходимо более подробное рассмотрение причин ухудшения показателей рабочего процесса, $\eta_i = f(\eta_{СГОР}, \eta_{ТЕРМОД})$.

1.2 Период быстрого сгорания.

Ряд факторов оказывают свое влияние на снижение $\eta_i = f(\eta_{СГОР}, \eta_{ТЕРМОД})$ рабочего цикла при дросселировании. Целесообразнее всего рассмотреть влияние на эффективность сгорания $\eta_{СГОР}$ и термодинамическую эффективность.

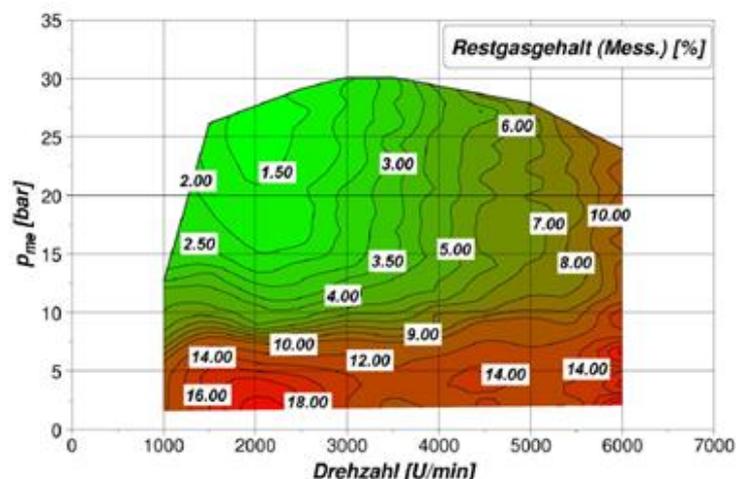


Рисунок 1.4 – Массовое содержание отработавших газов от оборотов и нагрузки

Большое влияние на термодинамическую эффективность оказывает содержание отработавших газов в горючей смеси. Их количество в цилиндре двигателя изменяется с его оборотами и нагрузкой [36] (рисунок 1.4), возможно дополнительное повышение путем применения рециркуляции отработавших газов на впуске [37]. С целью повышения экономичности двигателя на определенных режимах уровень допустимой рециркуляции отработавших газов не выходит за пределы показателей в 20-25%, но использование специальных улучшений зажигания горючей смеси помогает увеличить показатели в пределах 40% , показатель выше 50% дает использование водорода [38].

Чтобы произвести оценку влияния отработавших газов и в каком количестве в сравнении с избыточным окислителем – воздухом при бедных смесях было введено эквивалентное соотношение, определяющееся по следующей формуле:

$$\varphi' \equiv \frac{G_T / (G_B + G_{OG})}{(G_T / G_B)_{CT}} = \frac{\varphi(1 - \zeta)}{[1 + \varphi\zeta(G_T / G_B)_{CT}]} \cong \varphi(1 - \zeta),$$

Где: G_T, G_B, G_{OG} - масса топлива, воздуха и отработавших газов в рабочем цикле,

$(G_T / G_B)_{CT}$ - стехиометрическое соотношение топливо/воздух,

φ - равносильное соотношение топливо/воздух,

ζ - массовая доля отработавших газов в рабочей смеси.

Эффективность сгорания $\eta_{сгор}$.

Влияние состава топливоздушной смеси и количества отработавших газов.

На Рисунке 1.5 показано изменение эффективности сгорания ($\eta_{сгор}$) в зависимости от состава смеси для ПДВС [21, 39]. Современные ДВС с искровым зажиганием в области бедных составов топливоздушной смеси, имеют эффективность сгорания равную $\eta_{сгор} = 0,95 \div 0,98$, стоит учитывать, что показатели могут быть значительно ниже для отдельных циклов.

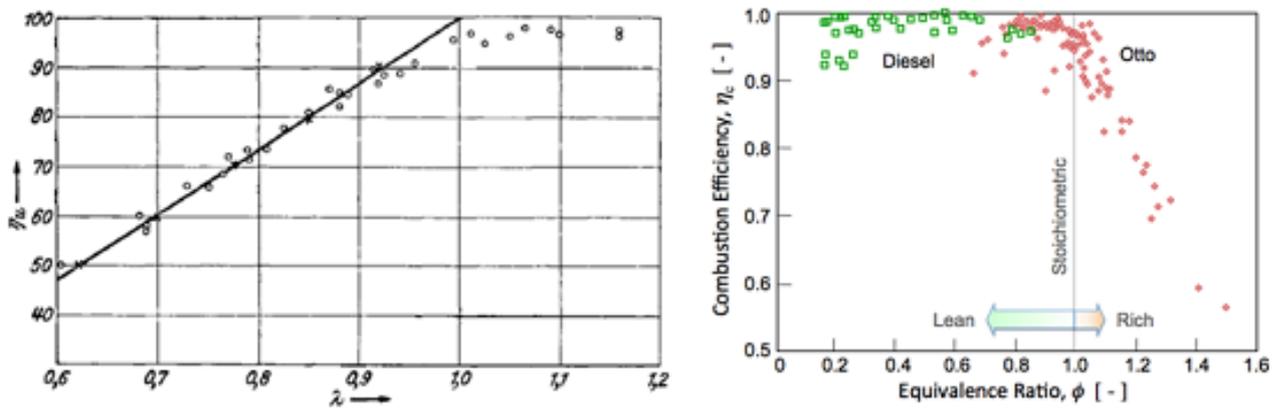


Рисунок 1.5- Изменение эффективности сгорания: линейная зависимость в области богатых составов смеси (а) и в зависимости от состава смеси (ϕ -эквивалентное соотношение) и типа двигателя (б)

При большом разнообразии топливовоздушных смесей ($\phi > 1$, $\lambda < 1$) при отсутствии кислорода в избытке для полного окисления С и Н топлива, по мере обогащения будет постепенно убывать эффективность сгорания, в области стехиометрического состава смеси эффективность сгорания приблизительно равна $\eta_{сгор} = 0,88 \div 0,98$.

В ходе исследований [40] для двигателей с искровым зажиганием, работающих на бедных составах смесей, было зафиксировано резкое падение эффективности сгорания, зависящее от состава смеси, представленной на рисунке 1.6:

$$C(\phi) = \frac{C_{\max}}{\phi}, \text{ для } \phi > 1;$$

$$C(\phi) = \frac{C_{\max}}{1 + 100 \frac{\phi - \phi_m}{\phi_u - \phi_l}}, \text{ для } \phi < 1,$$

Где: C_{\max} - макс эффективность сгорания при стехиометрическом составе смеси;
 ϕ_u , ϕ_l - равносильное соотношение, когда достигнута нужная эффективность сгорания, 90% и 10%;

$\phi_m = (\phi_u + \phi_l)/2$ - равносильное соотношение на критическом уровне.

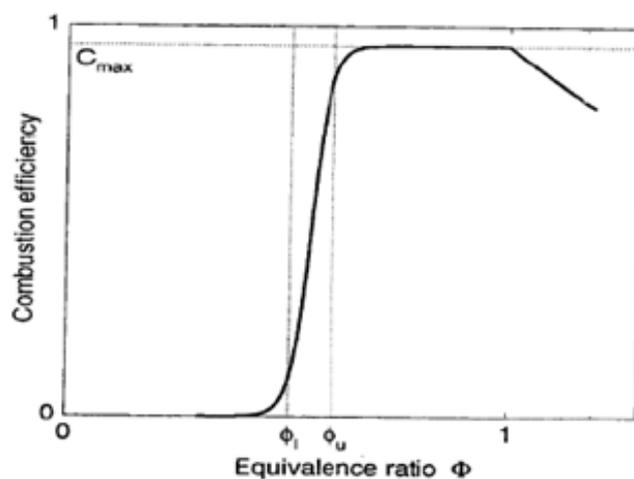


Рисунок 1.6 - Эффективность сгорания с зависимости от эквивалентного соотношения

Также факт резкого падение падения эффективности сгорания, был зафиксирован [41] при попытке разбавления рабочей смеси азотом. Использован одноцилиндровый четырехклапанный двигатель ($\tau = 4$) степень сжатия $\varepsilon = 9,5$, диаметр цилиндра $D=88$ мм, ход поршня $S=82$ мм, режим $n=2000$ об/мин, нагрузке $p_i=0,407$ МПа и стехиометрический состав бензовоздушной смеси ($\varphi=1$), при попытке разбавления смеси азотом (его объемное содержание в воздухе варьировалось в пределах $\beta=0; 0,1; 0,2; 0,295$) значения эффективности сгорания были равны $\eta_{сгор} = 0,968; 0,965; 0,961; 0,888$. Эффективность сгорания при использовании данного метода составила $0,3\%; 0,41\%; 7,6\%$ (общее – $8,3\%$).

Методика увеличения доли рециркуляции отработавших газов, приведшая к падению эффективности сгорания, также представлена в работе [42]. На рисунке 1.7 показано, как уменьшится эффективность сгорания при увеличении количества отработавших газов, при их содержании в горючей смеси свыше $\zeta > 25\%$ произойдет ее резкое падение.

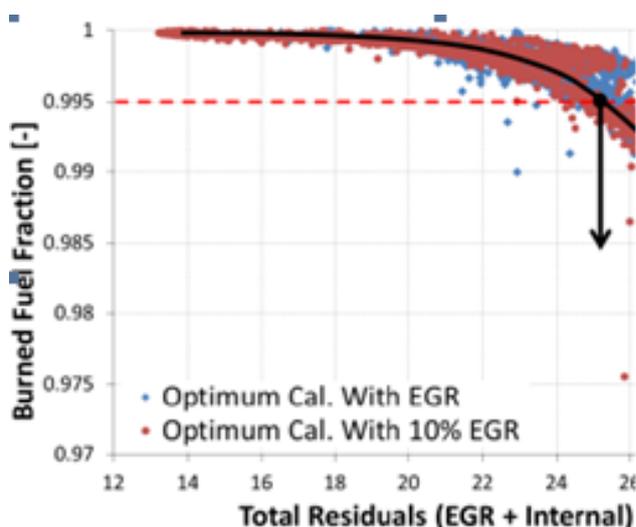


Рисунок 1.7

В результате проведенных исследований становится понятно, что при попытке разбавить рабочие смеси инертными газами, снижая скорость пламени в процессе сгорания, критическое равнозначное соотношение φ_m сместиться в сторону богатых смесей [43].

Известно, что эффективность сгорания изменяется от цикла к циклу, это зависит от объема сгорания топлива в рабочем процессе, в отдельных рабочих циклах может понизиться до нулевого значения в случае пропуска зажигания.

На рисунке 1.8 [42, 43] показана эффективность горения бедных смесей, выраженная в степени приближения процесса сгорания к теоретическому изо-хорному процессу подвода теплоты. На графиках рисунка 1.20 отчетливо видно, что эффективность сгорания в отдельных медленных циклах сгорания равна 80%, при условии фиксированного максимального значения средней эффективности около 98%. Показатели эффективности сгорания при рециркуляции отработавших газов, выражаются в массе сгоревшего топлива в рабочем цикле и зависит от продолжительности периода быстрого сгорания (Рис. 1.9) [42].

1600rpm, A/F=23, IMEP=457kPa, COV of IMEP=5.2%

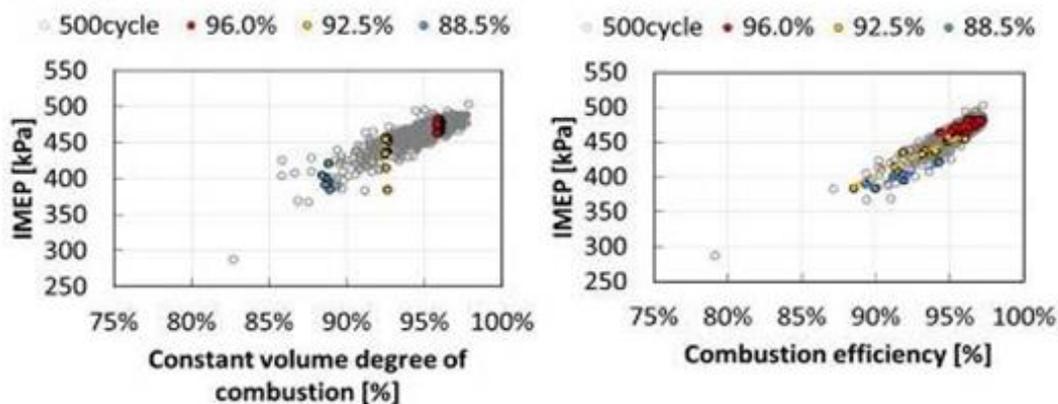


Рисунок 1.8 - Зависимость эффективности сгорания от степени приближения процесса сгорания к теоретическому изохорному процессу подвода теплоты

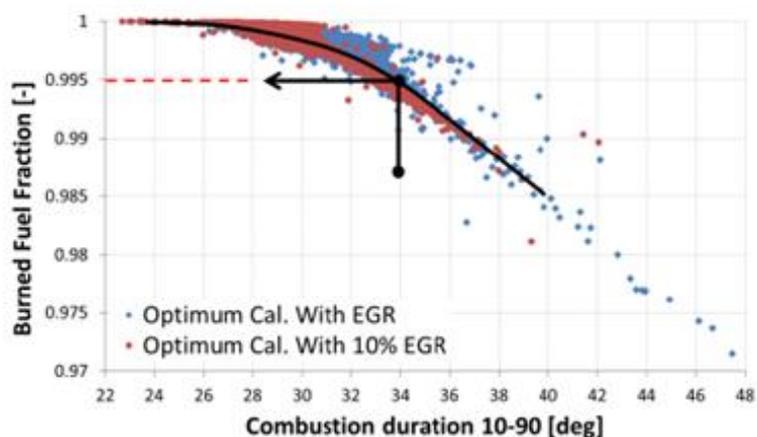


Рисунок 1.9 – Масса сгораемого топлива в зависимости от продолжительности фазы быстрого сгорания

Невозможно оценить влияние положения процесса сгорания CA50 относительно ВМТ на эффективность, как только произойдут изменения положения CA50, сразу изменится продолжительность сгорания или, как в данном случае, получится совокупный эффект двух факторов. Рисунок 1.8 демонстрирует влияние продолжительности и положения сгорания, определяемого CA50, на эффективность сгорания.

Опираясь на фундаментальные исследования ПВДС [21, 22], стоит отметить, что увеличение продолжительности сгорания, повышает вероятность гашения пламени в процессе его распространения по камере сгорания и фикси-

руется рост выброса несгоревших углеводородов с отработавшими газами в этой связи. Высока вероятность, что при смещении сгорания на такт расширения увеличится сама продолжительность сгорания, выбросы несгоревшего топлива на выпуске и снижение $\eta_{сгор}$.

Данная работа [44] содержит результаты испытаний двухлитрового ДВС GM Ecotec LNF с непосредственным впрыском различных топлив. Стоит отметить, что существующий предел стабильности сгорания, возникающий при продолжительном процессе сгорания на критических показателях, не зависящих от вида топлива и его ламинарной скорости. При проделанной работе были получены аналогичные результаты [45]. Исследования процесса сгорания при добавках водорода в индолин проводились на двигателе Ricardo Hydra МК III.

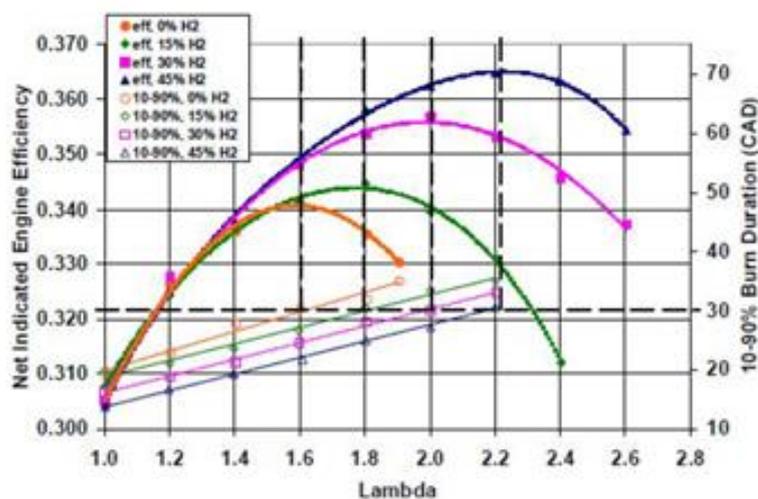


Рисунок 1.10 – Зависимости индикаторного КПД и продолжительности периода быстрого сгорания от коэффициента избытка воздуха при различных добавках водорода в индолин-водород-воздушную смесь

Данный ДВС представлял собой одноцилиндровый двигатель ($\tau = 4$) с 4-х клапанной головкой Volvo с базовой степенью сжатия $\varepsilon = 9,8$, диаметром цилиндра $D=83$ мм, ходом поршня $S=90$ мм. Испытания проводились на режиме $n=1500$ об/мин, нагрузке $p_i=0,35$ МПа при базовых показателях степени сжатия, а также дополнительно при $\varepsilon = 13,4$ использования нескольких уровней турбу-

лентности и массовых долях водорода в топливовоздушной смеси. Сгорание достигло окончательного предела при продолжительности периода быстрого сгорания $\theta_{b(10-90\%)}=30$ град п.к.в., во всех испытаниях без исключения . (Рис. 1.10).

На рисунке 1.11 можно ознакомиться с результатами испытаний ДВС, где система зажигания основана на воздействии пламенем в основной части горючей смеси в виде струи, сформированной при выгорании водорода в количестве от $\sim 0,2\%$ до 5% от общего количества энергии Рисунок 1.11б, заключенной во всем топливе, в специальной камере [46]. Данный принцип воспламенения имеет название hydrogen assisted jet ignition (HAJI), в связи с использованием в основной камере в качестве топлива.

Двигатель, используемый для исследования ASTM - CFR (производства компании Waukeshha Engine Co) это одноцилиндровый двигатель ($\tau =4$), имеющий возможность изменять степень сжатия в диапазоне $\varepsilon = 8,0-15,0$, диаметром цилиндра $D=82,6$ мм, ходом поршня $S=114,3$ мм. Режим проводившихся испытаний равен $n=1800$ об/мин (дополнительный режим - 1200 об/мин), в большом диапазоне изменения показателей нагрузки и коэффициента избытка воздуха λ .

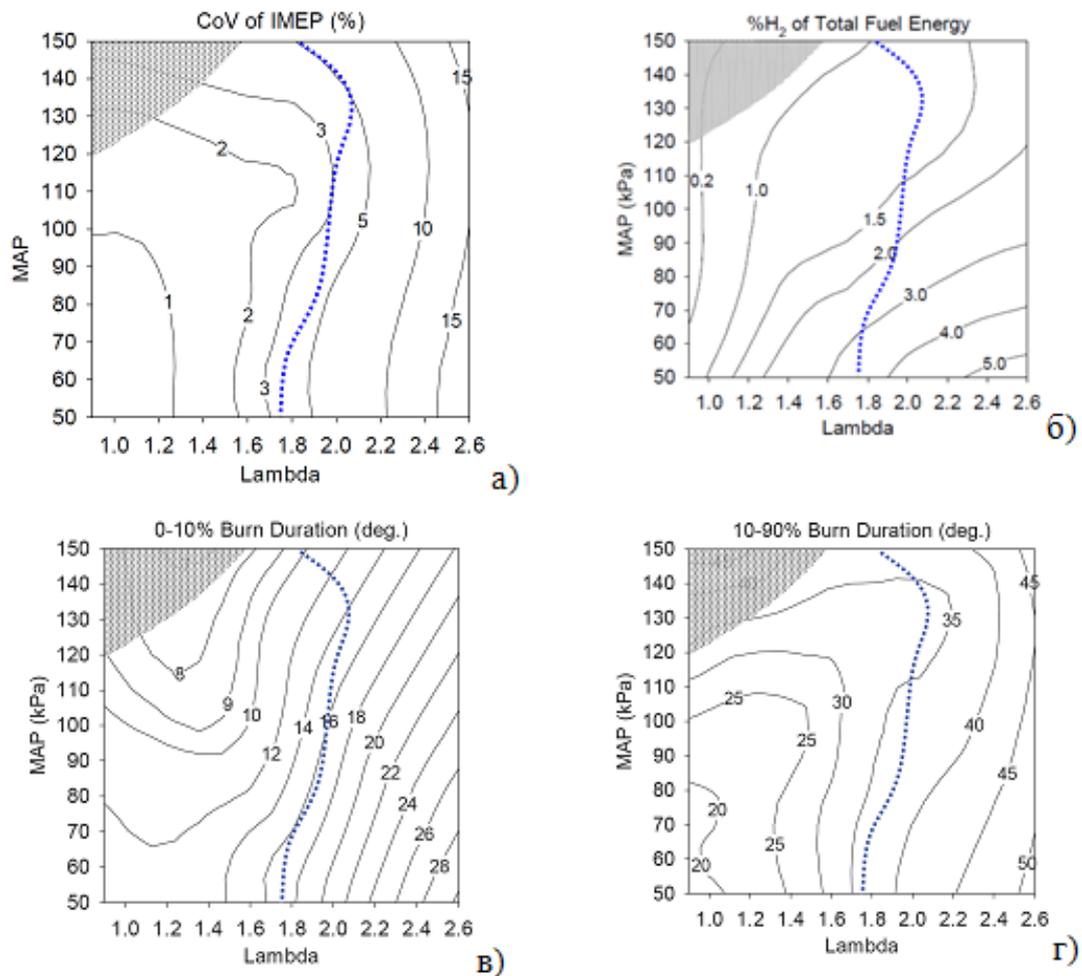


Рисунок 1.11 - Результаты испытаний на режиме НАЛ-бензин, $\varepsilon = 11$,
 $n = 1800$ об/мин

На двух последних графиках рисунка 1.11 показан период развития пламени $\theta_{b(0-10\%)}$ имеющий значение около 30 град. п.к.в., период быстрого сгорания $\theta_{b(10-90\%)}$ около 50 град. п.к.в. при максимальном коэффициенте избытка воздуха $\lambda = 2,6$, однако, при сравнении рисунка 1.11а и 1.11г, отчетливо видно, что в изолиниях уровней COV_{p_i} и продолжительности $\theta_{b(10-90\%)}$ идентичность зависимости разных показателей в одних и тех же координатах для $COV_{p_i} = 2\%$ и $\theta_{b(10-90\%)} = 30$ град п.к.в. (более точное совпадение зависимости соответствует изменению $\theta_{b(10-90\%)}$ от 30 до 35 град. п.к.в., большее значение соответствует высоким нагрузкам). Хочется отметить, что с ростом показателей $\theta_{b(10-90\%)}$, превышающих данное значение, происходит значительный рост величины COV_{p_i} . По-

этому $COV_{p_i} = 2\%$ можно классифицировать как значение граничное, при продолжительности, соответствующей $\theta_{b(10-90\%)}$.

Для проведения сравнительного анализа получаемого эффекта от способа воспламенения и вида топлива в указанной работе также приведены результаты экспериментов при использовании стандартной системы зажигания и при использовании НАЛ воспламенения с подачей водородовоздушной топливной смеси в основную камеру сгорания, результаты испытаний представлены на рисунке 1.12.

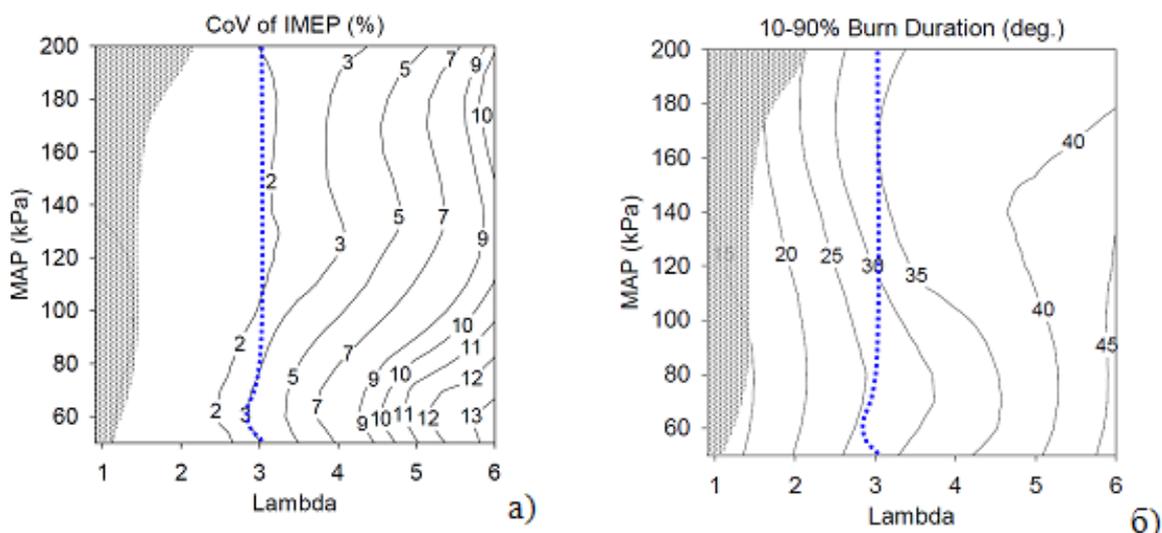


Рисунок 1.12. Результаты испытаний на режиме НАЛ-водород, $\varepsilon = 11$, $n = 1800$ об/мин

Если использовать водород, как основное топливо станет заметно, что не проявляется явной границы в устойчивости сгорания, так для аналогичного уровня $COV_{p_i} = 2\%$ показатели продолжительности периода быстрого сгорания $\theta_{b(10-90\%)}$ будут в пределах 22,5 град п.к.в. при низких нагрузках до 35,5 град п.к.в. при высоких (рис. 1.12б). При увеличении $\theta_{b(10-90\%)}$ от принятых значений возрастут показатели величин COV_{p_i} .

Влияние оборотов и нагрузки.

Повышение эффективности сгорания происходит с увеличением нагрузки на двигатель, здесь проявляется высокая степень зависимости от оборотов и уровня нагрузки (Рис. 1.13-1.126).

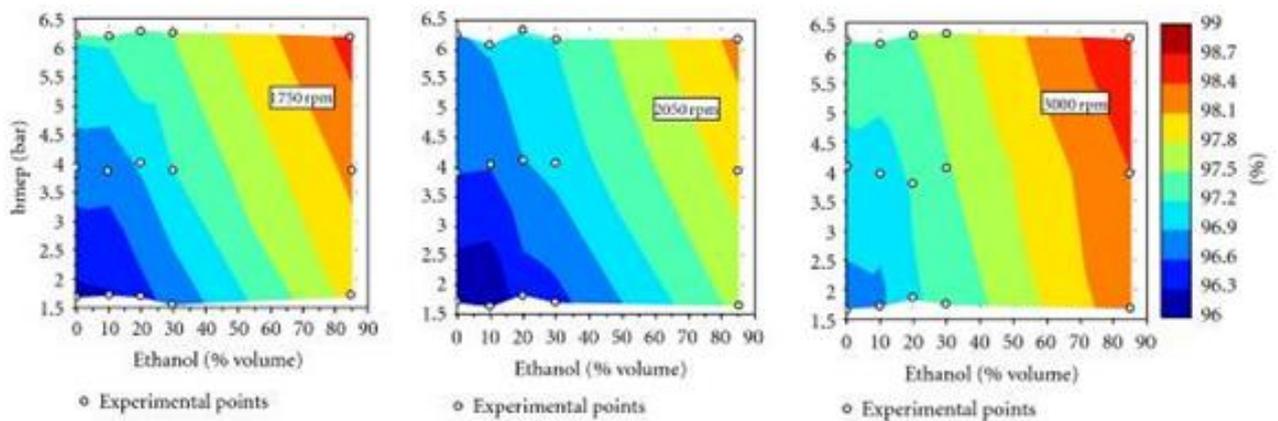


Рисунок 1.13 – Эффективность сгорания при работе двигателя на бензоэтаноль-новоздушных смесях в зависимости от содержания этанола при различных оборотах и нагрузке

Рисунок 1.13 демонстрирует результаты экспериментальных исследований [47] четырехцилиндрового двигателя с четырьмя клапанами на цилиндр ($\tau = 4$), степень сжатия $\varepsilon = 10,5$, диаметр цилиндра $D=80,5$ мм, ход поршня $S=78,4$ мм, на режимах $n=1750-3000$ об/мин, нагрузке $p_e=0,15-0,65$ МПа и стехиометрическом составе топливоздушную смеси ($\varphi=1$). При проведении данного исследования в бензовоздушную смесь добавлялся этанол.

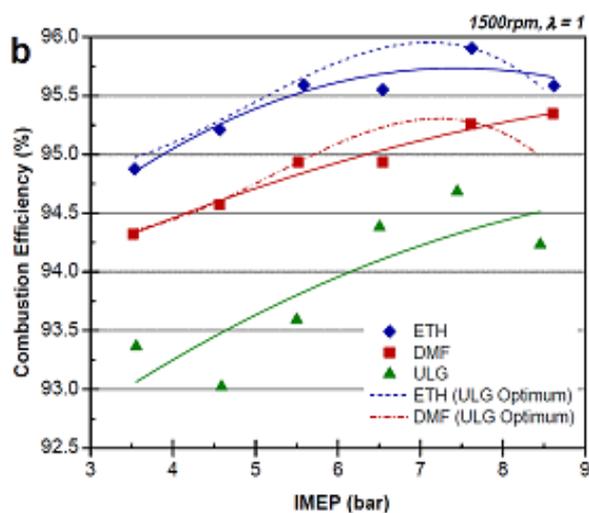


Рисунок 1.14 – Эффективность сгорания при работе двигателя на бензине, 2,5-ди-метилфуране и этаноле ($n=1500$ об/мин, p_i -var)

Далее показаны результаты работы [48] четырехцилиндрового с четырьмя клапанами на цилиндр двигателя ($\tau = 4$) с непосредственным впрыском топлива и степенью сжатия $\varepsilon = 11,5$, диаметром цилиндра $D=90,0$ мм, ходом поршня $S=88,9$ мм, на режиме $n=1500$ об/мин, нагрузке $p_i=0,35-0,85$ МПа и стехиометрическом составе топливовоздушной смеси ($\varphi = 1$) (Рис. 1.15). Данный вид исследования сгорания в ДВС проводился с использованием таких видов топлива, как бензин, 2,5-ди-метилфуран и этанол.

Данные виды исследований топлив с большей ламинарной скоростью имеют высокий уровень эффективности сгорания, однако бензин показал наихудший результат во всем диапазоне нагрузок и оборотов.

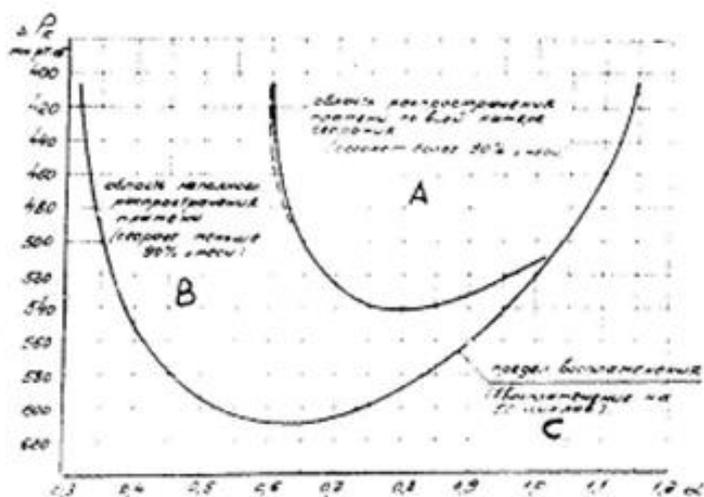


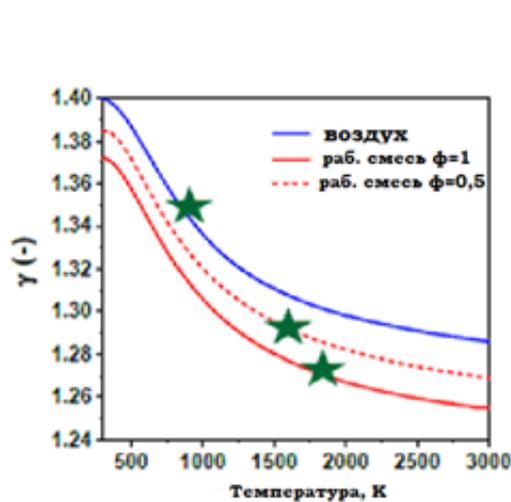
Рисунок 1.15 – Зоны качества протекания рабочего процесса

На рисунке 1.15 представлена диаграмма Даниэля и Вентворта [49, 50]. С помощью кинорегистраций распространения пламени по камере сгорания двигателя, используя режим дросселирования проведена оценка качества протекания процесса сгорания, выявлено три вида и три зоны: зона А – область обширного распространения пламени по всей камере сгорания, где охват пламени составил более 90% смеси; зона В – область частичного распространения пламени с охватом менее 90% смеси и зона С – область, где охват пламени составил менее 10 % смеси. Известно, что распространение пламени по камере

сгорания является определяющим при объемном выгорании топливоздушной смеси, в отличие от массового. Соответственно 90% объема сгоревшей смеси будет равняться 70% сгоревшей массы (Рис.1.15) [50]. При условии режима холостого хода, с разрежением в районе 493 мм рт.ст. на впуске и стехиометрическом составе, граница между областью А и С (90 и 10% объемом сгоревшей смеси) проходит очень близко, что чаще всего приводит к неполному сгоранию топлива для отдельных рабочих циклов, что резко снижает показатели эффективности сгорания.

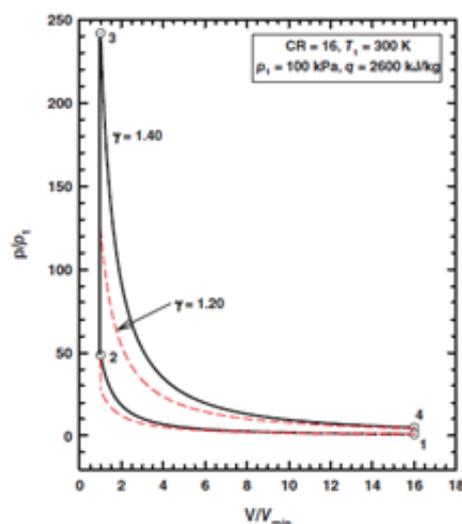
Термодинамическая эффективность ($\eta_{\text{ТЕРМОД}}$).

Основываясь на результатах моделирования проведенных исследований [20 - 22, 25, 26, 28, 39, 50, 52-64 и др.] при выполнении данной работы [26, 53, 55] построен анализ таких факторов.



а)

Рисунок 1.16 – Зависимость показателя политропы от температуры и состава рабочей смеси



б)

Рисунок 1.17 – Вид индикаторной диаграммы в зависимости от показателя политропы

Такого рода моделирование помогает ценить влияние каждого фактора при определенном постоянном значении других переменных факторов.

Влияние состава топливоздушной смеси и количества отработавших газов.

Большое влияние на термодинамическую эффективность оказывает состав смеси, чаще всего то связано с изменением удельной теплоемкости горючей смеси, что способствует изменению работы сжатия и расширения рабочего цикла ДВС (Рис. 1.16-1.17). Стоит отметить, что подобный вид изменения в удельной теплоемкости окажет огромное влияние на эффективность рабочего цикла для бедных смесей, а также в случае применения рециркуляции отработавших газов в цилиндр двигателя, которые, в свою очередь, оказывают влияние на температуру рабочей смеси.

Основываясь на результаты проведенных в лабораториях экспериментов [42] на рисунке 1.18 показано, какое влияние оказывают, как увеличение содержания отработавших газов в рабочей смеси, так ее обеднение на изменение продолжительности сгорания.

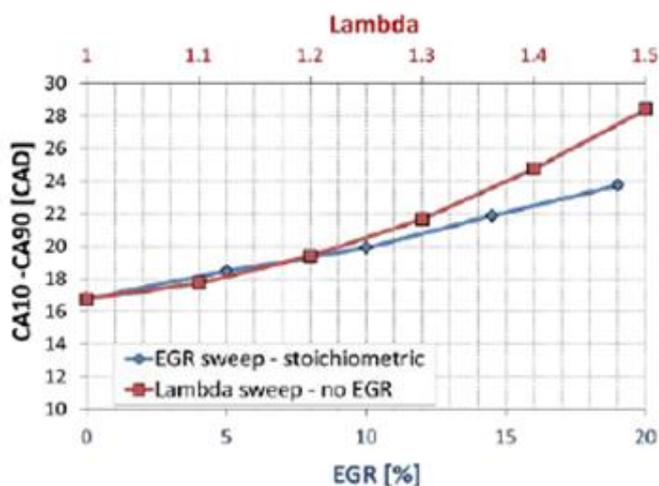


Рисунок 1.18 - Продолжительность периода быстрого сгорания в зависимости от состава смеси и степени рециркуляции отработавших газов

Влияние продолжительности процесса сгорания и его положения, определяемого CA50 относительно ВМТ.

На сегодняшний день существует множество научных работ [26, 53, 54, 55, 57, 162 и др.], посвященных оценке термодинамической эффективности рабочего процесса в зависимости от продолжительности процесса сгорания и его положения, определяемого CA50. Из них следует, что продолжительность процесса сгорания, равная $\theta_b = 60 \div 65$ гр. п.к.в., что соответствует $\theta_{b(10-90)} = 25 \div 30$ гр.

п.к.в. практически не оказывает влияния на термодинамический КПД рабочего процесса при положениях CA50 равном 6-10 гр. п.к.в. после ВМТ, характерных для двигателей с искровым зажиганием. (Рис. 1.19).

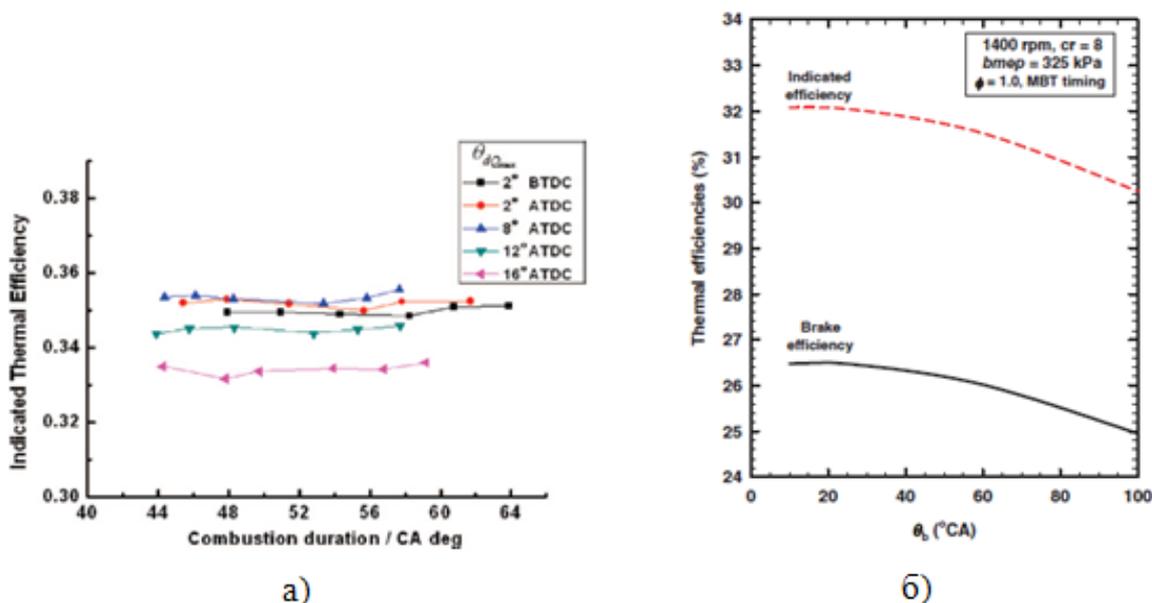
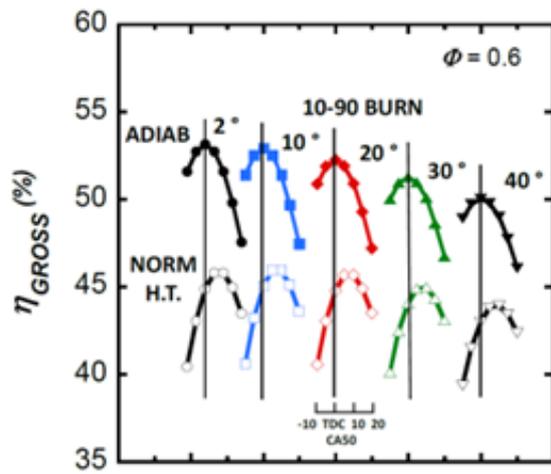


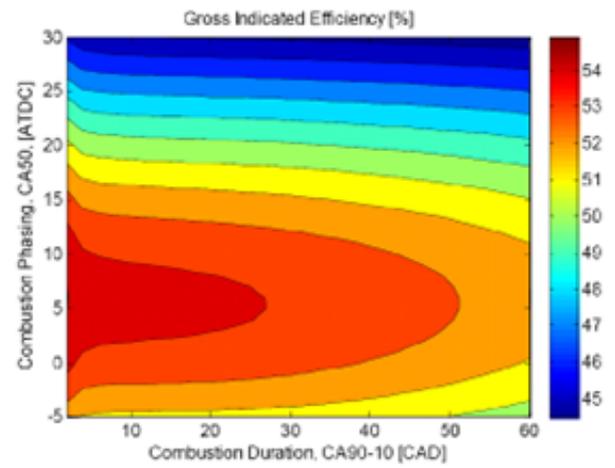
Рисунок 1.19 - Зависимость эффективности рабочего процесса от продолжительности сгорания, б) и положения CA50, а).

Увеличение времени сгорания свыше данных значений приводит к снижению $\eta_{\text{ТЕРМОД}}$ на основании проведенных расчетов можно утверждать, что такое снижение может составить около 2% при значениях $\theta_b = 100$ гр. п.к.в., что соответствует $\theta_{b(10-90)} = 48$ гр. п.к.в..

Тем временем, по результатам моделирования видно значительное влияние положения процесса сгорания, определяемого CA50 относительно ВМТ, на термодинамическую эффективность. Так при условии смещения CA50 свыше 10 гр. п.к.в. от ВМТ на линию расширения приходится увеличение падения эффективности в зависимости от меры увеличения смещения CA50 от ВМТ, (Рис. 1.20).



а)



б)

Рисунок 1.20 – Зависимость эффективности рабочего процесса от продолжительности периода быстрого сгорания и положения CA50, а – при постоянной продолжительности $\theta_{s(10-90)} = 25$ гр. п.к.в. и б – при различных значениях $\theta_{s(10-90)}$

Глава 2 Экспериментальные исследования

В основе выполнения поставленных задач диссертационной работы лежит экспериментальный метод исследования путём снятия характеристик двигателя внутреннего сгорания, это обусловлено необходимостью получения реальных результатов исследуемого объекта, такого вида работа не подразумевает выполнение данных исследований теоретическим методом.

2.1 Цель работ

Цель данной работы - определение зависимости выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами двигателя с искровым зажиганием работающего на различных топливах (бензин, сжатый природный газ; пропан-бутан) в условиях моторного стенда.

2.2 Объект испытаний

Объектом испытаний выбран поршневой, четырехцилиндровый, четырёхтактный двигатель с искровым зажиганием производства ОАО ЗМЗ $V_h = 2,7$ л, $\varepsilon = 9$ (ЗМЗ-409061.10 комплектация «бензин»). Спецификация комплектации двигателя представлена в приложении А.

Конструкция тестируемого двигателя, а также всех его систем, за исключением электронной системы управления двигателем, условия работы произведены ОАО ЗМЗ. Спецификация данной ЭСУД на базе контроллера АВТ 12.2 представлена в приложении Б.

2.3 Условия проведения испытаний

Все испытания проведены в лабораторном боксе ТГУ на кафедре «Энергетические машины и системы управления», содержащем все необходимое для исследований оборудование в соответствии с ГОСТ 14846 – 81.

Также лабораторный (моторный) бокс был системами измерений и подачи газа.

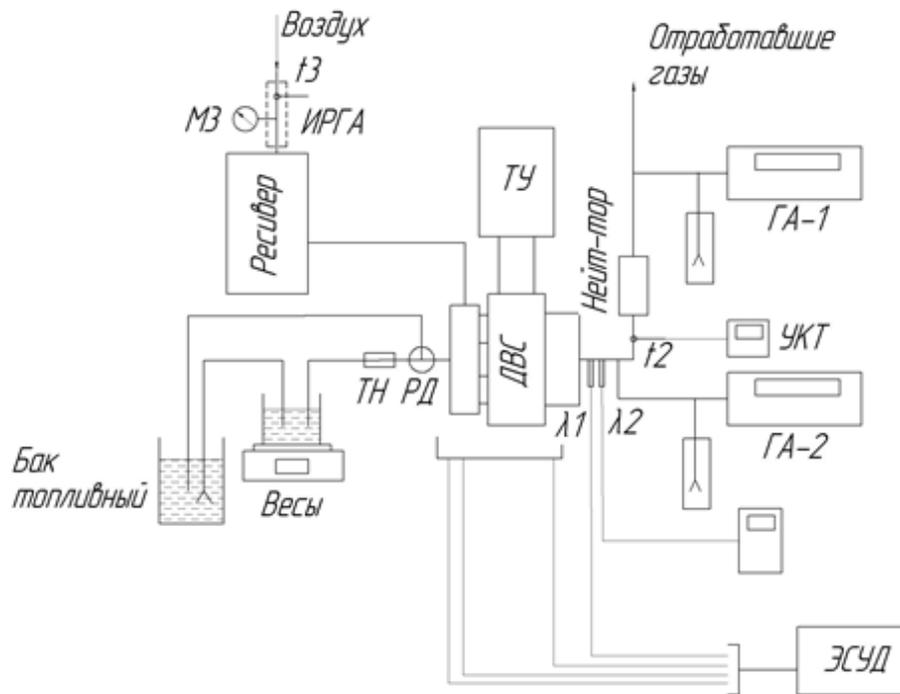


Рисунок 2.1 - Принципиальная схема испытательного стенда при работе ДВС на жидком топливе

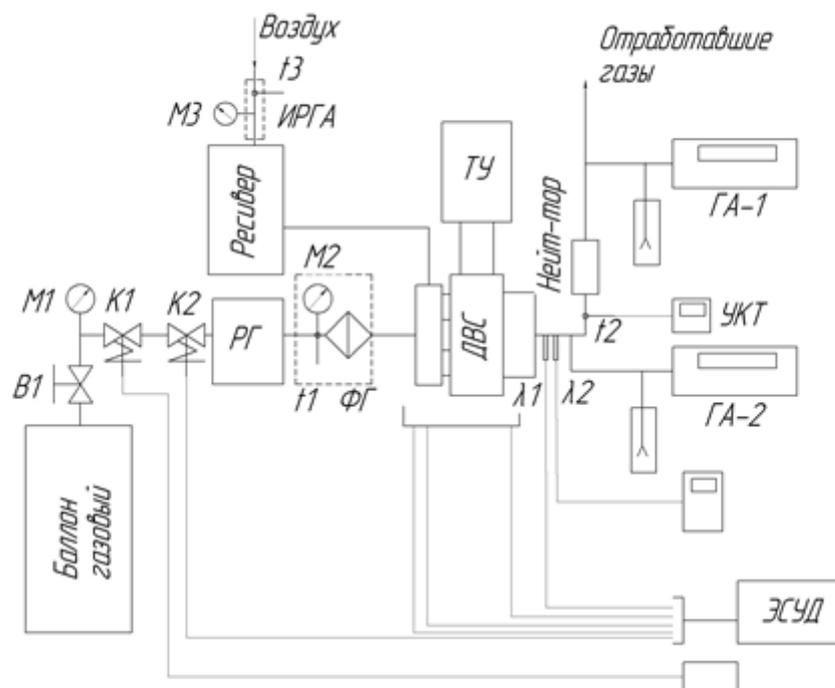


Рисунок 2.2 - Принципиальная схема испытательного стенда при работе ДВС на газовом топливе (LPG/CNG)

На представленных рисунках использованы следующие обозначения:

- ГА-1, ГА-2 - газоанализаторы; - В1, В2 - вентиль запорный; - М1, М2, М3 - манометр и/или датчик давления; - К1, К2 - клапан электромагнитный отсечной; - ТН - топливный насос; - РД - регулятор давления в топливной системе; - УКТ - измеритель температуры (универсальный); - $\lambda 1$ - широкополосный λ -зонд; - $\lambda 2$ - штатный датчик кислорода ЭСУД; - t1, t2, t3 - датчики температур; - ФГ - фильтр газовый; - РГ - газовый редуктор; - ИРГА - измеритель расхода воздуха; - ТУ - тормозное устройство; - ЭСУД - электронная система управления двигателем; - ДВС - двигатель внутреннего сгорания.

Состав и спецификация использованного в работе газового оборудования представлена в приложении В.

По окончании всех подготовительных и монтажных мероприятий подготовки систем бокса проводятся пробные испытания, по результатам которых устраняются погрешности, задаются необходимые параметры и настройки измерительного оборудования и непосредственно самого стенда.

2.4 Измерительное оборудование

Таблица 2.1 – Перечень измерительного оборудования

Наименование средств измерений	Тип, фирма	Класс точности или погрешность	Диапазон измерений
1	2	3	4
Тормоз гидравлический	SCHENK № LLF0401		
Весы для измерения крутящего момента	SCHENK № NRD6732	$\pm 0,5$	1 - диапазон: 0 ÷ 20 кг·с 2 - диапазон: 15 ÷ 50 кг·с
Канал измерения числа оборотов: - датчик числа оборотов	ЭСУД 40904.3847010 DG-6-K, Bosch 0 261 210 302	$\pm 20 \text{ мин}^{-1}$	(0 ÷ 4000) мин ⁻¹
Температура окружающей среды: - термосопротивление	ТСП-Н Pt100	$\pm 2 \%$	(-50 ÷ 400) °С

Давление окружающей среды: - барометр-анероид	МД-49-2 №154	± 1	(600 ÷ 800) мм рт.ст.
Измеритель давления топлива в рампе	Манометр	Кл. т. 2,5	(0 ÷ 6,0) кгс/см ²
Канал измерений температуры отработавших газов: - преобразователь - термопара	УКТ-38-Щ4- ТП ХК Т-49-5	± 1 % ± 2 %	(0 ÷ 1000) °С (-200 ÷ 1200) °С
Канал измерений температуры охлаждающей жидкости:	ЭСУД 40904.3828000 TF-W, Bosch 0 280 130 093	± 5 %	(-35 ÷ 150) °С
Канал измерения расхода воздуха: - счетчик газа	ИРГА-2	± 0,2 %	(0 ÷ 500) м ³ /ч
Канал измерения давления и температуры воздуха во впускном коллекторе	ЭСУД 40905.3829010 DS-S3-TF, Bosch 0 261 230 217	Не менее 2%	(0 ÷ 0.1) МПа
Измеритель влажности окружающего воздуха	Гигрометр психометриче- ский ВИТ-2	0,2	(10 ÷ 100) % относ. влаж.
Состав отработавших газов:			
СН (углеводороды)	Газоанализатор фирма «МЕ- ТА» «Авто- тест 02.03.Ц»	Абс. ± 10 ppm ± 5%	(0 ÷ 200) ppm (200 ÷ 2000) ppm
СО (оксид углерода)		Абс. ± 0.03% ± 3%	(0 ÷ 1) % (1 ÷ 5) %
СО ₂ (диоксид углерода)		Абс. ± 0.5 ± 4%	(0 ÷ 12.5) % (12.5 ÷ 16) %
λ-параметр		Не нормируется	
NOx (окислы азота)		Абс. ± 50 ppm ± 5%	(0 ÷ 1000) ppm (1000 ÷ 5000) ppm
Измеритель λ-параметр: - преобразователь - датчик кислорода широкополосный	Innovate motor- sport LM-1 Bosch 0258 007361	± 0.01	(0 ÷ 2)
Весы электронные	DL-3000WP	Абс. ± 0.02	(0.01 ÷ 3200) гр.

2.5 Порядок проведения испытаний

Все работы разделены на два этапа:

Первый этап:

-настройка моторного стенда, монтаж двигателя, систем топливоподачи и измерения; Моторный стенд представлен на рисунках 2.3 – 2.4.



Рисунок 2.3 – Системы подачи природного и сжиженного газа



Рисунок 2.4 – Двигатель на стенде

Второй этап:

- измерения токсичности отработавших газов двигателя в порядке и на режимах идентичных режимам испытаний ISO 8178-1.

Первоначальный этап работ начался только после осмотра двигателя, контроль уровня технических жидкостей, исключение течи. При выявлении соответствующих отклонений производилось их устранение (доливка технических жидкостей). Необходимым условием является проверка герметичности топливных магистралей. Далее следовал прогрев средств измерений.

Запуск и прогрев двигателя при нагрузке не менее 80% от заданной (номинальной или полной) мощности до стабильных показателей, рекомендованных заводом изготовителем. Следующим этапом было измерение параметров двигателя по циклу (ISO 8178-1) [17].

Как проводились испытания видно из таблицы 2.2.

Таблица 2.2 - Испытательный цикл

Номер режима (цикл D2)	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	-
Частота вращения	Объявленная частота вращения, $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$					Промежуточная частота вращения					Минимальная частота вращения холостого хода
Крутящий момент, %	100	75	50	25	10	-	-	-	-	-	-
Крутящий момент, Нм	180	135	90	45	18	-	-	-	-	-	-
Крутящий момент, кгс	25,7	19,3	12,8	6,4	2,5						
Мощность, кВт	47	35	23	12	4,7	-	-	-	-	-	-
Весовой коэффициент	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-

Время для самого непродолжительного режима должно составлять менее 10 минут. Также не менее 3 минут необходимо потратить на измерение и запись концентрации газообразных компонентов выпуска. Данными для расчета выбросов являлись полученные результаты измерений, за последнюю минуту указанного периода равного трем минутам в целом.

2.6 Обработка результатов испытаний

Результаты испытаний принято считать достоверными тогда, когда в отрезок времени проведения испытаний фактор F остается в пределах $0,93 < F < 1,07$.

Атмосферный фактор F определялся по формуле:

- для двигателей без наддува

$$F = \left(\frac{99}{p_a} \right) \left(\frac{T_a}{298} \right)^{0,7}$$

где p_a и T_a – атмосферное давление и температура окружающей среды.

Параметры работы ДВС рассчитываются в соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81, в частности:

эффективная мощность определяется по формуле:

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9550} [\text{кВт}],$$

где M – крутящий момент двигателя в нм, n – частота вращения коленчатого вала в мин^{-1} ;

- расход жидкого топлива (бензина) определяются по формуле:

$$G_m = 3,6 \cdot 10 \cdot \frac{\Delta G_m}{\tau} \left[\frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right],$$

где ΔG_m – масса топлива, расходуемая за время проведения измерений, τ – время измерения.

Расход газа через двигатель определяется по формуле:

$$G_g = 3,6 \cdot 10 \cdot \frac{\Delta V_g \cdot \gamma_t}{\tau} \left[\frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right],$$

где ΔV_g – объём газа в м^3 , γ_t – плотность газа при испытаниях в $\text{кг}/\text{м}^3$, τ – время измерения.

Определение других показателей по ГОСТ 14846-81.

Для определения количества токсичных компонентов в ОГ необходимо учитывать методики предусмотренные ГОСТ 31967-2012 [18].

Удельный средневзвешенный выброс i -го вредного вещества рассчитывают по формуле:

$$e_i = 0,446\mu_i \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij} V_{exhj} W_j}{P_e \sum_{j=1}^m \bar{P}_{ej} W_j}.$$

где μ_i - молекулярная масса i -го вредного веществ либо его эквивалент по приведению, кг/кмоль;

P_e – номинальная(полная) мощность дв-ля, кВт;

\bar{P}_e - относительная мощность дв-ля, %;

W_j - весовой коэффициент j -го режима;

V_{exhj} - объем времени расхода отработавших газов, соответствующий нормальным условиям во "влажном" или "сухом" состоянии, м³/ч;

c_i - объемная концентрация в отработавших газах i -го вещества, об. %.

Для измерения объемного расхода ОГ подходит любой метод (прямой/непрямой) с приведением к стандартным атмосферным условиям, возможен также расчет по измеренным значениям расхода воздуха и топлива на каждом режиме испытаний по формуле:

$$V_{exhj} = V_{air} + F_f B$$

где F_f — коэффициент приведения к нормальным атмосферным условиям расхода неразбавленных продуктов сгорания различных топлив (м³/кг), принимаемой по таблице 2 для «сухого» или «влажного» состояния ОГ, (или коэффициент состава топлива).

V_{air} – объем времени расхода воздуха, соответствующий нормальным атмосферным условиям (давление $p_a = 101,3$ кПа, температура $T_a = 273$ К), м³/ч;

B - массовый расход топлива, кг/ч.

Таблица 2.3 - Значение коэффициента состава топлива

Вид топлива	Значение коэффициента состава топлива, м ³ /кг, для состояния отработавших газов	
	«влажное»	«сухое»
Моторное	0,72	- 0,74
Природный газ	1,33	-1,34
Пропан-бутан	0,98	-1,00

Для расчета объемного расхода ОГ допускают другие стандартные методы, например, метод баланса С и О.

2.7 Результаты испытаний и их анализ

Ознакомиться с первичными результатами испытаний (протокол) можно в приложении Г.

На рисунке 2.5 представлено изменение удельного эффективного расхода топлива (нагрузочная характеристика). Отталкиваясь от условий обеспечения минимальной токсичности отработавших газов выбирались параметры регулирования двигателя (состав смеси, угол опережения зажигания и пр.).

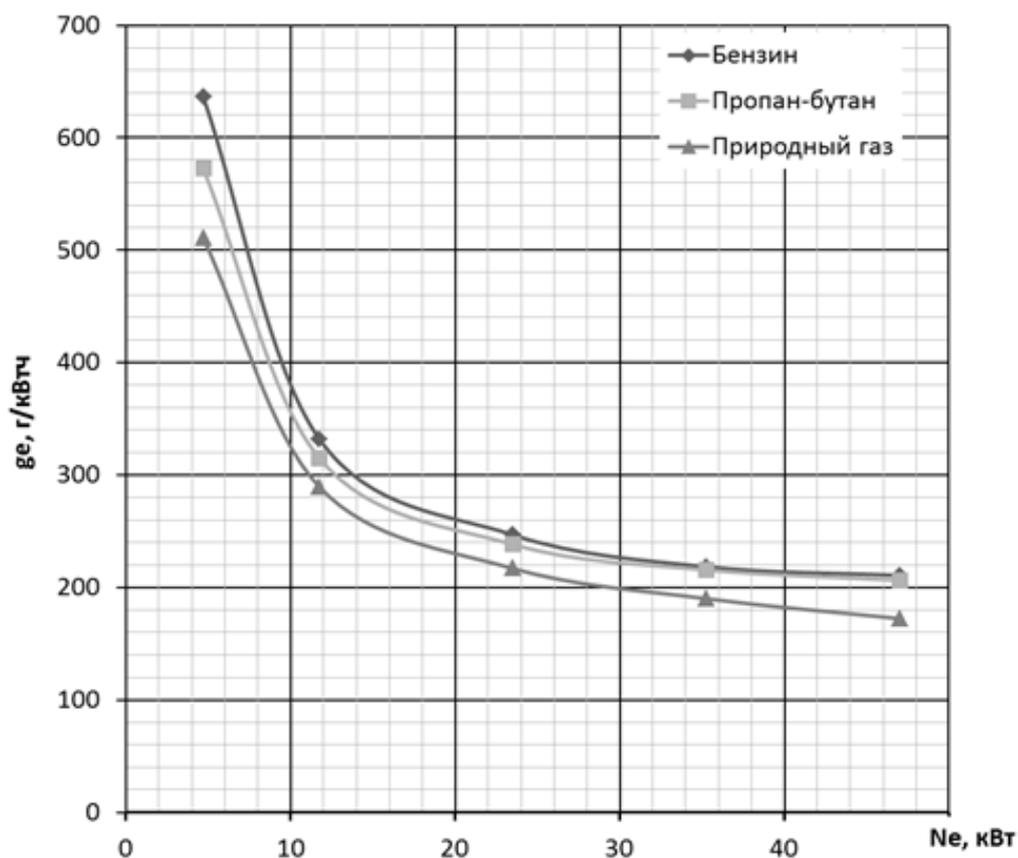


Рисунок 2.5 – Удельный эффективный расход топлива ($n = 2500 \text{ мин}^{-1}$);

Важными показателями, влияющими на экологические и экономические параметры, являются именно значения калибровочных таблиц электронного блока управления ДВС. (Приложении 3). Там представлены изменения параметров при работе двигателя на бензине (10 сек). Результаты испытаний подтверждают, что реализуемый двигателем коэффициент избытка воздуха является основным параметром, определяющим экономические и экологические характеристики двигателя. (Рис 2.6-2.8).

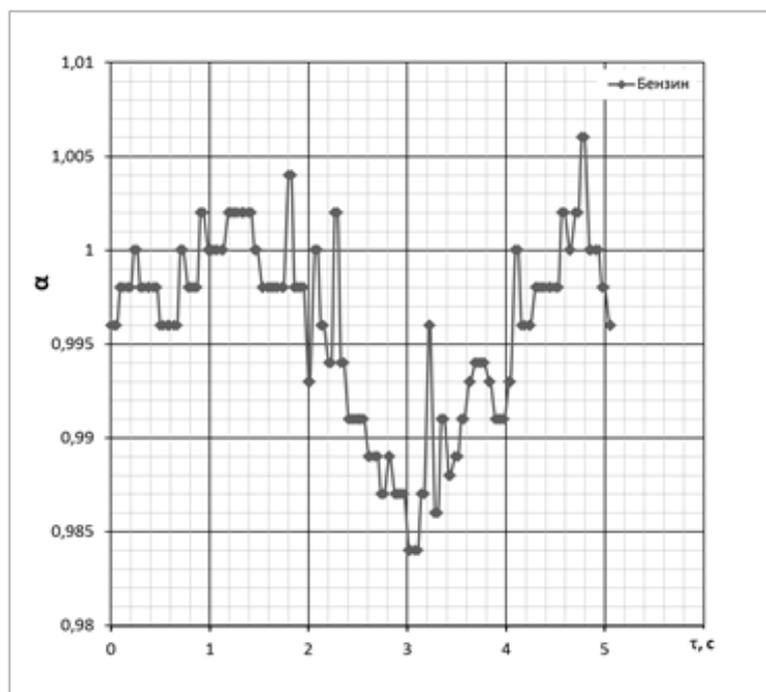


Рисунок 2.6 – Изменение коэффициента избытка воздуха (топливо –бензин, $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$, $M_e = 18 \text{ Н м}$)

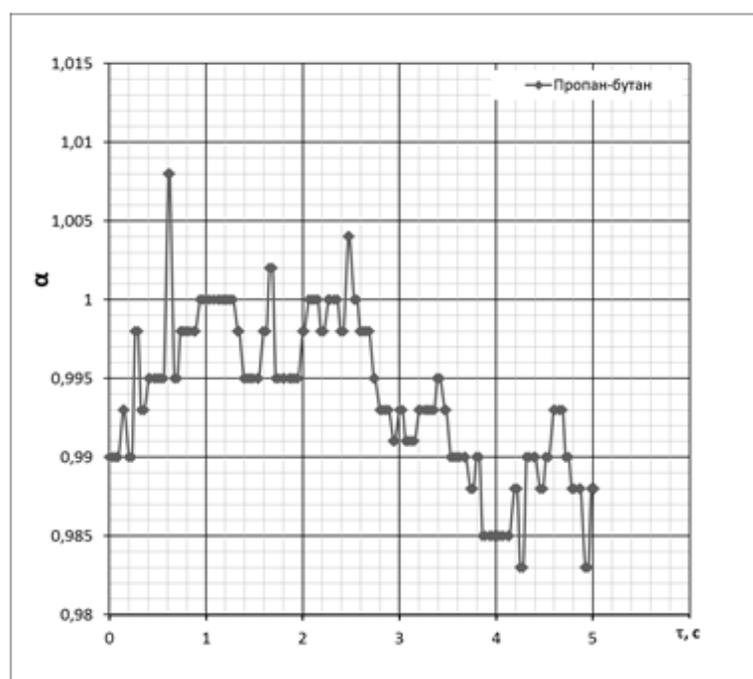


Рисунок 2.7 – Изменение коэффициента избытка воздуха (топливо –пропан бутан, $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$, $M_e = 18 \text{ Н м}$)

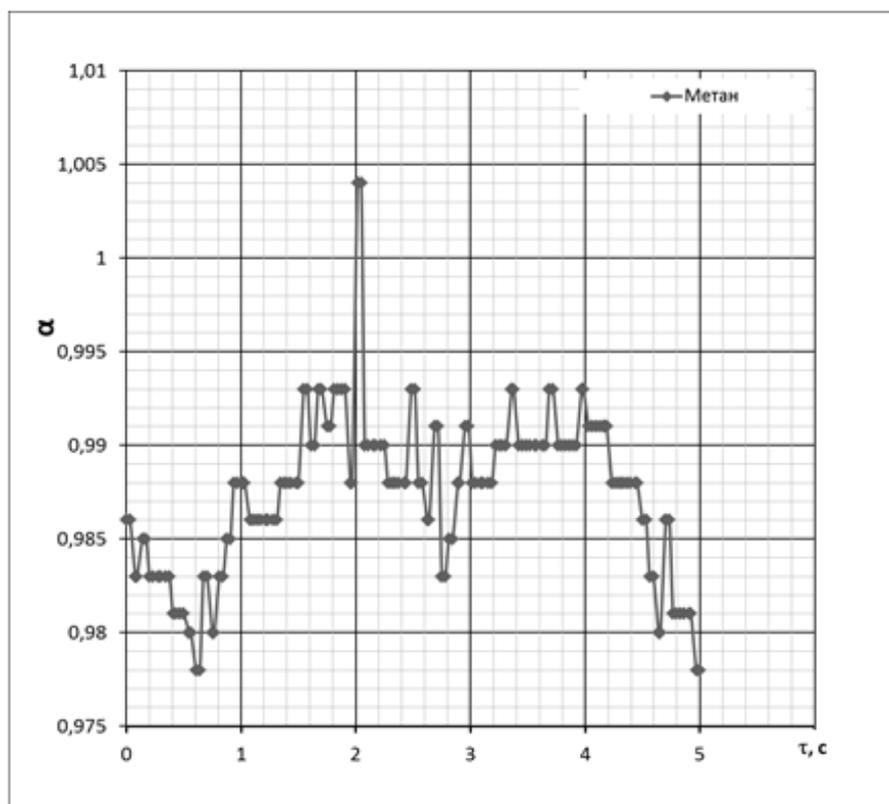


Рисунок 2.8 – Изменение коэффициента избытка воздуха (топливо –метан, $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$, $M_e = 18 \text{ Н м}$)

Анализируя данные рисунков 2.6-2.8 становится очевидна необходимость, при работе двигателя на разном топливе, реализации различных алгоритмов изменения коэффициента избытка воздуха, для эффективной работы нейтрализатора. Наглядно представлены период T и амплитуда $\Delta\alpha$ различены:

- бензин $T = 5$ секунд, $\Delta\alpha = 0,021$;
- пропан-бутан $T = 8$ секунд, $\Delta\alpha = 0,027$;
- метан $T = 10$ секунд, $\Delta\alpha = 0,030$.

Выбор величин T и $\Delta\alpha$, обеспечивающих эффективную работу нейтрализатора - сложная экспериментальная задача, которая в свою очередь требует детального рассмотрения.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов

Бензин

№	Гвозд, кг/ч	Гтопл, кг/ч	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	Весовой ко- эфф.	Мощность, кВт	ge, г/кВтч	QМдж/кВт ч	CO _д /кВтч	NO, г/кВтч	CH, г/кВтч
1	42	2,99	0,84	5740	110	0,1	4,7	636,1702	27,35531915	9,166473	7,362661	0,080025
2	56	3,9	0,64	5750	130	0,3	11,75	331,9149	14,27234043	11,15822	11,78373	0,151101
3	84	5,8	0,57	5900	87	0,3	23,5	246,8085	10,61276596	7,449197	9,063304	0,075799
4	112	7,7	0,5	2900	45	0,25	35,25	218,4397	9,392907801	4,838936	3,298966	0,029034
5	142	9,9	0,41	780	28	0,05	47	210,6383	9,057446809	0,755299	0,1689	0,003439
Сумма										33,36813	31,67756	0,339397

Пропан-бутан

№	Гвозд, кг/ч	Гтопл, кг/ч	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	Весовой ко- эфф.	Мощность, кВт	ge, г/кВтч	QМдж/кВт ч	CO _д /кВтч	NO, г/кВтч	CH, г/кВтч
1	40	2,69	0,66	5700	139	0,1	4,7	572,3404	26,78553191	6,834033	6,937579	0,095953
2	55	3,7	0,56	5900	131	0,3	11,75	314,8936	14,73702128	9,56785	11,84891	0,149213
3	85	5,6	0,63	5800	151	0,3	23,5	238,2979	11,15234043	8,306671	8,989062	0,132731
4	114	7,6	0,53	2600	103	0,25	35,25	215,6028	10,09021277	5,210689	3,004641	0,06751
5	144,5	9,7	0,41	650	61	0,05	47	206,383	9,658723404	0,766735	0,142881	0,007605
Сумма										30,68598	30,92307	0,453011

Природный газ

№	Гвозд, кг/ч	Гтопл, кг/ч	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	Весовой ко- эфф.	Мощность, кВт	ge, г/кВтч	QМдж/кВт ч	CO _д /кВтч	NO, г/кВтч	CH, г/кВтч
1	39,5	2,4	0,64	5800	79	0,1	4,7	510,6383	28,22695035	6,504306	6,928655	0,053525
2	57	3,4	0,59	5600	110	0,3	11,75	289,3617	15,99527187	10,37235	11,57213	0,128922
3	87	5,1	0,58	3900	143	0,3	23,5	217,0213	11,9964539	7,774024	6,144442	0,12778
4	114	6,7	0,51	1600	113	0,25	35,25	190,0709	10,50669819	4,976949	1,835325	0,073516
5	144	8,1	0,53	480	108	0,05	47	172,3404	9,526595745	0,977647	0,104075	0,013281
Сумма										30,60528	26,58462	0,397024

На рисунках 2.9 – 2.11 представлены графики изменения выбросов токсичных компонентов в отработавших газах до нейтрализатора.

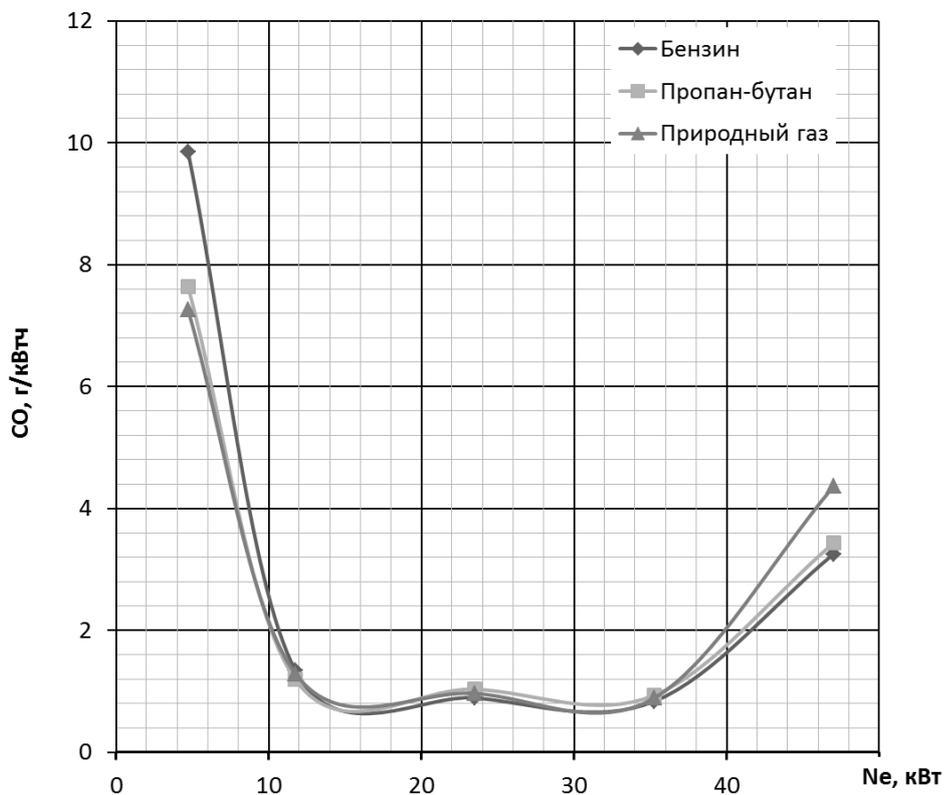


Рисунок 2.9 – Удельные выбросы оксида углерода до нейтрализатора

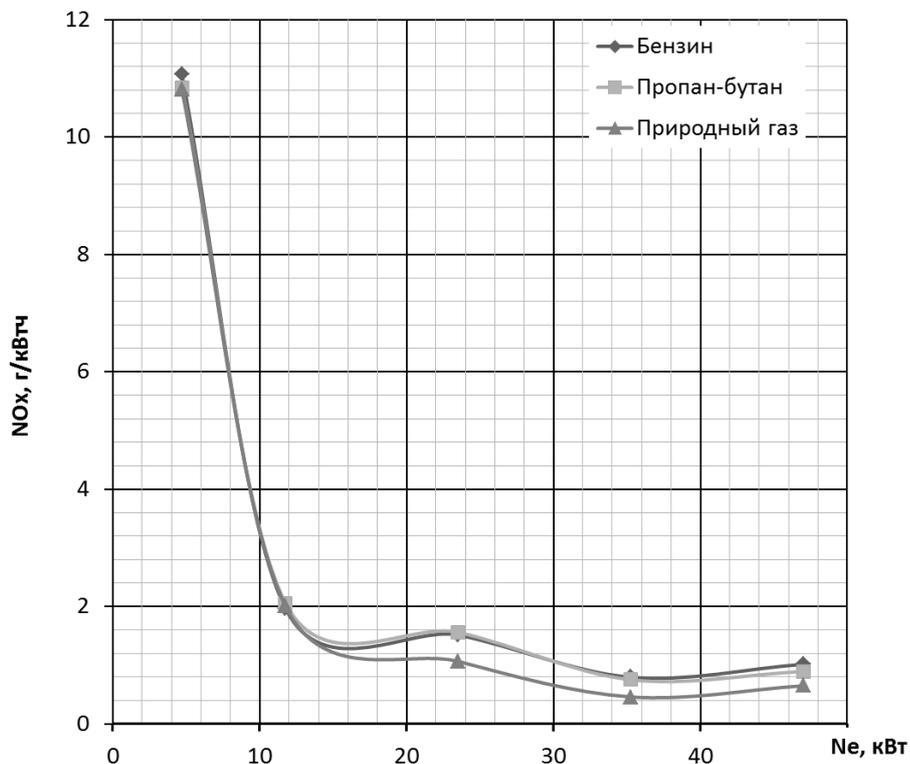


Рисунок 2.10 – Удельные выбросы оксидов азота до нейтрализатора

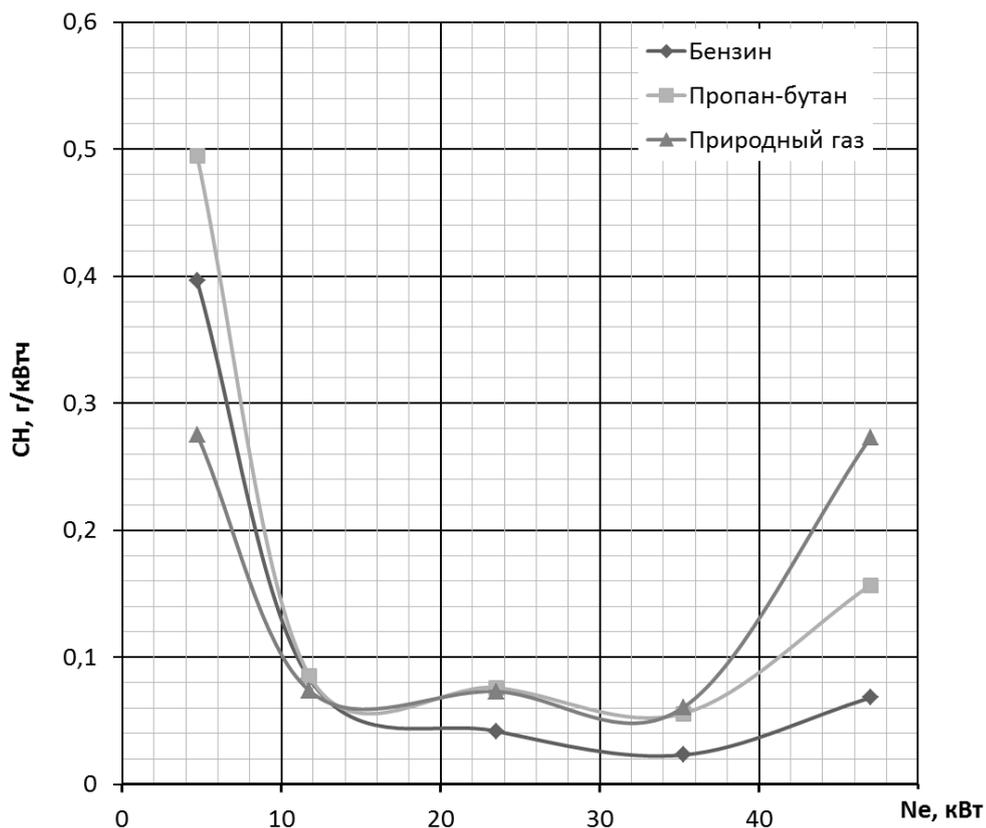


Рисунок 2.11 – Удельные выбросы углеводородов до нейтрализатора

Данные рисунки показывают, что при использовании мощностей от 10 до 35 кВт удельные выбросы токсичных компонентов остаются неизменными вне зависимости от того какой тип топлива был использован. Важно подчеркнуть, двигатель, используемый для испытаний, был адаптирован для работы на газовом топливе только путем настройки ЭСУД. Серьезные конструктивные изменения непосредственно в самом двигателе для этого не потребовались.

Сравнение удельных средневзвешенных выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами до нейтрализатора представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Удельные средневзвешенные выбросы токсичных компонентов до нейтрализатора

Параметр	Результаты испытаний		
	A-92	LPG	CNG
Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота (NOx), $g_{NO} \text{ г/(кВт ч)}$	2,40	2,40	2,15
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода (CO), $g_{CO} \text{ г/(кВт ч)}$	2,02	1,84	1,84
Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH), $g_{CH} \text{ г/(кВт ч)}$	0,09	0,12	0,10

Данная таблица наглядно демонстрирует, что при работе ДВС на газовом топливе серьезного изменения выбросов удельных средневзвешенных токсичных компонентов не происходит. Более того заметно улучшается экономичность двигателя при потреблении топлива, в предлагаемом диапазоне мощностей при работе на газовом топливе (Рис. 2.5). При работе на сжиженном газе (пропан – бутан) изменения выбросов варьируется в среднем на 3 -5 %, работая на природном газе среднее значение изменяется на 5 -10 %. Из этого следует, что использование газового топлива снижает выброс двуокиси углерода (CO_2). Углекислый газ относится к продуктам полного сгорания топлива и прямо пропорционально зависит от расхода топлива.

В таблице 2.6 представлены результаты оценки токсичности отработавших газов после нейтрализатора и их сравнение с нормами ГОСТ 31967 -2012.

Таблица 2.6 – Удельные средневзвешенные выбросы токсичных компонентов после нейтрализатора [59].

Параметр	Результаты испытаний			Норма удельных средневзвешенных выбросов при постановке на производство	
	A-92	LPG	CNG	до 2016 г.	после 2016 г.
Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота (NOx), ξ_{NO} г/(кВт ч)	0,011	0,007	0,004	10	6
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода (CO), ξ_{CO} г/(кВт-ч)	0,324	0,238	0,265	3,5	1,5
Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH), ξ_{CH} г/(кВт ч)	0,006	0,013	0,048	1	0,4

Полученные результаты проведенных исследований (Таб. 2.4, 2.5) позволяют с уверенностью заявить о возможности практического выполнения действующих норм токсичности двигателем ЗМЗ-409061.10 попадающего под действие требований, норм и т.д. ГОСТ 31967-2012 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения» и ГОСТ ISO 8178-4-2013 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах

Глава 3. Технические требования на комплект электронной системы управления двигателем

3.1 Назначение

3.1.1 Комплекты электронной системы управления двигателем (ЭСУД), включающую в себя систему распределенного впрыска топлива (СРВТ), систему улавливания паров бензина (СУПБ) (далее по тексту – комплект системы), для комплектации автомобилей производства ООО «УАЗ». Система должна

работать в условиях умеренного и тропического климата при температурах окружающего воздуха от минус 40 до плюс 45 0С и относительной влажности воздуха до 90 % при температуре плюс 27 0С, и обеспечения устойчивой работы двигателя на всех режимах. Температура воздуха в подкапотном пространстве от минус 40 до плюс 1100С, при этом допускается кратковременное увеличение до плюс 130 0С в течение 15 мин.

3.1.2 Система управления двигателем, с входящим в неё блоком управления, предназначена:

- для управления рабочим процессом двигателя с искровым зажиганием и питанием бензином или сжатым природным газом;
- для контроля состояния элементов системы управления, неисправность которых приводит к превышению выбросов установленных нормативными документами;
- для работы с внешним диагностическим устройством;
- для согласованного взаимодействия системы управления двигателем с системами управления автомобилем с целью обеспечения оптимального и безопасного движения;
- для поддержания вспомогательных функций управления (комбинацией приборов, кондиционером);
- для обеспечения защиты двигателя от перегрева.

3.2 Технические требования к составу, функциям и параметрам системы управления

3.2.1 Система управления двигателем в своем составе, должна обеспечивать заданные регулировки системы подачи топлива, зажигания, управление подачей воздуха, антитоксичными и иными устройствами для обеспечения целевых характеристик двигателя и автомобиля, Правил ЕЭК ООН 83-06, в условиях заданной конструкции двигателя и трансмиссии автомобиля, при работе двигателя на бензине неэтилированном марки АИ-92-К4(К5) по ГОСТ 32513

или марки АИ-95-К4(К5) по ГОСТ 32513, или на сжатом компримированном газе (метан) ГОСТ 27577.

3.3 Состав системы управления.

3.3.1 Состав системы управления двигателем и автомобилем в соответствии с таблицей А1:

Таблица А1 – Состав системы управления

№	Наименование компонента СУД
	Устанавливается на двигателе
1	Датчик абсолютного давления с встроенным датчиком температуры
2	Датчик синхронизации
3	Датчик фазы
4	Датчик температуры ОЖ
5	Датчик аварийного давления масла
6	Дроссельный патрубок с электроприводом
7	Индивидуальная катушка зажигания с наконечником
8	Свеча зажигания
9	Форсунка бензиновая
10	Рампа газовых форсунок
11	Датчик кислорода до нейтрализатора
12	Датчик детонации KS-4-S
13	Блок управления двигателем
14	Датчик кислорода после нейтрализатора
15	Датчик высокого давления газа
16	Датчик скорости автомобиля
17	Модуль педали акселератора
18	Датчик педали тормоза двухканальный
19	Датчик педали сцепления
20	Выключатель вида топлива (кнопка)
21	Датчик уровня охлаждающей жидкости
22	Клапан запорный на газовом редукторе
23	Главное реле
24	Реле бензонасоса
25	Реле запорных клапанов на газовых баллонах
26	Реле стартера
27	K-line

28	CAN, скорость передачи данных 500 кб/сек
29	Жгут проводов двигателя
30	Жгут проводов автомобиля
31	Датчик температуры/давления газа
32	Клапан продувки адсорбера

**При
меча
ча-**

ния. В системе могут применяться компоненты, аналогичные по конструкции и техническим характеристикам, указанным в настоящей таблице.

3.3.2 Система подачи бензина.

Предназначена для подвода топлива к форсункам, а также поддержания постоянного давления в топливной рампе с целью обеспечения форсунками гарантированной заданной топливоподачи на всех режимах работы двигателя. Номинальное давление топлива в рампе - 380...400 кПа. Максимальные колебания давления топлива в рампе не должны превышать $\pm 10\%$ от номинального.

Модуль погружного электробензонасоса (ПЭБН) с фильтром грубой очистки и датчиком указателя уровня топлива. Модуль ПЭБН размещён в бензобаке автомобиля. Рабочие характеристики модуля ПЭБН:

- объёмная производительность - не менее 110 л/ч, при противодавлении на выходе (400 ± 8) кПа;
- максимальное давление при отсутствии расхода на выходе из насоса - от 500 кПа до 850 кПа;
- номинальный ток потребления 8,5 А при напряжении питания $(13,5 \pm 0,1)$ В;
- фильтр грубой очистки с отсевом частиц более 40 мкм.
- фильтр тонкой очистки топлива GB-335 или KEF-301, размещён в топливной магистрали, между модулем ПЭБН и топливной рампой. Предназначен для тонкого отсева частиц (более 10 мкм) в топливе при максимальном расходе до 160 л/ч.

3.3.3 Система подачи сжатого компримированного газа (метан).

Предназначена для приведения давления сжатого газа (метан) от высокого давления загрузки (обычно 220 бар) к давлению использования в двигателе, подвода к газовым клапанам (газовой рампе), а также поддержания давления в

газовой рампе с целью обеспечения форсунками гарантированной заданной подачи газа во впускной трубопровод на всех режимах работы двигателя. Номинальное давление газа в рампе – 1,2 бар. Максимальные колебания давления топлива в рампе на рабочих установившихся режимах работы двигателя не должны превышать $\pm 10\%$ от номинального давления (обеспечивается конструкцией редуктора и топливной рампы). В газовой магистрали должен использоваться фильтр низкого давления с отсевом частиц более 10 мкм. Максимальный расход газа через систему – до 50 кг/час.

3.3.4 Индикатор неисправности предназначен для выполнения требований

бортовой диагностики в соответствии с Правилами №83-06 ЕЭК ООН.

3.3.5 Требования к обеспечению пусковых и ездовых качеств автомобиля.

3.3.5.1 Система управления процессами двигателя должна обеспечивать надежный пуск, бесперебойную и устойчивую работу двигателя при работе во всем диапазоне режимов.

3.3.5.2 Система управления процессами двигателя «газ-бензин» должна обеспечивать надежный пуск:

- на бензинах марок: АИ-92-К4(К5) и АИ-95-К4(К5) ГОСТ 32513;

- на CNG ГОСТ 27577.

3.3.5.3 Система управления процессами двигателя «газ-бензин» должна обеспечивать бесперебойную и устойчивую работу двигателя при работе на CNG и бензине марок: АИ-92-К4(К5) и АИ-95-К4(К5) во всем диапазоне режимов.

3.3.5.4 Система управления процессами двигателя должна обеспечивать надежный пуск, бесперебойную и устойчивую работу двигателя при движении автомобиля при кренах, подъемах и спусках до 45 градусов.

3.3.5.5 Система управления должна обеспечивать пуск горячего двигателя при максимальной температуре окружающей среды на дату проведения работ, при условии выдержки двигателя в неработающем состоянии, его последующе-

го запуска и прогрева до рабочих температур, остановки и контрольного пуска через интервал времени 15 минут.

Время подготовки двигателя к принятию нагрузки - не более 3 минут, с учетом выполнения не более двух попыток пуска двигателя, продолжительностью не более 10 с, и интервалом между пусками в одну минуту.

3.3.5.6 Система управления должна обеспечивать функционирование двигателя на режимах:

- пуска (во всем диапазоне температур эксплуатации автомобиля при прокрутки двигателя стартером со средней частотой вращения не ниже 90 об/мин);
- прогрева;
- в условиях самостоятельного и принудительного холостого хода (в том числе, обеспечивать возможность увеличения минимальной частоты вращения холостого хода при включенном кондиционере);
- частичных нагрузок;
- полной мощности;
- в условиях функционирования компрессора кондиционера (включение/выключение) при полном нажатии на педаль акселератора).

3.3.5.7 Система управления должна обеспечивать нарастание, без рывков и провалов, скорости автомобиля при резком (полном) нажатии на педаль акселератора при движении автомобиля на определённой скорости.

3.3.5.8 После пробега автомобилем 100 000 км, уровень эмиссии вредных веществ в отработавших газах, при условии исправности компонентов СУД, нейтрализатора и двигателя, не должен превышать предельных значений норм требования Правил 83-06.

3.3.5.9 Система управления должна предотвращать аварийные режимы работы двигателя:

- критические значения максимальной частоты вращения коленчатого вала (не учитывая принудительную прокрутку двигателя) - путем отключения подачи топлива в цилиндры,

- сгорание с помощью взрыва, которое может привести к его повреждению,

- предотвращать возникновение теплового удара двигателя при остановке автомобиля (только в случае применения электровентилятора системы охлаждения);

- обеспечивать безопасность управления мощностью двигателя при движении

автомобиля (регулирование крутящего момента, отключение потребителей от бортовой сети автомобиля, блокирование функций управления);

- отключать муфту компрессора кондиционера при превышении рабочего диапазона температуры охлаждающей жидкости

3.3.5.10 Система управления должна обеспечивать эффективность работы при проверке ездовых качеств автомобилей по методике согласованной между Заказчиком и Исполнителем.

3.4 Требования радиоэлектронной защиты

3.4.1 Функционирование всех компонентов системы управления двигателем должно обеспечиваться в условиях воздействия непреднамеренных помех.

Уровень помех, создаваемых отдельными компонентами системы в сетях электропитания, управления, коммутации и информации не должен превышать допустимых значений по ГОСТ 28279-89.

Все компоненты системы должны быть устойчивой к воздействию электромагнитных помех по ГОСТ 28279-89.

Окончательная оценка обеспечения ЭМС комплекта ЭСУД должна проводиться в составе автомобиля.

3.5 Требования к стойкости к внешним воздействиям

3.5.1 Все компоненты системы должны соответствовать требованиям настоящего ТЗ при воздействии синусоидальной вибрации от 0,5Гц до 250Гц амплитудой ускорения 100м/с^2 .

3.5.2 Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при воздействии механического удара одиночного действия с пиковым ударным ускорением 200 м/с^2 длительностью действия ударного ускорения от 5 мс до 15 мс.

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность, в том числе при оказании воздействия механического удара многократного действия с пиковым ударным ускорением 150 м/с^2 длительностью действия ударного ускорения от 5 мс до 15 мс.

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при воздействии повышенной рабочей температуры среды 90°C .

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при многократном изменении температуры среды от минус 40°C до плюс 125°C .

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при повышенной относительной влажности 100 % при температуре плюс 35°C .

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при воздействии атмосферных конденсированных осадков (инея и росы).

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при воздействии статической пыли (песка) концентрацией $5\pm 2\text{ г/м}^3$ при скорости воздуха 1 м/с .

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность после воздействия эксплуатационных автомобильных жидкостей (бензин, моторное масло, антифриз, тормозная жидкость, автошампунь, стеклоомывающая жидкость).

Все компоненты системы должны сохранять работоспособность при снижении атмосферного давления до 61 кПа ($400\text{ мм. ртутного столба}$)

3.6 Требования надежности

3.6.1 Требования надежности к компонентам системы управления в соответствии с конструкторской документацией на конкретное изделие.

3.6.2 Гарантийный срок эксплуатации комплекта системы – равен гарантийному сроку автомобиля, на который он устанавливается.

Гарантийный срок хранения – в соответствии с конструкторской документацией на конкретное изделие.

Срок службы – в соответствии с конструкторской документацией на конкретное изделие.

Глава 4 Технические требования на низковольтный жгут проводов ЭСУД

4.1 Назначение

4.1.1 Жгут низковольтных проводов электронной системы управления двигателем (в дальнейшем тексте жгут) служит для присоединения электрооборудования и приборов двигателя и автомобиля в составе электронной системы управления двигателем (ЭСУД) автомобиля в цепях постоянного, переменного и импульсных токов.

4.1.2 Жгут состоит из проводов, скрепленных между собой. Концы проводов армируются контактами (наконечниками). Контакты фиксируются в изолирующих колодках. В состав жгутов могут входить защитные трубки, колпачки, реле, предохранители, клипсы крепления и другие элементы по требованию Заказчика.

4.1.3 Жгут предназначен для эксплуатации на автомобилях, работающих в условиях умеренного климата при температуре окружающего воздуха от минус 40 до плюс 45 °С и относительной влажности воздуха 90% при температуре плюс 27 °С.

4.1.4 Жгут предназначен для эксплуатации при номинальном напряжении до 48 В.

4.2 Технические требования к изделию

4.2.1 Габаритные размеры жгута, расположение и размеры отдельных его элементов должны соответствовать эскизу Заказчика. Размеры по стволу жгута должны быть заданы от единой конструкторской базы. В качестве базы измерений размеров по отводам должна быть задана ось ствола жгута. По согласованию с Заказчиком допускается простановка размеров между узлами по стволу жгута.

4.2.2. Длина отдельных проводов в жгуте должна быть не менее 80 мм.

4.2.3 Номинальный размер длины отдельного отвода жгута должен быть не менее 50 мм.

4.2.4 Номинальный размер между любыми двумя отводами, исходящими из разных точек, должен быть не менее 30 мм.

4.2.5 Предельные отклонения размеров, при отсутствии специальных требований Заказчика, должны быть в соответствии с ТУ 3584-002-18219259.

4.3 Требования к материалам и комплектующим изделиям

4.3.1 Материалы и комплектующие изделия, применяемые для изготовления жгутов, должны соответствовать требованиям нормативных документов на конкретное изделие.

4.3.2 В жгуте не допускаются трещины и разрывы комплектующих изделий.

4.3.3 Конструкция соединительных колодок должна обеспечивать надежную фиксацию с ответной частью, а также фиксацию расположенных в ней контактов и электрическую изоляцию токоведущих частей по всей их длине. Форма соединительных колодок с числом гнезд более одного должна исключать возможность неправильного подсоединения в автомобиле.

4.3.4 Соединители, имеющие назначения защиты места соединения от влаги и пыли, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 14254.

4.3.5 Для армирования проводов должны применяться контакты (наконечники) следующих типов:

- кольцевые (вильчатые) наконечники, имеющие отверстие (паз) для крепления винтом;
- наконечники для аккумуляторов, предназначенные для присоединения к клеммам аккумуляторной батареи;
- контакты круглого типа (поперечное сечение круглой формы);
- контакты плоского типа (поперечное сечение прямоугольной формы).

4.4 Требования к скреплению проводов в жгут

4.4.1 Скрепление проводов жгутов должно производиться следующими способами:

- обмотка липкой поливинилхлоридной или текстильной лентой;
- прокладывание проводов внутри гладкой поливинилхлоридной или гофрированной полипропиленовой трубки;
- стягивание проводов пластмассовыми хомутами.

4.4.2 Обмотка липкой лентой должна производиться у каждого ответвления жгута с целью обеспечения заданных размеров. По согласованию с Заказчиком вместо обмотки могут применяться специальные тройники и втулки.

4.4.3 При скреплении проводов пластмассовыми хомутами последние должны быть затянуты с усилием, исключающим их самопроизвольное перемещение по проводам.

4.4.4 Сбивка проводов- внутреннее соединение проводов в жгуте – должна выполняться скобами с последующей изоляцией места сбивки. Каждая сбивка должна включать в себя не более 10 проводов, в том числе не более 6 проводов, направленных в одну сторону.

4.5 Требования к электрическим параметрам

4.5.1 Жгут должен обеспечивать целостность электрических цепей.

4.5.2 Падение напряжения на соединениях контакта с проводом, на соединении проводов скобой, на соединении провода с наконечником аккумуляторной батареи при прохождении тока плотностью 5А/мм должны соответствовать нормативной документации для каждого сечения. Падение напряжения на соединении контактов между собой не должно превышать 2,0 мВ/А

4.6 Требования к механическим параметрам

4.6.1 Требования к разъемным соединениям:

- Любой соединитель жгута в собранном виде должен соединяться с ответной частью под действием усилия не более 120Н и разъединяться с ответной частью под действием усилия в пределах от 15 до 120Н.
- Любой одиночный самофиксирующий контакт должен соединяться с ответной частью под действием усилия не более 8Н и разъединяться с ответной частью под действием усилия в пределах от 15 до 60 Н для ширины штыря менее 6,35 мм, и от 30 до 110Н – для ширины штыря 6,35 мм и более.
- Усилие монтажа предохранителя в держатель должно быть не более 60Н, усилие извлечения от 16 до 80Н.
- по возможности технического обслуживания – не обслуживаемое;
- по возможности контроля перед применением и в процессе применения – контролируемое.

4.6.2 Требования к неразъемным соединениям.

Усилие отрыва контакта (наконечника) от провода (без опрессования на изоляцию), в том числе от оплетки экранированного провода, провода от скобы, в том числе и оплетки экранированного провода в соответствие с ТУ 3584-002-18219259.

4.7 Требования по стойкости к внешним воздействующим факторам.

4.7.1 Жгут должен в течение не менее 8 часов выдерживать воздействие вибрационных нагрузок при частоте 50 Гц и ускорении $98,1\text{м/с}^2$ (10g)

4.7.2 Жгут должен выдерживать воздействие 10000 ударов при ускорении
147,15 м/с² (15g).

4.7.3 Жгут не должен реагировать на воздействие повышенной температуры плюс (105±3) °С.

4.7.4 Жгут не должен реагировать на воздействие пониженной температуры минус (40) °С.

4.7.5 Жгут должен быть устойчив к циклической смене температуры от минус 40 до плюс 105 °С.

4.7.6 Жгут должен быть устойчив к воздействию относительной влажности воздуха до 98% при температуре плюс 40 °С.

4.7.7 Жгут не должен реагировать на воздействие пониженного атмосферного давления до 61,5 кПа.

4.7.8 Жгут должен быть устойчив к воздействию минерального масла и бензина.

4.7.9 Жгут должен быть устойчив к воздействию плесневых грибков.

4.7.10 Жгут должен быть устойчив к воздействию моющих средств.

4.7.11 Жгут с наконечником к аккумулятору должен быть устойчив к воздействию Электролита. Материал и покрытие наконечника должны соответствовать конструкторской документации на наконечник.

4.8 Требования к надежности

4.8.1 Жгуты относятся к неремонтируемым, необслуживаемым изделиям в соответствии с ГОСТ 27.003.

4.8.2 Гарантийный срок эксплуатации – равен гарантийному сроку автомобиля, на который он устанавливается

4.9.Этапы выполнения ОКР

4.9.1 Работа выполняется в соответствии с согласованным между Заказчиком и Исполнителем графиком, в который заносится информация о содержании, сроках и стоимости этапов работ.

4.10 Порядок выполнения и приемки этапов ОКР

4.10.1 Исполнитель ОКР, по согласованию с Заказчиком, вправе привлекать соисполнителей к выполнению отдельных работ.

4.10.2 Результаты разработки продукции оценивает приемочная комиссия, в состав которой входят представители: заказчика, разработчика и изготовителя..

4.10.3 Результатом работ является комплект конструкторской документации с литерой «О₁».

Заключение

Подводя итоги, основываясь на результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Проведен анализ существующих и перспективных подходов для повышения экологических и эффективных показателей двигателей внутреннего сгорания, в том числе работающих на газовом топливе.
2. Проведены экспериментальные работы по применению газового топлива на двигателях отечественного производства по методикам рекомендованных ГОСТ.
3. В условиях практического использования двигателя на моторном стенде, установлена зависимость выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами ДВС с искровым зажиганием, использующий в качестве топлива бензин, пропан-бутан и сжатый природный газ, в диапазоне используемых мощностей от 10 до 35 кВт удельные средневзвешенные выбросы токсичных компонентов до нейтрализатора остаются практически неизменными вне зависимости от типа используемого топлива.
4. Обладая результатами исследования экспериментальных работ можно с уверенностью заявить о возможности выполнения действующих норм токсичности двигателем ЗМЗ-409061.10, попадающего под действие требований, норм и пр. ГОСТ 31967-2012 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения» и ГОСТ ISO 8178-4-2013 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установленных режимах».

Основные термины и условные обозначения.

S – ход поршня

D - диаметр цилиндра

ε (CR, compression ratio) – геометрическая степень сжатия

n (Engine speed, Drehzahl) – частота вращения коленчатого вала, обороты двигателя

τ - тактность двигателя

φ (Crank Angle, Crank angle position, CAD, CA degrees, °CA) – угол поворота коленчатого вала (угол п.к.в.) в градусах

φ_{Pz} – угол поворота коленчатого вала (угол п.к.в.), соответствующий максимальному давлению цикла p_c

$d\chi/d\varphi$ – массовая скорость сгорания топлива в зависимости от угла п.к.в.

p_m , MAP – абсолютной давление на впуске

Δp_s - разрежение на впуске

p_i (IMEP, Gross IMEP, Average IMEP) – среднее индикаторное давление рабочего цикла

p_e (BMEP, p_{me}) – среднее эффективное давление рабочего цикла

p_n (NMEP) – среднее эффективное давление механических потерь

p_z - максимальное давление рабочего цикла

θ_c (Combustion duration) – общая продолжительность процесса сгорания

$\theta_{s(0-10)}$ (0-10% Burn Duration) - продолжительность периода развития пламени (в градусах угла п.к.в.)

$\theta_{s(10-90)}$ (B10-90, Combustion (burn) duration) – продолжительность периода быстрого сгорания пламени (в градусах угла п.к.в.)

УОЗ (ST, spark timing) – угол опережения зажигания (в градусах угла п.к.в.)

CA50 (Location of 50% Mass Fraction Burned) - положение относительно ВМТ момента сгорания массы топлива в количестве 50% (в градусах углах поворота коленчатого вала)

CA5, CA10, CA90 и т.п. – положение относительно ВМТ момента сгорания массы топлива в количестве 5%, 10%, 90% и т.п., (в градусах угла поворота коленчатого вала)

BFF (Burned Fuel Fraction, Burned Mass Fraction) – массовая доля сгоревшего топлива в рабочем цикле

BVF (Burned Volume Fraction) – объемная доля сгоревшего топлива в рабочем цикле

$G_T, G_S, G_H, G_B, G_{OT}$ - массовые расходы бензина, водорода, воздуха и отработавших газов

MFB (Mass Fraction Burned) – доля сгораемого топлива

TDC (ВМТ) – верхняя мертвая точка положение поршня при 360 градусах угла п.к.в.

η_i - термический КПД цикла

$\eta_{СГОР}$ (η_c , Combustion efficiency, %) – эффективность сгорания

$\eta_{ТЕРМОД}$ - термодинамический КПД цикла

η_i (η_{GROSS} , Indicated thermal efficiency) - индикаторный КПД рабочего цикла

$\eta_{i,NET}$ (Net Indicated Engine Efficiency) - индикаторный КПД рабочего цикла без учета затрат энергии на трение в двигателе и привод вспомогательных агрегатов

η_e (Brake thermal efficiency) – эффективный КПД

η_m - механический КПД двигателя

$\eta_{ТР}$ - затраты на трение в двигателе и паразитные потери (привод вспомогательных агрегатов: жидкостный насос и пр.)

$\eta_{ГАЗОБМЕН}$ - эффективность газообмена (доля насосных потерь)

γ - показатель политропы сжатия

k - показатель адиабаты сжатия воздуха

λ (lambda) – коэффициент избытка воздуха, величина обратная φ

(A/F) - отношением массы воздуха к массе топлива, используемых для приготовления топливовоздушной смеси

Φ (φ , Equivalence ratio) – эквивалентное соотношение определяемое отношением массы топлива к массе воздуха, используемых в приготовлении топливовоздушной смеси к стехиометрическому отношению массы топлива к массе воздуха

φ' – эквивалентное соотношение топливо-воздух с учетом отработавших газов
 ζ (RGF, Residual gas fraction, Restgasgehalt) – массовое содержание отработавших газов в горючей смеси (в долях, %)

EGR (EGR rate, Charge Dilution, Dil., Dilution) – степень рециркуляции отработавших газов, объемная доля рециркулированных газов в заряде цилиндра горючей смесью, поступающей в цилиндр (в долях, %)

ψ – массовая доля водорода в бензоводородной смеси

α – мольная доля водорода в топливоводородной смеси

COV_p (COV of IMEP, $p_m COV$) – коэффициент вариации среднего индикаторного давления

$COV_{p_{max}}$, COV_{NO} – коэффициент вариации параметра максимального давления цикла p_{max} , уровня выбросов оксидов азота NO и т.д.

λ_{mixer} – масштаб турбулентных вихрей Колмогорова

E_{min} (MIE) – минимальная энергия зажигания горючей смеси

Le – число Льюиса

χ – температуропроводность

λ_b – теплопроводность продуктов сгорания,

ρ_u – плотность свежей смеси,

c_p – теплоемкость при постоянном давлении

L_b – длина Маркштейна для сгоревшего газа

u' – среднеквадратичная скорость турбулентных пульсаций

S_L – ламинарная скорость пламени

S_T – турбулентная скорость пламени

Rev/min, rpm (U/min) – размерность частоты вращения коленчатого вала двигателя (об/мин)

CA BTDC, CA ATDC – градусы п.к.в., соответственно, до ВМТ и после ВМТ
Spark – момент зажигания искрой горючей смеси
Spark ignition engine – двигатель с искровым зажиганием
Diesel – двигатель (цикл Дизеля)
LIF - измерение полей скорости дисперсной и несущей фазы в пузырьковых потоках
PIV (Particle Image Velocimetry) - измерение мгновенных полей скорости
LES (large eddies simulation) – метод моделирования крупных вихрей
CFD (computer fluid dynamic) – вычислительная гидродинамика
DNS (direct numerical simulation) – методов численного моделирования течений жидкости или газа
 σ (Std. Dev, standard deviation) – среднеквадратичное отклонение
TCI – классическая транзисторная система зажигания с индуктивной емкостью катушки
Corona, ASI – перспективные системы зажигания

Список используемых источников

1. Кокорин, А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК [Текст] / А.О. Кокорин — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. — 80 с.
2. Key World Energy Statistics 2016 [Electronic resource]. — Paris: OECD/IEA, 2016. — . — Режим доступа : <https://webstore.iea.org>. — Загл. с экрана.
3. U.S. Refinery Yield [Electronic resource]. — Washington: United States Energy Information Administration, 2019. — . — Режим доступа : https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pnp_pct_dc_nus_pct_m.htm. — Загл. с экрана.
4. 2017: Executive summary. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Electronic resource]. — Washington: U.S. Global Change Research Program, 2017. — . — Режим доступа : <https://www.globalchange.gov/>. — Загл. с экрана.
5. Global warming of 1.5°C [Electronic resource]. — Geneva: World Meteorological Organization, 2018. — . — Режим доступа : <https://www.ipcc.ch/sr15/>. — Загл. с экрана.
6. Monthly Energy Review November 2018 [Electronic resource]. — Washington: United States Energy Information Administration, 2018. — . — Режим доступа : <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/>. — Загл. с экрана.
7. World Energy Outlook 2011 [Electronic resource]. — Paris: OECD/IEA, 2011. — . — Режим доступа : https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2011_WEB.pdf. — Загл. с экрана.
8. Уолш, М. П. Контроль за вредными выбросами транспортных средств. Международный обзор [Электронный ресурс] / Майкл П. Уолш. — М. : Российская академия транспорта, 2017. — . — Режим доступа : <http://rosacademtrans.ru/wp-content/uploads/2017/05/03-Kontrol-vyibrosov-Uolsh.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.

9. Kuhn, M. Automotive Powertrain Technologies through 2016 and 2025 [Electronic resource] / Mark Kuhn. – Michigan : University of Michigan (Transportation Research Institute), 2012. – . – Режим доступа : <http://www.umtri.umich.edu/content/Mark.Kuhn.Ricardo.Marketing.PT.2012.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

10. Перспективы энергетических технологий. В поддержку Плана действий «Группы восьми». Сценарии и стратегии до 2050 г. [Электронный ресурс]. – М. : ОЭСР/МЭА, WWF России, 2007. – . – Режим доступа : https://wwf.ru/upload/iblock/164/perspective_20x27_new.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

11. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики [Электронный ресурс]. – Washington: United States Energy Information Administration, 2014. – . – Режим доступа : <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/RussianEPM.PDF>, свободный. – Загл. с экрана.

12. The Performance of Future ICE and Fuel Cell Powered Vehicles and Their Potential Fleet Impact [Electronic resource] / J.B. Heywood [и др.]. – Massachusetts : MIT, 2004. – . – Режим доступа : http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/heywood_fcv2003.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

13. Rivera, E.A. Fuel Injection Technology Trends [Electronic resource] / Edwin A. Rivera, John E. Kirwan. – Baltimore : Coordinating Research Council Advanced Fuel and Engine Efficiency Workshop, 2014. – . – Режим доступа : <https://crcao.org/workshops/AFEE/2014AFEE/Final%20Presentations/Day%201%20Session%202%20SI-Systems%20Presentations/2-2%20Rivera,%20Edwin%202014%20CRC%20Fuel%20Injection%20Technology-Updated.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

14. Грушевенко, Д. Энергопотребление российского автомобильного сектора: роль технологических инноваций в межтопливной конкуренции [Текст] /

Д. Грушевенко, Е. Грушевенко, В. Кулагин // Форсайт. – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 35–44. – М. : НИУ ВШЭ, 2018. – . – Режим доступа :

<https://foresight-journal.hse.ru/data/2019/01/25/1143385060/4-2018%20rus.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

15. Буранов, И. На чем ездят россияне [Электронный ресурс] / И. Буранов // Коммерсантъ. – 2018. – . – М. : ИД «Коммерсантъ», 2018. – . – Режим доступа : <https://www.kommersant.ru/doc/3752955>, свободный. – Загл. с экрана.

16. Велесюк, А. Водородная энергетика – тренд XXI века [Электронный ресурс] / А. Велесюк // Атомный эксперт. – 2018. – М. : Юг Медиа, 2018. – . – Режим доступа : http://atomicexpert.com/hydrogen_energy, свободный. – Загл. с экрана.

17. Maruta, A. Japan's ENE-FARM programme [Electronic resource] / Aki Maruta. – Vienna : Austrian Energy Agency GmbH Open Workshop “Fuel cells: Why is Austria not taking off?”, 2016. – . – Режим доступа : https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/veranstaltungen/Brennstoffzellenworkshop_Oktober/Maruta.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

18. Atkins, A. Some challenges in future automotive innovation. An industry perspective [Electronic resource] / Andrew Atkins. – Sheffield : 2016. – . – Режим доступа : https://www.sheffield.ac.uk/polopoly_fs/1.573521!/file/AAtkins.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

1.573521!/file/AAtkins.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

19. Аксютин, О.Е. Инновации [Электронный ресурс] / О. Е. Аксютин // Газпром. – 2019. – №1–2. – М. : Газпром, 2019. – . – Режим доступа : <http://www.gazprom.ru/f/posts/86/781030/gazprom-magazine-2019-1-2.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

20. National Research Council. 2015. Cost, Effectiveness, and Deployment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles [Electronic resource]. – Washington: National Academies Press, 2015. – . – Режим доступа : <https://www.nap.edu/catalog/21744/cost-effectiveness-and-deployment-of-fuel-economy-technologies-for-light-duty-vehicles>. – Загл. с экрана.

21. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб. [Текст] / В.Н. Луканин [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – М. : Высш. Шк., 1995. – 368 с.
22. Heywood, J.B. Internal combustion engine fundamentals [Текст] / J.B. Heywood. – New York : McGraw–Hill, Inc., 1988. – 930 p.
23. Taylor, C.F. The internal–combustion engine in theory and practice. Volume II: Combustion, Fuels, Materials, Design [Текст] / C.F. Taylor. – Massachusetts : M.I.T. Press., 1985. – 766 p.
24. Assanis, D.N. Thermodynamic sweet spot for high efficiency, dilute, boosted gasoline engines [Текст] / D.N. Assanis [et al.] // International Journal of Engine Research 14(3). – 2013. – P. 260–278.
25. Кириллин, В.А. Техническая термодинамика [Текст] / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
26. Taylor, C.F. The internal–combustion engine in theory and practice. Volume I: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance [Текст] / C.F. Taylor. – Massachusetts : M.I.T. Press., 1985. – 588 p.
27. Ferguson, C.R. Internal Combustion Engines. Applied Thermosciences [Текст] / Colin R. Ferguson, Allan T. Kirkpatrick. – Chichester : John Wiley & Sons Ltd., 2016. – 460 p.
28. Morgan, R. Pathways to the ultraefficient powertrain – towards 60% efficiency [Electronic resource] / Robert Morgan. – Bickenhill : Future Powertrain Conference, 2017. – . – Режим доступа : <https://futurepowertrains.co.uk/wp-content/uploads/2017/03/robert-morgan.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
29. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] / Д.Н. Вырубов [и др.] ; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4–е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.
30. Редзюк, А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Анатолий Михайлович Редзюк ;

Киевский автомобильно–дорожный институт имени 60–летия Великой Октябрьской Социалистической революции. – Киев, 1982. – 273 л.

31. Морозов, К.А. К анализу условий воспламенения при работе карбюраторного двигателя на малых нагрузках [Текст] / К.А. Морозов, Б.Я. Черняк, Е.А. Джайлаубеков // Труды МАДИ. – 1974. – вып. №71. – С. 109–117.

32. Шикунина, Н.М. Исследование экономичности карбюраторного двигателя на дроссельных режимах и экономических составах смеси [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Н.М. Шикунина ; Академия Наук СССР Институт двигателей. – М., 1961. – 135 л.

33. Glassman, I. Combustion [Текст] / I. Glassman, R.A. Yetter. – 4th Ed. – London : Elsevier., 2008. – 773 p.

34. Басс, Б.А. Повышение топливной экономичности бензиновых двигателей увеличением энергии источника искрового зажигания [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Борис Абрамович Басс ; Московский автомеханический институт. – М., 1984. – 199 л.

35. Suyabodha, A. Simulation of cyclic variability in gasoline engine under cold start conditions [Текст] : Ph. D Thesis : / Apiwat Suyabodha ; University of Bath. – Bath, 2012. – 250 p.

36. Bonatesta, F. Factors influencing the burn rate characteristics of a spark ignition engine with variable valve timing [Electronic resource] / F. Bonatesta, P.J. Shayler // IMechE. – 2008. – Part D, Vol. 222. – 2147–2158 p. – . – Режим доступа : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.855.4762&rep=rep1&type=pdf>. – Загл. с экрана.

37. Wenig, M. Simulation der ottomotorischen Zyklenschwankungen [Текст] : Ph. D Thesis : / Markus Wenig ; Universität Stuttgart. – Stuttgart, 2013. – 190 p.

38. Alger, T. SwRI's HEDGE Technology for High Efficiency, Low Emissions Gasoline Engines [Electronic resource] / Terry Alger // DEER Conference Detroit. – 2010. – . – Режим доступа : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f8/deer10_alger.pdf. – Загл. с экрана.

39. Alger, T. The Effect of Hydrogen Enrichment on EGR Tolerance in Spark Ignited Engines [Electronic resource] / Alger, T., Gingrich, J., Mangold, B. // SAE Technical Paper 2007-01-0475. – 2007. – . – Режим доступа : <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2007-01-0475/>. – Загл. с экрана.
40. List, H. Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine [Текст] / С Hans List. – Wien : Verlag von Julius Springer, 1939. – 123 p.
41. A Simple Model for Cyclic Variations in a Spark-Ignition Engine [Текст] / C.S. Daw [и др.] // SAE Technical Paper. – 1996. – 962086.
42. Tahtouh, T. Les effets combinés de l'hydrogène et de la dilution dans un moteur à allumage commandé [Текст] : Ph. D Thesis : / Toni Tahtouh ; Université d'Orléans. – d'Orléans, 2010. – 250 p.
43. Siokos, K Low-Pressure EGR in Spark-Ignition Engines: Combustion Effects, System Optimization, Transients & Estimation Algorithms [Текст] : Ph. D Thesis : / Konstantinos Siokos ; Clemson University. – Clemson, 2017. – 243 p.
44. Tatemura, T Cycle-to-cycle Variation Analysis of Combustion in a Lean Burn Gasoline Engine [Текст] / Toshiki Tatemura // 27th Internal Combustion Engine Symposium. – 2016. – Paper № 5. – Tokyo, 2016.
45. Szybist, J. Effects of Fuel Composition on EGR Dilution Tolerance in Spark Ignited Engines [Electronic resource] / James P. Szybist, Derek Splitter. // SAE International Journal of Engines. – Vol. 9, No. 2. – 2016. – pp. 819–831 – Режим доступа : <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2016-01-0715/>. – Загл. с экрана.
46. Ayala, F Combustion Lean Limits Fundamentals and Their Application to a SI Hydrogen-Enhanced Engine Concept [Текст] : Ph. D Thesis : / Ferrin A. Ayala ; Massachusetts Institute of Technology. – Massachusetts, 2001. – 205 p.
47. Hamori, F Exploring the Limits of Hydrogen Assisted Jet Ignition [Текст] : Ph. D Thesis : / Ferenc Hamori ; University of Melbourne. – Melbourne, 2006. – 374 p.

48. De Simio, L Effect of Ethanol Content on Thermal Efficiency of a Spark–Ignition Light–Duty Engine [Electronic resource] / Luigi De Simio, Michele Gambino, Sabato Iannaccone // *ISRN Renewable Energy*. – 2012. – Режим доступа : <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/219703/>. – Загл. с экрана.

49. Effect of spark timing and load on a DISI engine fuelled with 2,5–dimethylfuran [Electronic resource] / Ritchie Daniel [et al.] // *Fuel*. – 2011. – Vol. 90, Issue 2. – P. 449–458. – Elsevier B. V., 2019 – . – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com>. – Загл. с экрана.

50. Wentworth, J. Flame photographs of lightload combustion point the way to reduction of hydrocarbons in exhaust gas [Electronic resource] / J. Wentworth, W. Daniel // *SAE Technical Paper*. – 1955. – 550281. – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/550281/>. – Загл. с экрана.

51. Каменев, В.Ф. Исследование рабочего процесса карбюраторного двигателя на режимах глубокого дросселирования [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Владимир Федорович Каменев ; Научно–исследовательский автомобильный институт НАМИ. – М., 1979. – 199 л.

52. Beretta, G.P. Turbulent Flame Propagation and Combustion in Spark Ignition Engines [Electronic resource] / G.P. Beretta, M. Rashidi, J.C. Keck // *Combustion and Flame*. – 1983. – Vol. 52 – P. 217–245. – Elsevier B. V., 2019 – . – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com>. – Загл. с экрана.

53. Thermodynamic Analysis of an Over–Expanded Engine [Electronic resource] / J. Martins [et al.] // *SAE Technical Paper 2004–01–0617*. – 2004. – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2004–01–0617/>. – Загл. с экрана.

54. Turbulent Flame Propagation and Combustion in Spark Ignition Engines [Electronic resource] / Fanhua Ma [et al.] // *Energy & Fuels*. – 2008. – Vol. 22 – P. 3022–3028. – Elsevier B. V., 2019 – . – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com>. – Загл. с экрана.

55. Beccari, A An Analytical Approach for the Evaluation of the Optimal Combustion Phase in Spark Ignition Engines [Electronic resource] / A. Beccari, S. Beccari, E. Pipitone // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2009. – Vol. 132. – Режим доступа : <https://pdfs.semanticscholar.org/908d/1926f4f1e310f1b4a2dea6a2315fcff9084d.pdf>. – Загл. с экрана.

56. Caton, J.A. An introduction to thermodynamic cycle simulations for internal combustion engines [Текст] / Jerald A Caton. – Chichester : John Wiley & Sons, Ltd., 2016. – 367 p.

57. Johansson, B. Path to High Efficiency Gasoline Engine [Electronic resource] / Bengt Johansson // Lund University. – Режим доступа : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f8/deer10_johansson.pdf. – Загл. с экрана.

58. Федянов, Е.А. Межцикловая неидентичность рабочего процесса и проблемы улучшения показателей ДВС с искровым зажиганием [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.04.02 / Евгений Алексеевич Федянов ; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 1999. – 314 л.

59. The effect of combustion duration on the performance and emission characteristics of propane–fueled 4–stroke S.I. engines / A. Jehad [et al.] // Emirates Journal for Engineering Research. – 2003. –Vol. 8(1) – P. 1–14.

60. Разлейцев, Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях [Текст] / Н.Ф. Разлейцев. – Харьков : Вища школа. Изд–во при Харьк. Ун–те, 1980. – 169 с.

61. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя [Текст] / Иван Иванович Вибе. – Москва–Свердловск : Машгиз, 1962. – 273 с.

62. Воинов, А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. Изд. 2–е, перераб. и доп. [Текст] / А.Н. Воинов. – М. : Машиностроение, 1977. – 277 с.

63. Брозе, Д. Д. Сгорание в поршневых двигателях [Текст] / Д.Д. Брозе. – М. : Машиностроение, 1969. – 248 с.

64. Wildhaber, S.N. Impact of combustion phasing on energy and availability distributions of an internal combustion engine [Текст] : Ph. D Thesis : / Shawn Nicholas Wildhaber ; Missouri university. – Missouri, 2011. – 125 p.

65. Heywood, J.B. Improving the Spark-Ignition Engine [Electronic resource] / John B. Heywood // Symposium University of Madison. – 2005. – Режим доступа : <https://www.erc.wisc.edu/documents/symp05–Heywood.pdf>. – Загл. с экрана.

66. Heywood, J.B. Improving Engines and Fuels, Together [Electronic resource] / John B. Heywood // 11th Concauwe Symposium. – Brussels, 2015. – Режим доступа : https://www.concauwe.eu/wp-content/uploads/2017/01/ConcauweSymposium_Prof.–Heywood_Improving–Engines–and–Fuels.pdf. – Загл. с экрана.

67. Kato, S The Influence of Port Fuel Injection on Combustion Stability [Electronic resource] / Shoichi Kato, Takanori Hayashida, Minoru Iida // Yamaha motor technical review. – 2008. – Yamaha Motor Co., Ltd., 2019. – Режим доступа : https://global.yamaha–motor.com/about/technical_review/pdf/browse/44gr03e.pdf. – Загл. с экрана.

68. Reitz, R.D. Internal Combustion Engines I: Fundamentals and Performance Metrics, University of Wisconsin–Madison 2018 Princeton–Combustion Institute Summer School on Combustion Course Length: 9 hrs [Electronic resource] / Rolf D. Reitz // Princeton–Combustion Institute Summer School on Combustion Course Length: 9 hrs. – 2018. – New Jersey : Princeton university, 2019. – Режим доступа : https://cefrc.princeton.edu/sites/cefrc/files/reitz_princeton–day1–hour3–2018.pdf. – Загл. с экрана.

69. Influence of air/fuel ratio on cyclic variation and exhaust emission in natural gas si engine [Electronic resource] / L. Ben [et al.] // SAE Technical Paper 1999–01–2901. – 1999. – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

70. Krost, P. Experimental Characterization and Quasi-Dimensional Modeling of Cyclic Combustion Variations in Spark Ignition Engines [Текст] : Ph. D Thesis : / Philipp Krost ; Technische Universitat Darmstadt. – München, 2018. – 141 p.

71. Salazar, V. Influence of the Flow Field on Flame Propagation in a Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engine [Electronic resource] / V. Salazar, S. Kaiser // SAE Int. J. Engines 4(2). – 2011. – P. 2376–2394 – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

72. Cycle-by-cycle combustion variations in spark-ignited engines [Electronic resource] / C.S. Daw [et al.] // Fourth Experimental Chaos Conference Boca Raton. – 1997. – . – ORNL Technologies, 2019 – . – Режим доступа : <https://inspire.ornl.gov/OriginalDocument/152658aa-ad1f-4b45-a40b-4122f53246e4>. – Загл. с экрана.

73. Study on cycle-by-cycle variations of combustion in a natural-gas direct-injection engine [Текст] / Z-H Huang [et al.] // Proc. IMechE: J. Automobile Engineering. – 2008. – Vol. 222, Part D. – P. 1657–1667.

74. Young, M. B. Cyclic Dispersion in the Homogeneous-Charge Spark-Ignition Engine – A Literature Survey [Electronic resource] / M. B. Young // SAE Technical Paper 810020. – 1981. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

75. An Experimental Study of the Cyclic Variability in Spark Ignition Engines [Electronic resource] / N. Ozdor, M. Dulger, E. Sher // SAE Technical Paper 960611. – 1996. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

76. Clerk, D. The Theory of the Gas Engine (1882) [Текст] / D. Clerk. – Whitefish : Kessinger Publishing, LLC, 2010. – 178 p.

77. Mickelsen, W. R. Growth rates of turbulent free flames. Fourth international Symposium on Combustion [Текст] / W. R. Mickelsen, N. E. Ernstein // J. Chem. Phys. – 1956. – Volume 25, Issue 3. – P. 325–333.

78. Peters, B. D. Cyclic Variations and Average Burning Rate in a S. I. Engine [Electronic resource] / B. D. Peters, G.L. Borman // SAE Technical Paper 700064. – 1970– . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

79. Johansson, B. On Cycle-to-Cycle Variations in Spark Ignition Engines [Текст] : Ph. D Thesis : / B. Johansson ; Lund Institute of Technology. – Lund, 1995. – р.

80. Research on the Measures for Improving Cycle-to-Cycle Variations under High Tumble Combustion [Electronic resource] / T. Omura [et al.] // SAE Technical Paper 2016-01-0694. – 2016. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

81. Patterson, D. Cylinder pressure variations, a fundamental combustion problem [Electronic resource] / D. Patterson // SAE Technical Paper 660129. – 1966. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

82. A simple model for cyclic variations in a spark-ignition engine [Electronic resource] / C.S. Daw [et al.] // SAE Technical Paper 962086. – 1996. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

83. Roberts, J. Cylinder pressure variations as a stochastic process [Electronic resource] / J. Roberts, J. Peyton Jones, K. Landsborough // SAE Technical Paper 970059. – 1997. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

84. A review of deterministic effects in cyclic variability of internal combustion engines [Electronic resource] / C.E.A. Finney [et al.] // International Journal of Engine Research. – 2015. – P. 366–378 – ORNL, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.ornl.gov/publication/review-deterministic-effects-cyclic-variability-internal-combustion-engines>. – Загл. с экрана.

85. Dai, W. Modeling of cyclic variations in spark-ignition engines [Electronic resource] / W. Dai, N. Trigui, Y. Lu // SAE Technical Paper 2000-01-2036. – 2000. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

86. Belmont, M. Statistical aspects of cyclic variability [Electronic resource] / M. Belmont, M. Hancock, D. Buckingham // SAE Technical Paper 860324. – 1986. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

87. Quasi-Dimensional Simulation of Spark Ignition Engines [Текст] / A. Medina [et al.]. – London : Springer-Verlag, 2014. – 195 p.

88. Schll, E. Handbook of Chaos Control, volume 2. [Текст] / E. Schll, H.G. Schuster. – New York : Wiley - VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. – 820 p.

89. Chaos analysis on in-cylinder pressure measurements [Electronic resource] / L. Chew [et al.] // SAE Technical Paper 942486. – 1994. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

90. Костычев, В.Н. Улучшение показателей двигателей с искровым зажиганием на режиме холостого хода путем снижения межциклового неидентичности рабочего процесса [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Владимир Николаевич Костычев ; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 1982. – 116 л.

91. Власов, М.Ю. Повышение эффективности рабочих процессов атмосферных и наддувных поршневых ДВС за счет улучшения межциклового стабильности [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Михаил Юрьевич Власов ; Тульский государственный университет. – Тула, 2012. – 16 с.

92. Ахромешин, А.В. Повышение эффективных характеристик поршневых ДВС управлением бифуркационными зависимостями межциклового неидентичности рабочих процессов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / Андрей Владимирович Ахромешин ; Тульский государственный университет. – Тула, 2010. – 22 с.

93. Ozdor, N. Cyclic Variability in Spark Ignition Engines – A Literature Survey [Electronic resource] / N. Ozdor, M. Dulger, E. Sher // SAE Technical Paper 940987. – 1994. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

94. Shen, H. A Study of Cycle-to-Cycle Variations in SI Engines Using a Modified Quasi-Dimensional Model [Electronic resource] / H. Shen, P. C. Hinze, J.

B. Heywood // SAE Technical Paper 961187. – 1996. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

95. Hasse, C. Scale-resolving simulations in engine combustion process design based on a systematic approach for model development [Текст] / С. Hasse // International Journal of Engine Research. – 2016. – Vol. 17, Issue 1. – P. 44–62.

96. Combustion fluctuation mechanism involving cycle-to-cycle spark ignition variation due to gas flow motion in s.i. engines [Текст] / К. Hamai [et al.] // Symposium (International) on Combustion. – 1988. – Vol. 21, Issue 1. – P. 505–512.

97. A major origin of cyclic energy conversion variations in si engines: Cycle-by-cycle variations of the equivalence ratio and residual gas of the initial charge [Electronic resource] / G. Grnefeld [et al.] // SAE Technical Paper 941880. – 1994. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

98. Schlieren visualization of the flow and density fields in the cylinder of a spark-ignition engine [Electronic resource] / М. Namazian [et al.] // SAE Technical Paper 800044. – 1980. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

99. Time-Resolved Measurement of Fuel Transient Behaviour and Cycle to Cycle Variation of Local Fuel/Air Equivalence Ratio in Gasoline Engines [Electronic resource] / С.Ф. Li [et al.] // SAE Technical Paper 940989. – 1994. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

100. Measurements of Cycle to Cycle Variability of the Inlet Flow of Fuel Injectors Using LDA [Electronic resource] / J. Bedford [et al.] // SAE Technical Paper 2006-01-3314. – 2006. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

101. Pundi, B. Effect of charge non-homogeneity on cycle-by-cycle variations in combustion in si engines [Electronic resource] / В. Pundi, V. Zvonow, С. Gupta // SAE Technical Paper 810774. – 1981. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

102. Matekunas, F.A. Modes and measures of cyclic combustion variability [Electronic resource] / F.A. Matekunas // SAE Technical Paper 830337. – 1983. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

103. Stabilized combustion in a spark ignited engine through a long spark duration [Electronic resource] / M. Nakai [et al.] // SAE Technical Paper 850075. – 1985. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

104. A continuous discharge ignition system for egr limit extension in si engines [Electronic resource] / T. Alger [et al.] // SAE Int. J. Engines 4(1). – 2011. – P. 677–692. – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

105. Impact of ignition energy phasing and spark gap on combustion in a homogenous direct injection gasoline si engine near the egr limit [Electronic resource] / W. Chen [et al.] // SAE Technical Paper 2013–01–1630. – 2013. – . – SAE, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.sae.org>. – Загл. с экрана.

106. Ragland, K.W. Combustion Engineering (2–nd Edition) [Текст] / Kenneth W. Ragland, Kenneth M. Bryden. – Abingdon–on–Thame : Taylor & Francis Group, 2011. – 552 p.

107. Pacala, S Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies [Текст] / S. Pacala, R. Socolow // Science. – 2004. – Vol. 305 (5686). – P. 968–972.

108. National Research Council (2013). Transitions to Alternative Vehicles and Fuels [Electronic resource] / Douglas M. Chapin [et al.] – Washington : National Academies Press, 2013. – P. 378. – NAP, 2019 – . – Режим доступа : <https://www.nap.edu/catalog/18264/transitions-to-alternative-vehicles-and-fuels>. – Загл. с экрана.

109. U.S. DRIVE Highlights of Technical Accomplishments Overview [Electronic resource] – Washington : U.S. Department of Energy, 2013. – P. 75. – U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2019 – . – Режим доступа : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f14/2013USDRIVEA_ccomplishmentsReport.pdf. – Загл. с экрана.

110. Reitz, R. D. Directions in internal combustion engine research [Текст] / R. D. Reitz // Combustion and Flame. – 2013. – Vol. 160(1). – P. 1–8.

Приложение А
Спецификация комплектации ДВС

Таблица А.1 - Спецификация комплектации двигателя ЗМЗ-409

№	Наименование	Номенклатурный номер	Кол-во	Примечание
1	Двигатель внутреннего сгорания с системой впуска	ЗМЗ 409061 №409061F004836	1 шт.	Комплектация двигателя «бензин»
2	Система выпуска	МК20007.12.00.00	1 шт.	
3	Нейтрализатор	Экомаш-НК ЭМ 063.1206010-05	2 шт.	

Приложение Б

Спецификация ЭСУД

Таблица Б.1 - Спецификация ЭСУД

№	Наименование	Обозначение	Кол-во	Примечание
1	Дроссельный модуль с электроприводом дроссельной заслонки и ДПД	40904,1148090 DV-E-5, Bosch 0 280 750 151	1	Привод – двигатель постоянного тока напряжением бортовой сети.
2	ДПКВ Датчик синхронизации КВ индуктивного типа	40904.3847010 DG-6-K, Bosch 0 261 210 302	1	Формирует электрический сигнал при взаимодействии магнитного поля датчика с зубчатым диском шкива коленчатого вала согласованной с разработчиком СУД конструкции. Параметры диска: количество зубьев 60-2, Ø174 мм, высота зуба 7 мм. Взаимная ориентация зубчатого диска и датчика: момент прохождения осью датчика сбега двадцатого зуба диска соответствует нахождению поршня первого цилиндра в верхней мертвой точке. Отсчет номера зуба – от пропуска в направлении, противоположном вращению коленчатого вала двигателя. Диапазон функционирования датчика: скорости вращения диска 20...7000 min ⁻¹ , воздушный зазор между керном датчика и поверхностью зуба диска – 0,3...1,5 мм. Минимальная амплитуда выходного сигнала с датчика при оборотах коленчатого вала (20+1) мин ⁻¹ и максимальном зазоре (1,5+0,05) мм должна быть не менее 0,21В. Максимальная амплитуда выходного сигнала с датчика при обо-

Продолжение таблицы Б.1

				ротах коленчатого вала (6000...30) мин-1 и минимальном зазоре (0,3+0,03) мм должна быть (100...120)В. Измерение выходного напряжения должно производиться на активной нагрузке 10 кОм.
3	ДПРВ Датчик фазы Hall	40904.3847000-01 PG-3.8, Bosch 0 232 103 097	1	Формирует сигнал при взаимодействии магнитного поля датчика с отметчиком установленном на распределительном вале. Момент начала формирования сигнала датчиком фазы, при наличии совпадения сбеге первого зуба диска 60-2 с осью датчика синхронизации, свидетельствует о начале такта сжатия в первом цилиндре. Диапазон функционирования датчика: скорости вращения распределительного вала двигателя 10...3500 min-1, воздушный зазор между керном датчика и поверхностью отметчика – 0,1...1,9 мм.
4	ДТОЖ Датчик температуры ОЖ NTC-типа	40904.3828000 TF-W, Bosch 0 280 130 093	1	Рабочий диапазон температур - от минус 40° С до плюс 140 °С.
5	ДДТВ Датчик давления и температуры воздуха во впускном коллекторе	40905.3829010 DS-S3-TF, Bosch 0 261 230 217	1	Датчик давления 10...115 кПа Датчика температуры NTC-типа -40...+130°С Напряжение питания – стабилизированное, 5В Передаточная функция датчика давления $U_A = (C_1 \cdot p_{abs} + C_0) \cdot U_S$ <p>Где: U_A = напряжение выходного сигнала, В; U_S = напряжение питания, В;</p>

Продолжение таблицы Б.1

				<p>P_{abs} = абсолютное давление, кПа; $C_0 = - 0,1/105$; $C_1 = 0,85/105$ кПа-1.</p>
6	Датчик Детонации	40904.3855000 KS-4-S Bosch 0 261 231 176	1	<p>Чувствительность датчика на частотах от 0 до 12 кГц находится в пределах 24-36 мВ/г; от 12 до 16 кГц в пределах 20-45 мВ/г; от 16 до 22 кГц в пределах 28-45 мВ/г. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более ± 10 % при частоте 5 кГц и ускорении от 20 до 100 м/с². Электрическая емкость 1150 ± 200 пФ. Резонансная частота датчика более 30 кГц.</p>
7	Датчик кислорода (лямбда-зонд), четырехпроводной, с управляемым электроподогревом:	используется датчик кислорода типа ДК 889 аналог 25.368889 ф. Delphi	2	<p>Основной лямбда-зонд в системе регулирования топливосдачи в области стехиометрического состава топливовоздушной смеси, размещение до катализатора, на приемной трубе выхлопной системы автомобиля. Предназначен для определения блоком управления состава смеси перед катализатором. Дополнительный (диагностический) лямбда-зонд во втором контуре регулирования состава топливовоздушной смеси и выполнения требований бортовой диагностики, размещение - после катализатора. Предназначен для определения блоком управления состава смеси после нейтрализатора и оценки эффективности функционирования нейтрализатора.</p> <ul style="list-style-type: none"> - номинальное напряжение питания датчика – 12 В. - номинальный ток цепи

Продолжение таблицы Б.1

				<p>нагревателя – $(1,35 \pm 0,2)$ А.</p> <p>- время отклика по нарастающей от 300 до 600 мВ и спаду от 600 до 300 мВ должно быть не более 125 мс.</p> <p>- сопротивление цепи нагревателя в холодном состоянии при температуре окружающей среды (20 ± 3) °С должно быть (9 ± 3) Ом.</p>
8	Датчик аварийного давления масла	6002.3829	1	<p>12В, 5А</p> <p>Давление размыкания/замыкания $0,6 \pm 0,2$ кгс/см²</p>
9	Топливопровод распределительный	40905.1100010 KSZ-S, Bosch 0 280 151 256	1	<p>Топливная магистраль имеет на входе штуцер для быстрого съема соединения, вдоль магистрали имеются отверстия для установки форсунок и ниппель для определения давления топлива. Рабочее давление 390 кПа.</p>
9.1	Бензиновые форсунки (электромагнитные, двухфакельные)	40904.1132010 EV14EL, Bosch 0 280 158 237	4	<p>Угол между осями двух направлений факела распыла $22^\circ \pm 4^\circ$. Статическая производительность форсунки при перепаде давления рабочей жидкости 300 кПа и номинальном напряжении питания должна быть 172 г/мин. Данные по n-гептану (плотность: $0,684 \text{ г/см}^3 \pm 0,002 \text{ г/см}^3$ вязкость: $0,61 \text{ мм}^2/\text{с} \pm 0,01 \text{ мм}^2/\text{с}$). Динамическая производительность форсунки при перепаде давления рабочей жидкости 300 кПа, номинальном напряжении питания и длительности управляющих импульсов тока 2,5 мс должна быть равна 5.0 г/1000 циклов.</p>
10	Катушка зажигания (индивидуальные,	«СОАТЭ» 407.3705000	4	<p>Время нарастания тока в первичной цепи катушки до</p>

Продолжение таблицы Б.1

	трансформаторного типа, без коммутатора)	аналог BWBSK 4075 (Корея) 40904.3705000-01		уровня ($7 \pm 0,3$) А при работе в составе системы управления и напряжении питания 14 В составляет (2,6...2,7) мс. Сопротивление соединительных проводов при определении времени накопления энергии в первичной обмотке (200 ± 10) мОм. Развиваемое вторичное напряжение на нагрузке $C_{ш}=35$ пФ, $R_{ш}=10$ МОм при токе разрыва 7 А напряжении питания системы управления 14 В составляет от 30 кВ до 35 кВ. При этом скорость нарастания вторичного напряжения в интервале (10...90)% от развиваемого вторичного напряжения 900 В/мкс на указанной нагрузке.
11	Свеча зажигания	Brisk DR17YC	4	Количество боковых электродов 1 Зазор между электродами 0,75 мм. Калильное число 17 Вид топлива бензин При выборе учесть уменьшение свечного зазора в процессе эксплуатации.
12	Датчик NO _x (12В) Опция	Smart NO _x Sensor/12V		Связь датчика NO _x с M12M по протоколу J1939. Измерение альфа в диапазоне 0.5...5. Поддержание заданного состава смеси за счет ОС и расчетной модели. Измерение NO _x в диапазоне 0...1500 ppm.
13	Термистор Опция	АБИТ. 857180.020		Термистор устанавливается после нейтрализатора.
14	Комплект жгутов проводов	АБИТ	1	КД на жгут изготавливает Исполнитель по эскизной документации Заказчика
15	Блок управления	M12M	1	или модификация блока M12M

Продолжение таблицы Б.1

15	Блок управления	M12M	1	или модификация блока M12M
16	Педаль	Curtis FP-FCV-0001	1	ДПП потенциометрического типа <u>встроен</u> в педаль газа (0...5 В). Сигнал с педали поступает в систему управления Curtis
17	Датчик скорости	Выключатель индуктивный бесконтактный IBS WC31A8-31N-1,5-S4-1	2	Напряжение питания 10...30 В DC Рабочий ток ≤ 250 мА Частота переключения 600Гц Датчики скорости встроены в передний и задний гидромоторы. Сигналы с датчиков поступают в систему управления Curtis
18	Реле стартера	411.3787-02 «Энергомаш»	1	Выполняет функции реле блокировки стартера или пускового реле 4 контактное электромагнитное реле 12В, 70А
19	Главное реле	40.3787 «Энергомаш»	1	5 контактное электромагнитное реле 12В, 20А
20	Ключ зажигания «Кл.15»	21230-3704010 «ДААЗ»	1	Тумблер, сухие контакты.

Приложение В

Спецификация системы питания газом

Таблица В.1 - Спецификация системы питания газом

№	Наименование	Обозначение	Кол-во	Примечание
1	Переключатель-индикатор вида топлива газ-бензин электронный	Lovato X553001 TP, 1110011	1	Имеет кнопку, 7 светодиодных индикаторов и внутренний зуммер.
2	Газовый редуктор-испаритель LPG	Lovato RGJ HP 536771000	1	$P_{gas} = 1.0 \text{ Bar}$ (220кВт) В состав редуктора входит электромагнитный клапан и датчик температуры редуктора
3	Датчик температуры редуктора Easy fast	Lovato NTC 421053	1	Входит в состав редуктора Lovato RGJ HP
4	Запорный клапан на газовом баллоне LPG	Tomasetto AT02	2	Мультиклапан с электромагнитным запорным клапаном и отдельными предохранительными клапанами: защита от превышения внутреннего давления и высокой температуры (пожарный клапан)
5	Датчик уровня газа в баллоне LPG	AEB 1050	2	Устанавливается на мультиклапан Tomasetto AT02 Сопротивление: от 0 до 50 Ом; Рабочая температура: -20 °С ~ 120 °С Материал: медь/нейлон/ПВХ Напряжение: DC 10 В-16 В ISO/TS 16949 10R-03
6	Датчиком давления SMART 2012	Lovato FSU FILTER PT Sensor 161511000	1	Датчик давления интегрирован в фильтр газовой фазы

Продолжение таблицы В.1

7	Блок электромагнитных клапанов	409061.1156010 Lovato 238000028	1	Блок электромагнитных клапанов для подачи газового топлива включает в себя рампу крепления электромагнитных клапанов с четырьмя электромагнитными клапанами и штуцерами подачи газа с дозирующими отверстиями Ø2,4 мм. Требования к управляющему импульсу клапанов: тип Pick – Hold (4 А - 1,5 А), номинальное резистивное сопротивление катушки индуктивности 2,1 Ом.
8	Газовый редуктор-испаритель CNG	Lovato RMJ-3 536896000	1	$P_{gas} = 1.8 \text{ Bar}$ (140кВт) В состав редуктора входит электромагнитный клапан и датчик температуры редуктора
9	Запорный вентиль на газовом баллоне CNG	Tomasetto VMAT7701	2	
10	Манометр с выходом в блок управления CNG	АЕВ 806	2	Устанавливается на вентиль Tomasetto VMAT7701
11	Баллон газовый	БАЖ-96-315	2	Пропан-бутан. $P_{ном} = 1.6 \text{ МПа}$
12	Баллон газовый	БА 80.20.327/1360	2	Природный газ. $P_{ном} = 25 \text{ МПа}$

Приложение Г
Протоколы испытаний ДВС

Дата <u>13.10.2016</u>		Протокол испытаний № 1															
Двигатель <u>ЗМЗ 409061</u> <u>№409061F004836</u>		Топливо <u>бензин А-92</u>										Параметры окружающей среды					
		Давление в рампе Pp: <u>0,42 МПа</u>										Температура воздуха, t _{возд}		20			
Характеристика <u>испытания цикла D2</u>																	
		n, мин ⁻¹ <u>2500</u>															
				до нейтрализатора										после нейтрализатора			
№	T _{ог} , С	P _е , кгс	G _T , кг/ч	G _е , кг/ч	α	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	СН _р , ppm	CO ₂ , %	λ	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	СН _р , ppm	CO ₂ , %	λ
1	710	25,7	9,9	142,0	0,97	0,84	5740	64	110	14,29	0,985	0,42	170	20	40	14,86	0,988
2	664	19,3	7,7	112,0	0,99	0,64	5750	85	130	14,32	0,997	0,1	0	30	45	15,01	0,996
3	610	12,8	5,8	84,0	0,98	0,57	5900	60	87	14,32	1,001	0,09	0	0	0	14,88	1,000
4	540	6,4	3,9	56,0	0,99	0,5	2900	30	45	14,42	1,001	0,08	0	0	0	14,80	1,004
5	514	2,5	3,0	42,0	0,99	0,41	780	16	28	14,50	1,003	0,02	0	0	0	14,81	1,007

Дата <u>13.10.2016</u>						Протокол испытаний № 2												
Двигатель <u>3МЗ 409061</u> <u>№409061F004836</u>						Топливо <u>пропан-бутан</u> Давление в рампе Pp: <u>190 кПа</u>						Параметры окружающей среды						
												Температура воздуха, t _{возд}						20
Характеристика <u>испытания цикл D2</u> n, мин ⁻¹ <u>2500</u>												Барометрическое давление, мм Hg						760
												Влажность воздуха						87%
№	Tог, С					до нейтрализатора						после нейтрализатора						
		P _{екв} , кгс	G _T , кг/ч	G _в , кг/ч	α	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	СН _р , ppm	CO ₂ , %	λ	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	СН _р , ppm	CO ₂ , %	λ	
1	690	25,7	9,7	144,5	0,99	0,66	5700	90	139	12,12	0,996	0,17	54	11	23	12,75	0,996	
2	650	19,3	7,6	114,0	0,99	0,56	5900	85	131	12,29	0,996	0,09	11	31	48	12,88	1,000	
3	586	12,8	5,6	85,0	0,98	0,63	5800	98	151	12,68	0,996	0,10	7	40	65	13,17	0,997	
4	500	6,4	3,7	55,0	0,98	0,53	2600	64	103	12,78	1,000	0,09	0	7	12	13,25	1,004	
5	491	2,5	2,7	40,0	0,99	0,41	650	42	61	12,90	1,000	0,01	7	0	0	13,21	1,005	

Дата <u>13.10.2016</u>					Протокол испытаний № 3												
Двигатель <u>ЗМЗ 409061</u> <u>№409061F004836</u>					Топливо <u>природный газ (КПГ)</u> Давление в рампе Pp: <u>244 кПа</u>							Параметры окружающей среды					
												Температура воздуха, t _{возд}					20
Характеристика <u>испытания цикл D2</u>												Барометрическое давление, мм Hg					760
												Влажность воздуха					87%
n, мин ⁻¹ <u>2500</u>																	
№	Tог, C					до нейтрализатора						после нейтрализатора					
		P _{вх} , кгс	G _T , кг/ч	G _в , кг/ч	α	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	СН _р , ppm	CO ₂ , %	λ	CO, %	NO, ppm	CH, ppm	СН _р , ppm	CO ₂ , %	λ
1	670	25,2	8,1	144,0	1,00	0,64	5800	55	79	10,80	0,997	0,13	50	35	53	11,48	0,994
2	637	18,8	6,7	114,0	0,99	0,59	5600	77	110	10,73	1,004	0,08	3	26	40	11,40	0,997
3	600	13,4	5,1	87,0	0,98	0,58	3900	94	143	10,83	0,999	0,09	0	64	99	11,40	0,993
4	540	7,0	3,4	57,0	0,98	0,51	1600	73	113	10,82	0,997	0,08	0	47	74	11,33	0,995
5	490	3,1	2,4	39,5	0,98	0,53	480	70	108	10,91	0,996	0,07	0	61	91	11,32	0,995

Приложение Д
Протокол испытаний ГСМ

**Протокол № 4
по результатам испытаний горюче-смазочных материалов**

Договор	№ 1721602 от 10.09.16 г.
Заказчик, адрес	ООО «Мика Мотор»
Описание и шифр образца	Образец бензина автомобильного №1
Акт отбора (передачи) образцов	Акт № 152.6.16 от 13.10.2016 г. Отбор образцов произведен заказчиком
Дата проведения испытаний	13.10.2016 г.
Цель испытаний	Определение октанового числа, фракционного состава бензина и концентрации фактических смол на соответствие показателей ГОСТ Р 51105-97
Метод испытаний	Моторный метод определения октанового числа по ГОСТ 511-82; исследовательский метод определения октанового числа по ГОСТ 8226-82; определение фракционного состава по методу А по ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88); метод определения фактических смол по ГОСТ 1567-97
Испытательное оборудование	(1) Одноцилиндровая универсальная установка УИТ-85; (2) Ручной аппарат для перегонки нефтепродуктов АРНС-1Э; (3) Аппарат для определения смол выпариванием струей воздуха ТОС-ЛАБ-02; (4) Весы лабораторные АВ 210-01

Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Требования по ГОСТ Р 51105-97	Фактическое значение
1.	Детонационная стойкость:		
1.1.	октановое число, определяемое по моторному методу, не менее	83	83,4 ¹
1.2.	октановое число, определяемое по исследовательскому методу, не менее	92	94,0 ¹
2.	Фракционный состав:		
2.1.	температура начала кипения, °С, не ниже	не нормируется	38
2.2.	Объем испарившегося бензина, %		

	при температуре 70 °С мин.	15	21 ²
	при температуре 70 °С макс.	48	
	при температуре 100 °С мин.	40	49
	при температуре 100 °С макс.	70	
	при температуре 150 °С, не менее	75	90
2. 3.	температура конца кипения, °С, не выше	215	182
2. 4.	остаток в колбе, %, не более	2	1,0
2. 5.	остатки и потери, %, не более	не нормируется	2,4
3.	Цвет	Чистый прозрачный	Чистый прозрачный
4.	Концентрация фактических смол, мг на 100 см ³	не более 5	2,3

¹Погрешность определения октанового числа: ± 0,5 ед.

²Погрешность определения объёма испарившегося бензина: ± 1,0%

Результаты испытаний относятся только к представленному образцу.

10. Вывод

Представленный образец бензина соответствует требованиям, предъявляемым к марке Регуляр-92 ГОСТ Р 51105-97 по всем определяемым показателям в пределах погрешности измерений.

Приложение 3

Результаты стендовых измерений параметров ДВС

Таблица 3.1 - Результаты стендовых измерений

время, мс	MeAct, Н·м (Реализованный эффективный момент)	MiAct, Н·м (Реализованный индикаторный момент)	Mfrc, Н·м (Момент механических потерь)	Me, Н·м (Требуемый эффективный момент)	N, об/мин (обороты двигателя)	Ne, кВт (Мощность двигателя)	qcmBnzClc, мг/ц (Расчетная цикловая топливоподача бензина)	qcmGasClc, мг/ц (Расчетная цикловая топливоподача газа)	alfaClc, - (Реализованный коэффициент избытка воздуха)	gtAir, кг/ч (Расход воздуха через двигатель)	gtBnzAct, кг/ч (Расход бензина реализованный)	gtGasAct, кг/ч (Расход газа реализованный)	pGasAct, кПа (Абсолютное давление газа в рампе)
0	175,4	197,2	21,8	177	2501	45,8	32,67	0	0,994	142,1	9,76	0	114
0,016	175,4	197,2	21,8	177	2497	45,8	32,84	0	0,994	142,1	9,76	0	114
0,063	177	198,8	21,8	177	2497	46,3	32,84	0	0,993	142,8	9,81	0	112,7
0,094	177	198,8	21,8	177	2500	46,3	32,84	0	0,993	142,8	9,81	0	112,7
0,125	176,2	198	21,8	177	2500	46,1	32,84	0	0,991	142,5	9,8	0	114
0,157	176,2	198	21,8	177	2502	46,1	32,76	0	0,991	142,5	9,8	0	114
0,204	175,8	197,6	21,8	177	2502	46	32,76	0	0,991	141,4	9,82	0	114
0,219	175,8	197,6	21,8	177	2498	46	32,86	0	0,991	141,4	9,82	0	114
0,266	177,8	199,6	21,8	177	2498	46,5	32,86	0	0,991	142,8	9,84	0	112,8
0,297	177,8	199,6	21,8	177	2502	46,5	32,68	0	0,991	142,8	9,84	0	112,8
0,328	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	32,68	0	0,989	141,6	9,77	0	112,7
0,36	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	33,04	0	0,989	141,6	9,77	0	112,7
0,407	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,3	33,04	0	0,99	141,8	9,85	0	112,7
0,422	176,6	198,4	21,8	177	2504	46,3	32,88	0	0,99	141,8	9,85	0	112,7
0,469	177,4	199,2	21,8	177	2504	46,5	32,88	0	0,992	142,7	9,8	0	114
0,5	177,4	199,2	21,8	177	2505	46,5	32,54	0	0,992	142,7	9,8	0	114
0,532	176,2	198	21,8	177	2505	46,1	32,54	0	0,993	142,1	9,76	0	114

0,563	176,2	198	21,8	177	2500	46,1	32,69	0	0,993	142,1	9,76	0	114
0,61	176,6	198,4	21,8	177	2500	46,2	32,69	0	0,993	142,4	9,77	0	114
0,625	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	32,7	0	0,993	142,4	9,77	0	114
0,672	176,2	198	21,8	177	2502	46,1	32,7	0	0,995	142,4	9,81	0	114
0,703	176,2	198	21,8	177	2503	46,1	32,54	0	0,995	142,4	9,81	0	114
0,735	176,2	198	21,8	177	2503	46,1	32,54	0	0,996	142,5	9,77	0	114
0,766	176,2	198	21,8	177	2502	46,1	32,81	0	0,996	142,5	9,77	0	114
0,813	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	32,81	0	0,992	142,1	9,8	0	114
0,829	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	32,64	0	0,992	142,1	9,8	0	114
0,875	177	198,8	21,8	177	2502	46,3	32,64	0	0,989	142,2	9,8	0	114
0,907	177	198,8	21,8	177	2497	46,3	32,7	0	0,989	142,2	9,8	0	114
0,938	176,6	198,4	21,8	177	2497	46,2	32,7	0	0,989	141,9	9,8	0	112,4
0,969	176,6	198,4	21,8	177	2498	46,2	32,97	0	0,989	141,9	9,8	0	112,4
1,016	176,2	198	21,8	177	2498	46	32,97	0	0,989	142,2	9,82	0	112,4
1,032	176,2	198	21,8	177	2494	46	33,07	0	0,989	142,2	9,82	0	112,4
1,079	177,4	199,2	21,8	177	2494	46,3	33,07	0	0,989	143	9,88	0	114
1,11	177,4	199,2	21,8	177	2498	46,3	33,01	0	0,989	143	9,88	0	114
1,141	177	198,8	21,8	177	2498	46,2	33,01	0	0,987	142,3	9,86	0	114
1,172	177	198,8	21,8	177	2499	46,2	32,86	0	0,987	142,3	9,86	0	114
1,203	178,6	200,4	21,8	177	2499	46,7	32,86	0	0,986	142,8	9,86	0	113,8
1,235	178,6	200,4	21,8	177	2501	46,7	32,83	0	0,986	142,8	9,86	0	113,8
1,282	177,4	199,2	21,8	177	2501	46,5	32,83	0	0,986	141,8	9,86	0	114
1,313	177,4	199,2	21,8	177	2504	46,5	33,04	0	0,986	141,8	9,86	0	114
1,344	177,4	199,2	21,8	177	2504	46,4	33,04	0	0,988	142,1	9,86	0	114
1,375	177,4	199,2	21,8	177	2500	46,4	32,79	0	0,988	142,1	9,86	0	114
1,407	178,2	200	21,8	177	2500	46,7	32,79	0	0,989	142,8	9,84	0	114
1,422	178,2	200	21,8	177	2500	46,7	32,79	0	0,989	142,8	9,84	0	114
1,438	178,2	200	21,8	177	2504	46,7	32,69	0	0,989	142,8	9,84	0	114
1,485	175,8	197,6	21,8	177	2504	46	32,69	0	0,992	141,5	9,84	0	114

1,516	175,8	197,6	21,8	177	2502	46	32,92	0	0,992	141,5	9,84	0	114
1,547	177	198,8	21,8	177	2502	46,4	32,92	0	0,991	142,5	9,81	0	112,7
1,579	177	198,8	21,8	177	2504	46,4	32,85	0	0,991	142,5	9,81	0	112,7
1,61	177,4	199,2	21,8	177	2504	46,5	32,85	0	0,991	142,9	9,83	0	114
1,641	177,4	199,2	21,8	177	2508	46,5	32,79	0	0,991	142,9	9,83	0	114
1,688	176,6	198,4	21,8	177	2508	46,3	32,79	0	0,993	142,5	9,82	0	114
1,719	176,6	198,4	21,8	177	2509	46,3	32,82	0	0,993	142,5	9,82	0	114
1,75	176,2	198	21,8	175,5	2509	46,3	32,82	0	0,994	142,9	9,83	0	114
1,782	176,2	198	21,8	175,5	2510	46,3	32,4	0	0,994	142,9	9,83	0	114
1,813	175,8	197,6	21,8	176,7	2510	46	32,4	0	0,996	142	9,74	0	114
1,844	175,8	197,6	21,8	176,7	2506	46	32,6	0	0,996	142	9,74	0	114
1,891	176,2	198	21,8	176,7	2506	46,2	32,6	0	0,995	142,7	9,77	0	114
1,907	176,2	198	21,8	176,7	2508	46,2	32,7	0	0,995	142,7	9,77	0	114
1,954	177	198,8	21,8	176,7	2508	46,4	32,7	0	0,994	143,2	9,8	0	114
1,985	177	198,8	21,8	176,7	2509	46,4	32,72	0	0,994	143,2	9,8	0	114
2,016	176,2	198	21,8	176,7	2509	46,2	32,72	0	0,993	142,1	9,8	0	114
2,047	176,2	198	21,8	176,7	2505	46,2	32,67	0	0,993	142,1	9,8	0	114
2,094	177	198,8	21,8	176,7	2505	46,4	32,67	0	0,991	142,5	9,77	0	114
2,11	177	198,8	21,8	176,7	2502	46,4	32,86	0	0,991	142,5	9,77	0	114
2,157	177,8	199,6	21,8	176,7	2502	46,5	32,86	0	0,989	142,5	9,8	0	114
2,188	177,8	199,6	21,8	176,7	2500	46,5	32,78	0	0,989	142,5	9,8	0	114
2,219	175,8	197,6	21,8	176,7	2500	46	32,78	0	0,989	141,9	9,81	0	113,8
2,25	175,8	197,6	21,8	176,7	2498	46	32,99	0	0,989	141,9	9,81	0	113,8
2,297	176,6	198,4	21,8	176,7	2498	46,1	32,99	0	0,989	142,3	9,83	0	114
2,313	176,6	198,4	21,8	176,7	2497	46,1	32,94	0	0,989	142,3	9,83	0	114
2,36	177,4	199,2	21,8	176,7	2497	46,4	32,94	0	0,987	142,9	9,86	0	114
2,391	177,4	199,2	21,8	176,7	2496	46,4	32,89	0	0,987	142,9	9,86	0	114
2,422	177,8	199,6	21,8	176,7	2496	46,5	32,89	0	0,986	142,2	9,86	0	114
2,454	177,8	199,6	21,8	176,7	2502	46,5	33,08	0	0,986	142,2	9,86	0	114

2,501	177,8	199,6	21,8	176,7	2502	46,5	33,08	0	0,984	141,7	9,86	0	114
2,516	177,8	199,6	21,8	176,7	2502	46,5	32,9	0	0,984	141,7	9,86	0	114
2,563	178,2	200	21,8	176,7	2502	46,6	32,9	0	0,984	142,2	9,86	0	114
2,594	178,2	200	21,8	176,7	2503	46,6	33,07	0	0,984	142,2	9,86	0	114
2,625	175,8	197,6	21,8	176,7	2503	46	33,07	0	0,983	141,1	9,86	0	114
2,657	175,8	197,6	21,8	176,7	2498	46	33,13	0	0,983	141,1	9,86	0	114
2,704	178,2	200	21,8	176,7	2498	46,6	33,13	0	0,986	142,6	9,86	0	113,8
2,719	178,2	200	21,8	176,7	2499	46,6	32,9	0	0,986	142,6	9,86	0	113,8
2,766	177	198,8	21,8	176,7	2499	46,4	32,9	0	0,988	141,8	9,85	0	113,7
2,797	177	198,8	21,8	176,7	2503	46,4	32,9	0	0,988	141,8	9,85	0	113,7
2,829	177,4	199,2	21,8	176,7	2503	46,4	32,9	0	0,989	142,3	9,81	0	114
2,86	177,4	199,2	21,8	176,7	2500	46,4	32,68	0	0,989	142,3	9,81	0	114
2,907	177,4	199,2	21,8	176,7	2500	46,4	32,68	0	0,989	142,3	9,81	0	114
2,922	177,4	199,2	21,8	176,7	2500	46,4	32,71	0	0,989	142,3	9,81	0	114
2,969	174,6	196,4	21,8	176,7	2500	45,6	32,71	0	0,991	141,3	9,8	0	114
3,001	174,6	196,4	21,8	176,7	2500	45,6	32,79	0	0,991	141,3	9,8	0	114
3,032	175,8	197,6	21,8	176,7	2500	46	32,79	0	0,991	141,7	9,8	0	112,7
3,063	175,8	197,6	21,8	176,7	2492	46	32,72	0	0,991	141,7	9,8	0	112,7
3,11	175	196,8	21,8	176,7	2492	45,7	32,72	0	0,994	141,8	9,77	0	114
3,126	175	196,8	21,8	176,7	2494	45,7	32,86	0	0,994	141,8	9,77	0	114
3,172	175,8	197,6	21,8	177,9	2494	45,8	32,86	0	0,994	142,1	9,77	0	112,7
3,204	175,8	197,6	21,8	177,9	2490	45,8	32,86	0	0,994	142,1	9,77	0	112,7
3,235	176,6	198,4	21,8	177	2490	46	32,86	0	0,991	142,6	9,8	0	114
3,266	176,6	198,4	21,8	177	2494	46	32,89	0	0,991	142,6	9,8	0	114
3,313	176,2	198	21,8	177	2494	46	32,89	0	0,989	142,2	9,83	0	114
3,329	176,2	198	21,8	177	2494	46	33,07	0	0,989	142,2	9,83	0	114
3,376	177	198,8	21,8	177	2494	46,2	33,07	0	0,989	142,7	9,85	0	114
3,407	177	198,8	21,8	177	2492	46,2	32,82	0	0,989	142,7	9,85	0	114
3,438	177	198,8	21,8	177	2492	46,2	32,82	0	0,989	142,5	9,82	0	114

3,469	177	198,8	21,8	177	2496	46,2	32,82	0	0,989	142,5	9,82	0	114
3,516	175,4	197,2	21,8	177	2496	45,8	32,82	0	0,991	141,6	9,81	0	114
3,532	175,4	197,2	21,8	177	2498	45,8	32,95	0	0,991	141,6	9,81	0	114
3,579	177,4	199,2	21,8	177	2498	46,4	32,95	0	0,993	142,8	9,84	0	114
3,61	177,4	199,2	21,8	177	2501	46,4	32,76	0	0,993	142,8	9,84	0	114
3,641	176,2	198	21,8	177	2501	46,1	32,76	0	0,993	142	9,84	0	114
3,672	176,2	198	21,8	177	2506	46,1	32,9	0	0,993	142	9,84	0	114
3,704	176,6	198,4	21,8	177	2506	46,3	32,9	0	0,99	141,8	9,83	0	114
3,735	176,6	198,4	21,8	177	2505	46,3	32,88	0	0,99	141,8	9,83	0	114
3,782	177,4	199,2	21,8	177	2505	46,4	32,88	0	0,989	142,4	9,8	0	112,5
3,813	177,4	199,2	21,8	177	2502	46,4	32,82	0	0,989	142,4	9,8	0	112,5
3,844	176,2	198	21,8	177	2502	46	32,82	0	0,989	142,2	9,83	0	114
3,876	176,2	198	21,8	177	2498	46	32,9	0	0,989	142,2	9,83	0	114
3,907	176,6	198,4	21,8	177	2498	46,2	32,9	0	0,989	142,5	9,81	0	114
3,922	176,6	198,4	21,8	177	2498	46,2	32,9	0	0,989	142,5	9,81	0	114
3,938	176,6	198,4	21,8	177	2499	46,2	33,09	0	0,989	142,5	9,81	0	114
3,985	176,6	198,4	21,8	177	2499	46,1	33,09	0	0,991	142,7	9,85	0	112,7
4,016	176,6	198,4	21,8	177	2494	46,1	32,79	0	0,991	142,7	9,85	0	112,7
4,047	175,8	197,6	21,8	177	2494	45,9	32,79	0	0,992	142,1	9,8	0	114
4,079	175,8	197,6	21,8	177	2498	45,9	32,95	0	0,992	142,1	9,8	0	114
4,126	177,4	199,2	21,8	177	2498	46,4	32,95	0	0,989	142,6	9,83	0	114
4,141	177,4	199,2	21,8	177	2500	46,4	32,92	0	0,989	142,6	9,83	0	114
4,188	177,4	199,2	21,8	177	2500	46,4	32,92	0	0,989	142,9	9,86	0	114
4,219	177,4	199,2	21,8	177	2492	46,4	32,99	0	0,989	142,9	9,86	0	114
4,251	175,4	197,2	21,8	177	2492	45,8	32,99	0	0,988	141,3	9,86	0	114
4,282	175,4	197,2	21,8	177	2499	45,8	33,01	0	0,988	141,3	9,86	0	114
4,313	177	198,8	21,8	177	2499	46,2	33,01	0	0,989	142,5	9,84	0	113,7
4,344	177	198,8	21,8	177	2504	46,2	32,93	0	0,989	142,5	9,84	0	113,7
4,391	177,8	199,6	21,8	177	2504	46,6	32,93	0	0,988	142,7	9,89	0	114

4,422	177,8	199,6	21,8	177	2504	46,6	32,88	0	0,988	142,7	9,89	0	114
4,454	176,2	198	21,8	177	2504	46,1	32,88	0	0,991	141,6	9,84	0	114
4,485	176,2	198	21,8	177	2503	46,1	32,82	0	0,991	141,6	9,84	0	114
4,516	177,4	199,2	21,8	177	2503	46,4	32,82	0	0,991	142,8	9,8	0	114
4,547	177,4	199,2	21,8	177	2499	46,4	32,77	0	0,991	142,8	9,8	0	114
4,594	177,4	199,2	21,8	177	2499	46,4	32,77	0	0,992	142,9	9,8	0	114
4,626	177,4	199,2	21,8	177	2502	46,4	32,85	0	0,992	142,9	9,8	0	114
4,657	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	32,85	0	0,993	142,1	9,81	0	114
4,688	176,6	198,4	21,8	177	2498	46,2	32,89	0	0,993	142,1	9,81	0	114
4,735	178,2	200	21,8	177	2498	46,7	32,89	0	0,991	143,2	9,81	0	112,7
4,751	178,2	200	21,8	177	2503	46,7	32,79	0	0,991	143,2	9,81	0	112,7
4,797	176,2	198	21,8	177	2503	46	32,79	0	0,99	142,3	9,82	0	114
4,829	176,2	198	21,8	177	2502	46	32,72	0	0,99	142,3	9,82	0	114
4,86	175,8	197,6	21,8	177	2502	46	32,72	0	0,993	141,6	9,81	0	113,7
4,891	175,8	197,6	21,8	177	2501	46	32,61	0	0,993	141,6	9,81	0	113,7
4,938	175,8	197,6	21,8	177	2501	45,9	32,61	0	0,992	142,3	9,75	0	114
4,954	175,8	197,6	21,8	177	2499	45,9	32,78	0	0,992	142,3	9,75	0	114
5,001	175,4	197,2	21,8	177	2499	45,8	32,78	0	0,993	142,2	9,8	0	114
5,032	175,4	197,2	21,8	177	2494	45,8	32,86	0	0,993	142,2	9,8	0	114
5,063	175,8	197,6	21,8	177	2494	45,9	32,86	0	0,993	142,3	9,8	0	114
5,094	175,8	197,6	21,8	177	2498	45,9	32,9	0	0,993	142,3	9,8	0	114
5,126	176,2	198	21,8	177	2498	46	32,9	0	0,99	142,3	9,81	0	113,7
5,157	176,2	198	21,8	177	2493	46	32,94	0	0,99	142,3	9,81	0	113,7
5,204	176,2	198	21,8	177	2493	46	32,94	0	0,989	142,2	9,83	0	114
5,235	176,2	198	21,8	177	2494	46	33,11	0	0,989	142,2	9,83	0	114
5,266	176,6	198,4	21,8	177	2494	46,1	33,11	0	0,988	142,3	9,85	0	114
5,297	176,6	198,4	21,8	177	2496	46,1	32,88	0	0,988	142,3	9,85	0	114
5,329	177,8	199,6	21,8	177	2496	46,4	32,88	0	0,986	142,8	9,84	0	112,7
5,36	177,8	199,6	21,8	177	2496	46,4	33,1	0	0,986	142,8	9,84	0	112,7

5,407	178,2	200	21,8	177	2496	46,6	33,1	0	0,986	142,5	9,88	0	114
5,438	178,2	200	21,8	177	2502	46,6	32,99	0	0,986	142,5	9,88	0	114
5,469	177	198,8	21,8	177	2502	46,3	32,99	0	0,986	142,3	9,86	0	114
5,501	177	198,8	21,8	177	2500	46,3	32,76	0	0,986	142,3	9,86	0	114
5,532	176,6	198,4	21,8	177	2500	46,2	32,76	0	0,988	142,3	9,84	0	114
5,563	176,6	198,4	21,8	177	2501	46,2	32,95	0	0,988	142,3	9,84	0	114
5,61	177,4	199,2	21,8	177	2501	46,4	32,95	0	0,989	142,2	9,88	0	114
5,641	177,4	199,2	21,8	177	2502	46,4	32,72	0	0,989	142,2	9,88	0	114
5,672	177,4	199,2	21,8	177	2502	46,5	32,72	0	0,991	142,7	9,82	0	114
5,704	177,4	199,2	21,8	177	2499	46,5	32,65	0	0,991	142,7	9,82	0	114
5,735	176,2	198	21,8	177	2499	46,1	32,65	0	0,991	141,9	9,82	0	113,7
5,766	176,2	198	21,8	177	2500	46,1	32,84	0	0,991	141,9	9,82	0	113,7
5,813	175	196,8	21,8	177	2500	45,7	32,84	0	0,993	141,7	9,77	0	112,7
5,844	175	196,8	21,8	177	2500	45,7	32,76	0	0,993	141,7	9,77	0	112,7
5,876	176,6	198,4	21,8	177	2500	46,2	32,76	0	0,993	142,4	9,8	0	113,7
5,907	176,6	198,4	21,8	177	2504	46,2	32,89	0	0,993	142,4	9,8	0	113,7
5,938	176,6	198,4	21,8	177	2504	46,2	32,89	0	0,991	142,1	9,82	0	113,7
5,969	176,6	198,4	21,8	177	2502	46,2	32,79	0	0,991	142,1	9,82	0	113,7
6,016	178,2	200	21,8	177	2502	46,7	32,79	0	0,989	142,8	9,81	0	113,7
6,032	178,2	200	21,8	177	2501	46,7	32,82	0	0,989	142,8	9,81	0	113,7
6,079	178,6	200,4	21,8	177	2501	46,8	32,82	0	0,989	143,2	9,86	0	112,7
6,11	178,6	200,4	21,8	177	2508	46,8	32,77	0	0,989	143,2	9,86	0	112,7
6,141	176,2	198	21,8	177	2508	46,2	32,77	0	0,991	142,2	9,86	0	114
6,172	176,2	198	21,8	177	2509	46,2	32,69	0	0,991	142,2	9,86	0	114
6,219	175,4	197,2	21,8	176,7	2509	46	32,69	0	0,993	141,9	9,82	0	114
6,235	175,4	197,2	21,8	176,7	2512	46	32,69	0	0,993	141,9	9,82	0	114
6,282	176,2	198	21,8	176,7	2512	46,3	32,69	0	0,993	142,4	9,82	0	114
6,313	176,2	198	21,8	176,7	2506	46,3	32,79	0	0,993	142,4	9,82	0	114
6,344	175,8	197,6	21,8	176,7	2506	46,1	32,79	0	0,994	142,3	9,81	0	114

6,376	175,8	197,6	21,8	176,7	2506	46,1	32,79	0	0,994	142,3	9,81	0	114
6,422	177	198,8	21,8	176,7	2506	46,4	32,79	0	0,996	142	9,77	0	114
6,454	177	198,8	21,8	176,7	2505	46,4	32,67	0	0,996	142	9,77	0	114
6,485	177	198,8	21,8	176,7	2505	46,3	32,67	0	0,992	142,4	9,77	0	113,7
6,516	177	198,8	21,8	176,7	2502	46,3	32,79	0	0,992	142,4	9,77	0	113,7
6,547	176,6	198,4	21,8	176,7	2502	46,3	32,79	0	0,991	142,1	9,82	0	114
6,579	176,6	198,4	21,8	176,7	2506	46,3	32,9	0	0,991	142,1	9,82	0	114
6,626	177	198,8	21,8	176,7	2506	46,4	32,9	0	0,989	142,1	9,83	0	114
6,657	177	198,8	21,8	176,7	2506	46,4	32,7	0	0,989	142,1	9,83	0	114
6,688	177,8	199,6	21,8	176,7	2506	46,6	32,7	0	0,989	143	9,85	0	114
6,719	177,8	199,6	21,8	176,7	2507	46,6	32,74	0	0,989	143	9,85	0	114
6,751	175,8	197,6	21,8	176,7	2507	46,1	32,74	0	0,993	141,9	9,82	0	114
6,782	175,8	197,6	21,8	176,7	2510	46,1	32,67	0	0,993	141,9	9,82	0	114
6,829	175	196,8	21,8	174,9	2510	46	32,67	0	0,999	143	9,82	0	114
6,844	175	196,8	21,8	174,9	2511	46	32,5	0	0,999	143	9,82	0	114
6,891	174,6	196,4	21,8	174,9	2511	45,9	32,5	0	0,996	142,2	9,8	0	112,8
6,922	174,6	196,4	21,8	174,9	2513	45,9	32,56	0	0,996	142,2	9,8	0	112,8
6,954	174,6	196,4	21,8	176,4	2513	45,8	32,56	0	0,996	141,7	9,75	0	113,7
6,985	174,6	196,4	21,8	176,4	2512	45,8	32,54	0	0,996	141,7	9,75	0	113,7
7,032	175	196,8	21,8	174,9	2512	46	32,54	0	0,995	142,4	9,77	0	114
7,063	175	196,8	21,8	174,9	2510	46	32,43	0	0,995	142,4	9,77	0	114
7,094	175,8	197,6	21,8	176,1	2510	46,2	32,43	0	0,996	142,9	9,76	0	114
7,126	175,8	197,6	21,8	176,1	2509	46,2	32,51	0	0,996	142,9	9,76	0	114
7,157	175	196,8	21,8	176,1	2509	45,9	32,51	0	0,997	142,5	9,75	0	114
7,188	175	196,8	21,8	176,1	2506	45,9	32,53	0	0,997	142,5	9,75	0	114
7,235	175	196,8	21,8	176,1	2506	45,9	32,53	0	0,998	142,2	9,73	0	113,7
7,266	175	196,8	21,8	176,1	2507	45,9	32,54	0	0,998	142,2	9,73	0	113,7
7,297	176,2	198	21,8	176,1	2507	46,2	32,54	0	0,996	142,9	9,77	0	114
7,329	176,2	198	21,8	176,1	2501	46,2	32,67	0	0,996	142,9	9,77	0	114

7,36	175,8	197,6	21,8	176,1	2501	46	32,67	0	0,994	142,1	9,77	0	113,7
7,391	175,8	197,6	21,8	176,1	2504	46	32,82	0	0,994	142,1	9,77	0	113,7
7,438	176,6	198,4	21,8	176,1	2504	46,2	32,82	0	0,991	142,3	9,8	0	113,7
7,469	176,6	198,4	21,8	176,1	2506	46,2	32,63	0	0,991	142,3	9,8	0	113,7
7,501	175,8	197,6	21,8	176,1	2506	46,1	32,63	0	0,991	141,8	9,81	0	114
7,532	175,8	197,6	21,8	176,1	2506	46,1	32,82	0	0,991	141,8	9,81	0	114
7,563	175,4	197,2	21,8	176,1	2506	46	32,82	0	0,99	141,4	9,8	0	113,7
7,594	175,4	197,2	21,8	176,1	2506	46	32,9	0	0,99	141,4	9,8	0	113,7
7,641	177,4	199,2	21,8	176,1	2506	46,5	32,9	0	0,987	142,8	9,83	0	114
7,672	177,4	199,2	21,8	176,1	2507	46,5	32,64	0	0,987	142,8	9,83	0	114
7,704	176,6	198,4	21,8	176,1	2507	46,4	32,64	0	0,986	142,2	9,82	0	114
7,735	176,6	198,4	21,8	176,1	2511	46,4	32,78	0	0,986	142,2	9,82	0	114
7,766	176,2	198	21,8	176,1	2511	46,2	32,78	0	0,986	141,8	9,81	0	114
7,797	176,2	198	21,8	176,1	2506	46,2	32,72	0	0,986	141,8	9,81	0	114
7,844	177	198,8	21,8	176,1	2506	46,5	32,72	0	0,986	142,4	9,77	0	114
7,875	177	198,8	21,8	176,1	2509	46,5	32,7	0	0,986	142,4	9,77	0	114
7,907	175,8	197,6	21,8	176,1	2509	46,1	32,7	0	0,989	141,8	9,83	0	114
7,938	175,8	197,6	21,8	176,1	2506	46,1	32,58	0	0,989	141,8	9,83	0	114
7,985	176,2	198	21,8	176,1	2506	46,2	32,58	0	0,989	142,2	9,77	0	114
8,001	176,2	198	21,8	176,1	2506	46,2	32,65	0	0,989	142,2	9,77	0	114
8,047	177	198,8	21,8	176,1	2506	46,3	32,65	0	0,986	142,1	9,77	0	114
8,079	177	198,8	21,8	176,1	2502	46,3	32,78	0	0,986	142,1	9,77	0	114
8,11	176,6	198,4	21,8	176,1	2502	46,2	32,78	0	0,986	141,6	9,82	0	114
8,141	176,6	198,4	21,8	176,1	2500	46,2	32,88	0	0,986	141,6	9,82	0	114
8,188	176,6	198,4	21,8	176,1	2500	46,2	32,88	0	0,985	141,6	9,81	0	113,7
8,204	176,6	198,4	21,8	176,1	2502	46,2	32,92	0	0,985	141,6	9,81	0	113,7
8,251	178,2	200	21,8	176,1	2502	46,6	32,92	0	0,984	142,4	9,82	0	114
8,282	178,2	200	21,8	176,1	2502	46,6	32,69	0	0,984	142,4	9,82	0	114
8,313	177	198,8	21,8	176,1	2502	46,4	32,69	0	0,984	141,8	9,8	0	114

8,344	177	198,8	21,8	176,1	2506	46,4	32,97	0	0,984	141,8	9,8	0	114
8,376	177,4	199,2	21,8	176,1	2506	46,5	32,97	0	0,984	142,3	9,85	0	114
8,407	177,4	199,2	21,8	176,1	2506	46,5	32,81	0	0,984	142,3	9,85	0	114
8,454	178,2	200	21,8	176,1	2506	46,7	32,81	0	0,983	142,8	9,86	0	114
8,485	178,2	200	21,8	176,1	2504	46,7	32,97	0	0,983	142,8	9,86	0	114
8,516	177,4	199,2	21,8	176,1	2504	46,5	32,97	0	0,982	141,8	9,9	0	114
8,547	177,4	199,2	21,8	176,1	2505	46,5	33,08	0	0,982	141,8	9,9	0	114
8,579	177	198,8	21,8	176,1	2505	46,3	33,08	0	0,982	141,4	9,88	0	114
8,61	177	198,8	21,8	176,1	2503	46,3	32,71	0	0,982	141,4	9,88	0	114
8,657	176,6	198,4	21,8	176,1	2503	46,3	32,71	0	0,986	141,8	9,83	0	113,7
8,688	176,6	198,4	21,8	176,1	2500	46,3	32,94	0	0,986	141,8	9,83	0	113,7
8,719	175,8	197,6	21,8	176,1	2500	46	32,94	0	0,988	141,1	9,82	0	113,7
8,751	175,8	197,6	21,8	176,1	2501	46	32,94	0	0,988	141,1	9,82	0	113,7
8,782	176,6	198,4	21,8	176,1	2501	46,2	32,94	0	0,988	141,4	9,83	0	114
8,813	176,6	198,4	21,8	176,1	2496	46,2	32,88	0	0,988	141,4	9,83	0	114
8,86	176,2	198	21,8	176,1	2496	46	32,88	0	0,99	142,2	9,82	0	114
8,891	176,2	198	21,8	176,1	2498	46	32,79	0	0,99	142,2	9,82	0	114
8,922	175,4	197,2	21,8	176,1	2498	45,8	32,79	0	0,991	141,7	9,77	0	114
8,954	175,4	197,2	21,8	176,1	2495	45,8	32,88	0	0,991	141,7	9,77	0	114
8,985	176,6	198,4	21,8	176,1	2495	46,1	32,88	0	0,991	142,7	9,8	0	114
9,016	176,6	198,4	21,8	176,1	2496	46,1	32,65	0	0,991	142,7	9,8	0	114
9,063	174,2	196	21,8	176,1	2496	45,4	32,65	0	0,993	141,1	9,77	0	114
9,079	174,2	196	21,8	176,1	2495	45,4	32,79	0	0,993	141,1	9,77	0	114
9,126	175,4	197,2	21,8	176,1	2495	45,8	32,79	0	0,993	142,2	9,77	0	114
9,157	175,4	197,2	21,8	176,1	2492	45,8	32,72	0	0,993	142,2	9,77	0	114
9,188	175	196,8	21,8	176,1	2492	45,7	32,72	0	0,992	141,7	9,77	0	112,7
9,219	175	196,8	21,8	176,1	2491	45,7	33,01	0	0,992	141,7	9,77	0	112,7
9,266	175,8	197,6	21,8	177,6	2491	45,8	33,01	0	0,989	141,3	9,77	0	113,7
9,282	175,8	197,6	21,8	177,6	2489	45,8	32,86	0	0,989	141,3	9,77	0	113,7

9,329	175,8	197,6	21,8	176,1	2489	45,8	32,86	0	0,989	141,6	9,77	0	114
9,36	175,8	197,6	21,8	176,1	2494	45,8	32,88	0	0,989	141,6	9,77	0	114
9,391	175,4	197,2	21,8	176,1	2494	45,8	32,88	0	0,988	141,3	9,8	0	114
9,422	175,4	197,2	21,8	176,1	2494	45,8	33,07	0	0,988	141,3	9,8	0	114
9,469	176,6	198,4	21,8	176,1	2494	46,1	33,07	0	0,988	142,3	9,83	0	114
9,485	176,6	198,4	21,8	176,1	2494	46,1	32,74	0	0,988	142,3	9,83	0	114
9,532	176,6	198,4	21,8	176,1	2494	46,1	32,74	0	0,991	142,7	9,77	0	114
9,563	176,6	198,4	21,8	176,1	2494	46,1	32,95	0	0,991	142,7	9,77	0	114
9,594	175,4	197,2	21,8	176,1	2494	45,7	32,95	0	0,991	141,4	9,82	0	114
9,626	175,4	197,2	21,8	176,1	2492	45,7	32,64	0	0,991	141,4	9,82	0	114
9,657	175,4	197,2	21,8	176,1	2492	45,7	32,64	0	0,991	141,8	9,77	0	114
9,688	175,4	197,2	21,8	176,1	2492	45,7	32,65	0	0,991	141,8	9,77	0	114
9,735	174,2	196	21,8	176,1	2492	45,4	32,65	0	0,993	141	9,77	0	114
9,766	174,2	196	21,8	176,1	2494	45,4	32,85	0	0,993	141	9,77	0	114
9,797	173,8	195,6	21,8	176,1	2494	45,4	32,85	0	0,993	141,1	9,77	0	114
9,829	173,8	195,6	21,8	176,1	2491	45,4	32,6	0	0,993	141,1	9,77	0	114
9,86	174,6	196,4	21,8	176,1	2491	45,5	32,6	0	0,996	141,6	9,72	0	114
9,891	174,6	196,4	21,8	176,1	2488	45,5	32,72	0	0,996	141,6	9,72	0	114
9,938	175,4	197,2	21,8	178,2	2488	45,6	32,72	0	0,998	141,5	9,71	0	114
9,969	175,4	197,2	21,8	178,2	2488	45,6	32,88	0	0,998	141,5	9,71	0	114
10,00 1	175,4	197,2	21,8	176,4	2488	45,6	32,88	0	0,998	142,2	9,75	0	114