

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Политехнический»
Факультет «Автотранспортный»
Кафедра «Автомобильный транспорт»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

_____ А.Д. Рулевский
«__» _____ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Ю.В. Рождественский
«__» _____ 2020 г.

Исследование влияния свойств бензинов на эксплуатационные характеристики
автомобиля

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
НИУ ЮУрГУ 23.04.03.2020.231.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
доцент

_____ А.А. Дойкин
«__» _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П–219

_____ М.Г. Жемерев
«__» _____ 2020 г.

Нормоконтролер
доцент

_____ А.А. Дойкин
«__» _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Жемерев М.Г. Исследование влияния свойств бензинов на эксплуатационные характеристики автомобиля – Челябинск: ЮУрГУ, АТ; 2020, – 66 с., 7 ил., 11 табл., библиогр. список – 11 наим.

В выпускной квалификационной работе были исследованы эксплуатационных показателей автомобиля при использовании бензинов с разными показателями октанового числа.

С развитием электронных систем автомобиля в современном производстве, автопроизводители все чаще предоставляют автовладельцам выбор между несколькими марками топлива. В связи с чем возникает вопрос, в чем заключается разница между эксплуатационными характеристиками и на сколько она существенна.

Целью исследования было изучение влияние свойств бензинов на эксплуатационные показатели автомобиля.

Задачей исследования стояла выявление отличия характеристик автомобиля, от свойств бензинов, путем анализа теоретических и экспериментальных данных.

В ходе исследования был произведён анализ теоретических и экспериментальных данных влияния характеристик топлива на эксплуатационные свойства автомобиля. На основе этих данных были сделаны выводы по характеру изменения ряда показателей автомобиля от выбора марки топлива и приведены рекомендации для автомобилистов.

					<i>23.04.03.2020.231.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Исследование влияния свойств бензинов на эксплуатационные характеристики автомобиля</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Жемерев М.Г.</i>				<i>В</i>	<i>4</i>	<i>66</i>
<i>Провер.</i>		<i>Жемерев М.Г.</i>				<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Реценз.</i>						<i>Кафедра АВТ</i>		
<i>Н. Конто.</i>		<i>Дойкин А.А.</i>						
<i>Утвренд</i>		<i>Рождественский ЮВ</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ.....	7
1 СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ	8
1.1 Классификация по октановому числу	9
1.2 Показатели эксплуатационных свойств автомобиля, зависящие от марки бензина	12
2 ВЛИЯНИЕ БЕНЗИНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ	14
2.1 Динамический показатель	14
2.2 Расход топлива.....	15
2.3 Детонационная стойкость.....	17
2.4 Время запуска.....	19
2.5 Угол опережения зажигания.....	20
2.6 Чистота двигателя и топливной системы.....	22
2.7 Экологические показатели автомобиля	25
2.8 Экономические затраты при эксплуатации	27
2.9 Время прогрева двигателя	28
3 РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	30
3.1 Тепловой расчет двигателя G4FA на бензине АИ–92	30
3.1.1 Тепловой расчет двигателя на АИ–92.....	30
3.1.2 Расчет процесса впуска АИ–92.....	32
3.1.3 Расчет процесса сжатия АИ–92	34
3.1.4 Расчет процесса сгорания АИ–92.....	36
3.1.5 Расчет процесса расширения АИ–92	39
3.1.6 Определение индикаторных показателей цикла АИ–92.....	40
3.1.7 Определение эффективных показателей двигателя АИ–92	41
3.2 Тепловой расчет двигателя G4FA на бензине АИ–95	43
3.2.1 Расчет процесса сгорания АИ–95	43
3.2.2 Расчет процесса расширения АИ–95	44
3.2.3 Определение индикаторных показателей цикла АИ–95.....	46

					<i>23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

3.2.4	Определение эффективных показателей двигателя АИ–95	46
4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	49
4.1	Экспериментальные способы определения октанового числа	49
4.1.1	Исследовательский метод определения октанового числа бензина ..	49
4.1.2	Моторный метод определения октанового числа бензина	50
4.1.3	Дорожный метод определения октанового числа бензина	51
4.1.4	Октанометр	53
4.2	Разработка методики испытаний	54
4.2.1	Динамометрический стенд	54
4.2.2	Испытания на топливную экономичность.....	58
4.3	Результаты испытания.....	58
4.3.1	Испытания на мощностном стенде	58
4.3.2	Дорожные испытания	59
4.4	Выводы по результатам испытаний.....	59
5	КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАРКИ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА	62
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	66

ВЕДЕНИЕ

Еще недавно при покупке автомобиля у автовладельцев не возникало вопросов каким же именно топливом заправлять их новый автомобиль. В руководстве по эксплуатации была конкретно указана марка топлива, которую следовало заливать в автомобиль для его нормальной эксплуатации. Современные автопроизводители благодаря развитию технологий и в угоду потребителю все чаще предоставляют своим покупателям выбор, какой маркой топлива заправлять автомобиль. В связи с чем перед автовладельцем встает вопрос, какую марку топлива выбрать и как это отразится на эксплуатационных характеристиках.

Целью исследования является, изучить влияние свойств бензинов на показатели эксплуатации автомобиля и составить метод, при помощи которого у автовладельцев появиться возможность легко и точно выбрать марку автомобильного бензина, исходя из его потребностей.

Объект исследования – эксплуатационные характеристики автомобиля.

Предмет исследования – изменения характеристик автомобиля по различным показателям.

Современные потребители, в том числе и автомобилисты, все чаще хотят получить максимум пользы от приобретаемого ими продукта. При чем их желания бывают довольно разными. В современном автомобиле производители стараются удовлетворить желания как можно большего круга потенциальных покупателей, для достижения успешных показателей продаж. Выбор марки топлива потенциально привлекает более широкий круг лиц, так как это дает автовладельцу возможность потенциально немного изменить характеристики своего автомобиля, не прибегая к внесением изменения в конструкцию. Но при этом производитель не указывает, что конкретно от этого меняется и на сколько, а личные ощущения автовладельца не объективны и не дают конкретных данных. Конкретных научных исследований по этой теме или четких рекомендаций специалистов не представлено в широком доступе. В исследовании мы постараемся разобраться, что изменяется и по возможности определить величину этих изменений.

					<i>23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						7
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

В начале работы постараемся разобраться, что же такое бензины и какие они имеют свойства.

Бензины – топлива, выкипающие в интервале температур 28–2150°C и предназначенные для применения в двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением. В зависимости от назначения бензины делаются на авиационные и автомобильные. Главными показателями бензина являются детонационная стойкость, давление насыщенных паров, фракционный состав, химическая стабильность и другие. Ужесточение в последние годы экологических требований к качеству нефтяных топлив ограничило содержание в бензинах ароматических углеводородов и сернистых соединений. В связи с тем, что в розничных сетях заправочных станций главным показателем является октановое число бензинов, то остановимся на нем по подробнее.

Октановое число – показатель, который характеризует детонационную стойкость топлива, применяемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания. Бензин с более высоким октановым числом может выдержать более высокую степень сжатия в цилиндрах двигателя без досрочного самовоспламенения и потому может применяться в двигателях с большими удельной мощностью и коэффициентом полезного действия. Октановое число численно равно процентному содержанию изооктана в эталонной смеси с н-гептаном, которая по детонационной стойкости в условиях стандартного одноцилиндрового двигателя эквивалента испытываемому топливу.

Повысив детонационную стойкость бензина, можно уменьшить вероятность самопроизвольного воспламенения рабочей смеси. Источниками воспламенения могут быть перегретые выпускные клапаны, свечи, кромки прокладок, тлеющие частицы нагара и так далее. Это явление, которое приводит к нарушению нормального процесса горения, называется калильное зажигание. Наиболее опасно преждевременное воспламенение, так как оно приводит к снижению мощности, энергетической эффективности, повышению риска детонации. Вероятность преждевременного воспламенения топлива зависит от склонности к образованию углеродистых отложений в камере сгорания, и свойства

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Лист

8

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

полученного нагара. При сгорании бензина, содержащего металлоорганические антидетонаторы и большое количество ароматических углеводородов, вероятность появления калильного зажигания и преждевременного воспламенения очень высока. Октановое число – важнейший показатель качества бензинов, зависящий от природы нефтепродукта, строения углеводородов, фракционного состава, химической и физической стабильности, содержания серы и другие [1].

1.1 Классификация по октановому числу

В зависимости от октанового числа по исследовательскому методу устанавливают четыре марки бензинов: «Нормаль–80», «Регуляр–92», «Премиум–95» и «Супер–98». Классификация приведена в таблице 1.1. Бензин «Нормаль–80» предназначен для грузовых автомобилей наряду с бензином АИ–80. Бензин «Регуляр–92» предназначены для эксплуатации автомобилей вместо этилированного А–93. Автомобильные бензины «Премиум–95» и «Супер–98» полностью отвечают европейским требованиям и конкурентоспособны на нефтяном рынке и предназначены как для отечественных, так и для зарубежных автомобилей, эксплуатируемых в России.

Таблица 1.1 – Классификация автомобильных бензинов по октановому числу

Метод исследования	Марки			
	"Нормаль-80"	"Регуляр-92"	"Премиум-95"	"Супер-98"
Октановое число, не менее:				
моторный метод	76,0	83,0	85,0	88,0
исследовательский	80,0	92,0	95,0	98,0

Способы повышения октанового числа бензинов. В процессе прямой перегонки нефти получается 15–20% бензина с низким октановым числом, около 60 единиц. Для повышения ОЧ применяются современные технологии переработки нефти, высокооктановые добавки и присадки. Наиболее популярным является процесс каталитического крекинга.

Каталитический крекинг — термокаталитическая переработка нефти и её фракций с целью получения бензина. Осуществляется при 450–550°С и 50–400 кПа в присутствии мелкодисперсного катализатора. Термокаталитическая переработка нефтяного сырья с целью получения продуктов меньшей молекулярной массы – компонентов высокооктановых бензинов, легкого газойля, углеводородных газов C3-C4 и других. Каталитический крекинг – один из важнейших процессов, обеспечивающих глубокую переработку нефти. Каталитический крекинг расщепляет сложные углеводороды на более простые молекулы с целью увеличения качества и количества более легких, более желанных продуктов и уменьшения остатков. Тяжелые углеводороды подвергаются действию катализаторов при высокой температуре и низком давлении, которые содействуют химическим реакциям. Этот процесс перегруппировывает молекулярную структуру, преобразуя компоненты тяжелых углеводородов в более легкие фракции, такие как керосин, бензин, сжиженный нефтяной газ, масло и исходное сырье для получения нефтепродуктов. Выбор катализатора зависит от комбинации самой большой возможной реактивности и лучшего сопротивления трению. Катализаторы, используемые в крекинге при нефтепереработке, являются обычно твердыми материалами такие как цеолит, гидросиликат алюминия, обрабатываемая бентонитная глина, земля Фуллера, боксит и алюминсиликат, которые присутствуют в форме порошков, шариков, гранул или формообразных материалов, называемых штамповками. В результате всех этих процессов повышается октановое число.

Выход высокооктанового бензина составляет примерно 50%. В процессе переработки нефти применяют риформинг.

Каталитический реформинг, каталитическая переработка бензиновых фракций, в основном прямогонных, под давлением H₂ с целью получения высокооктановых автомобильных бензинов, водородсодержащего газа, ароматических углеводородов таких как: бензол, толуол, ксилолов и водородсодержащего газа. Процесс крекинга протекает по следующей схеме: Из гексадекана C₁₆H₃₄ образуется октан C₈H₁₈, из него бутан C₄H₁₀ и далее этилен C₂H₄. Вид топлива зависит от количества углерода в молекуле. Если углерода в

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

молекуле до 4 – это газ, от 4 до 16 – жидкость, более 16 – масла, парафины, твёрдые вещества. Фракции бензинов выкипают при температуре от 40 до 200 °С и содержат углеводороды от пентана C_5H_{12} до ундекан $C_{11}H_{24}$. Фракция лигроиновая выкипает при температуре от 150 до 250 °С и содержит углеводороды от октана C_8H_{18} до тетрадекана $C_{14}H_{30}$. В прошлом столетии для повышения октанового числа бензинов применяли этиловую жидкость. Этиловая жидкость (Р–9) содержит тетраэтилсвинца $Pb(C_2H_5)_4$ 54 %, бромистого этила C_2H_5Br 40 %, хлористого нафталина 6 %. Добавка 1 см³ этиловой жидкости на 1 кг бензина повышает его октановое число, например, с 80 до 90. Наличие этиловой жидкости в бензине при его сгорании задерживает образование перекисей углеводородов, отдаляя их накопление до критической концентрации и начала взрывного сгорания или детонации. При высокой температуре и давлении молекулярный кислород внедряется в молекулу углеводорода по С–Н связи, образуя перекись с повышенной энергией и способностью самовоспламеняться и сгорать со взрывом. Этилированный бензин ядовит, по новому ГОСТ 51105-97 его использование запрещено, так как он загрязняет атмосферу, ухудшает здоровье человека, разрушает нейтрализаторы выхлопных газов. Из сказанного выше следует, что октановое число бензинов можно увеличить следующими способами:

- Внедрение современных технологий переработки нефтяных фракций такие как, крекинг-процесс и риформинг. Стойкость к окислению и самовозгоранию объясняется тем, что молекула принимает форму «круговой обороны», а именно арены или цикланы.

- Применение высокооктановых добавок, таких как изооктана, алкилбензола.

- Применение антидетонационных присадок, этиловой жидкости на основе тетраэтилсвинца, метилтретбутилового эфира и композиций на основе марганца и железа] [2].

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Лист

11

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				

1.2 Показатели эксплуатационных свойств автомобиля, зависящие от марки бензина

В теории от марки бензина меняется ряд его показателей, что связано с изменением в его составе, а именно степени его отчистки, добавления различных присадок и других методов, применяемых при создании производителем. Эти показатели в свою очередь оказывают влияния на эксплуатационные свойства автомобиля.

Примем следующие характеристики автомобиля, которые могут изменяться от применения топлив различных марок:

- Динамический показатель;
- Расход топлива;
- Детонационная стойкость;
- Время запуска;
- Угол опережения зажигания;
- Чистота двигателя и топливной системы;
- Экологические показатели автомобиля;
- Экономические затраты при эксплуатации;
- Время прогрева двигателя.

Одной из важных характеристик топлива определяющая её эффективность горения является теплота сгорания.

Теплота сгорания – это физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 1 кг топлива в кислороде. Она определяет энергию, которую сообщает топливо двигателю и выражается в джоулях или калориях ($1 \text{ ккал} = 4,1868 \text{ кДж}$).

Этот показатель во многом определяет мощностные и экономические показатели работы двигателя. Чем выше теплота сгорания, тем меньше удельный расход топлива. Теплота сгорания зависит от углеводородного состава бензинов, а для различных углеводородов она, в свою очередь, определяется соотношением углерод – водород. Чем выше это соотношение, тем ниже теплота сгорания. Наибольшей теплотой сгорания обладают парафиновые углеводороды и, соответственно, бензины прямой перегонки, наименьшей – ароматические

					<i>23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

углеводороды и содержащие их бензины каталитического риформинга. Теплота сгорания автомобильных бензинов различных марок, от АИ–80 до АИ–98, практически одинаковая, и составляет 43,5...44,5 МДж/кг. Теплота сгорания экспериментально определяется калориметрический [3].

Примем для расчета, теплота сгорания АИ–92 равна 43,5 МДж/кг, а АИ–95 равен 44,5 МДж/кг. Исходя из этого можно провести расчеты показателей двигателя.

					<i>23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

2 ВЛИЯНИЕ БЕНЗИНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

В данной главе подробнее разберем основные эксплуатационные свойства и их возможные изменения.

Эксплуатационными свойствами автомобиля называются свойства, характеризующие выполнение им транспортных и специальных работ: перевозки пассажиров, грузов и специального оборудования. Эти свойства определяют приспособленность автомобиля к условиям эксплуатации, а также эффективность и удобство его использования.

2.1 Динамический показатель

Динамические характеристики автомобиля по большей части зависят от мощности двигателя, которая в свою очередь зависит от его КПД.

Одним из факторов, влияющих на КПД двигателя является теплота сгорания топлива.

Коэффициент полезного действия – показатель эффективности действия механизма, определяемый как отношение работы, совершаемой механизмом, к работе, затраченной на его функционирование. Вычисляется по формуле:

$$n = \frac{A_1}{A_2}, \quad (2.1)$$

где A_1 – полезная работа;

A_2 – затраченная работа.

A_2 равно теплоте сгорания топлива Q . Теплоту сгорания топлива найдем по формуле:

$$Q = q \cdot m, \quad (2.2)$$

где m – масса;

q – удельная теплота сгорания топлива.

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Исходя из этого можно условно рассчитать прирост полезной работы от повышения теплоты сгорания топлива по формуле:

$$Z = \left(\frac{q^1}{q^2} - 1 \right) \cdot 100, \quad (2.3)$$

$$Z = \left[\frac{44,5}{43,5} - 1 \right] \cdot 100 = 2,3 \%$$

Следует учитывать, что величина удельной теплоты сгорания приближенных марок может отличаться, и по неподтвержденным источникам в интернете разница в показателях куда больше, как следствие и показатели могут быть разными.

2.2 Расход топлива

Основным показателем расхода топлива является удельный индикаторный расход топлива. Удельный расход топлива – отношение расхода топлива (на единицу расстояния или времени) к мощности, к тяге, к массе груза для грузовых перевозок или на одного человека при пассажирских перевозках. Используется как характеристика топливной эффективности двигателей, а также транспортных средств в грузопассажирских перевозках. Единица измерения удельного расхода топлива зависит от выбора единиц для параметров, входящих в определение [4]. Определяется по формуле:

$$g_i = \frac{3600}{n_i \cdot h_u}, \quad (2.4)$$

где n_i – индикаторный КПД;

h_u – низшая теплота сгорания топлива.

В данном случае нам необходимо рассчитать разницу между удельными расходами топлива от разницы октанового числа. Применим для расчета формулу:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

$$\Delta g_i = \left(\frac{n_2 \cdot h_2}{n_1 \cdot h_1} - 1 \right) \cdot 100, \quad (2.5)$$

где $\Delta \eta_i$ – индикаторный КПД;

Δh_u – разница низшей теплота сгорания бензина.

Рассчитаем разницу между теплотой сгорания 92 и 95 бензинов по формуле:

$$\Delta h_u = \frac{\Delta h_{98}}{\Delta h_{92}}, \quad (2.6)$$

$$\Delta h_u = \frac{44.5}{4.35} = 1,023.$$

Индикаторный расход топлива рассчитывается по формуле;

$$n_i = P_i \cdot \left(\frac{L_0}{h_u} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{\eta_v} \right) \cdot \left(\frac{1}{p_0} \right), \quad (2.7)$$

где P_i – Среднее индикаторное давление;

L_0 – Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива;

α – Коэффициент избытка воздуха;

η_v – Коэффициент наполнения;

p_0 – Давление окружающей среды.

В нашем случае изменению подвергается только теплота сгорания топлива.

$$n_1 = \frac{1}{44,5} = 0,0225;$$

$$n_2 = \frac{1}{43,5} = 0,023;$$

$$\Delta g_i = \left(\frac{0,023 \cdot 44,5}{0,0225 \cdot 43,5} - 1 \right) \cdot 100 = 4,57\% .$$

Данный расчет является достаточно простым, но позволяет нам сориентироваться в том, что повышение октанового числа снижает расход топлива.

2.3 Детонационная стойкость

Детонация – это неконтролируемое самовоспламенение части топливовоздушной смеси, сопровождающееся горением взрывного характера, когда нормальное сгорание смеси под влиянием различных факторов трансформируется в детонационное, при котором скорость распространения фронта пламени возрастает с 25–35 при нормальном сгорании, до 1500...2500 м/с при аномальном сгорании.

На возможность появления детонации топлива в двигателе автомобиля влияют самые разнообразные факторы: от свойств автомобильных бензинов до конструктивных особенностей двигателя и его эксплуатации, в том числе и внешние, атмосферные условия.

Решающим образом влияет на появление и интенсивность детонации углеводородный состав бензина. Вероятность проявления детонации обуславливается и составом горючей смеси: обогащённые горючие смеси имеют наибольшую скорость горения при наибольших давлениях и температурах, обуславливающих высокие скорости развития предпламенных реакций в нагретой сжатой топливовоздушной смеси.

Один из главных факторов появления детонации служит это степень сжатия. Её увеличение приводит к росту температуры и давления в камере сгорания двигателя. Также негативное влияние оказывают особенности конструкции двигателя. Геометрия камеры сгорания на момент, в течение которого пламя может распространиться до наиболее отдалённых зон камеры сгорания, и на охлаждении этих зон. На возникновение детонации особое влияние оказывает выпускной клапан, так как его температура может достигать до 800°C.

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

При возрастании частоты оборотов двигателя, время на сгорания смеси становится меньше, возрастает завихрение топливоздушной смеси в цилиндре и сокращается время химической подготовки части бензина, окисляющейся в последнюю очередь – всё это уменьшает возможность проявления детонации.

Нагар внутри камеры сгорания также оказывает негативное влияние на способность топлива сопротивляться детонации. Это явление происходит в связи с тем, что отложившейся нагар со временем начинает нарастать на стенках цилиндров и головке блока, постепенно сокращая объем камеры сгорания. Сокращение объема в свою очередь приводит к повышению степени сжатия, что накладывает на топливо дополнительную нагрузку.

Существенная роль угла опережения зажигания обусловлена влиянием момента зажигания на изменение температур и давлений процесса сгорания: увеличение угла опережения зажигания сдвигает точку максимального давления ближе к верхней мёртвой точке, что снижает задержку самовоспламенения последней части топливоздушной смеси и способствует детонации. Также усиливает детонацию и повышение температуры охлаждающей жидкости.

Увеличение показателя октанового числа топлива позволяет не только снизить вероятность детонации, но и дает возможность увеличить степень сжатия, как следствие повысить мощность [5].

Для того чтобы избежать детонации следует выбирать топливо исходя из степени его сжатия. Показатели соотношения степени сжатия от октанового числа представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Степень сжатия от октанового числа

Степень сжатия	Октановое число топлива
8:01	87–92
9:01	89–96
10:01	92–100
11:01	96–102
12:01	100–108

Особенностью современных двигателей является наличие ЭБУ которые определяет показатель октанового числа топлива, благодаря чему решает в какой момент поджигать топливо в цилиндре, для наиболее эффективного сгорания.

Благодаря этому возникает возможность применение различных видов топлива на автомобилях. Среднее число показателя степени сжатия на современном гражданском автомобиле составляет около 10–11 ед. Исходя из значений в таблице и представленного выбора топлива на большинстве АЗС определим для исследования такие марки топлива как АИ–92, АИ–95.

Последствия детонации

Происходящая в цилиндрах детонация оказывает на двигатель автомобиля широкий спектр негативных воздействий.

Повышенные нагрузки на весь кривошипно-шатунный механизм приводят к его скорому выходу из строя. Подвержены повышенному износу такие детали как коленвал, шатунные коренные вкладыши, клапана. Также повреждения получает и поверхность поршней. Воздействие может быть настолько сильным, что поршни покрываются множеством выщерблин и сколов, их кромки скругляются, а перемычки между маслосъемными кольцами разрушаются.

Температура двигателя существенно повышается, нарушается процесс его охлаждения, что приводит к деформации цилиндров и поршней, а в отдельных случаях даже к прогоранию головки блока цилиндров.

Масляная пленка на стенках цилиндров при контакте с взрывной волной разрушается, что дополнительно ускоряет износ элементов двигателя.

Также детонация в двигателе приводит к уменьшению его мощности и возрастанию расхода топлива.

Повышение октанового числа топлива безусловно повышает стойкость к детонации, что позволяет двигателю работать более эффективно и безопасно при повышенных нагрузках.

2.4 Время запуска

Исходя из вышесказанного ранее материала о октановом числе, можно сделать некоторые выводы о способности воспламенения бензина различных марок. Преимущество высокооктанового топлива заключается в способности избегать самовоспламенения при высоких температурах и давлении. Однако не всегда эти

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

факторы имеют место быть. При холодном запуске, особенно в зимнее время года, атмосферный воздух достаточно холодный, и детали впускного тракта, а также сам двигатель не обеспечивают его прогрев в ходе его поступления в камеру сгорания. При таких условиях, смесь топлива, подаваемая в двигатель находится ближе к минимальному порогу температуры воспламенения.

Температура воспламенения – это минимальная температура, при которой смесь паров нефтепродукта с воздухом над его поверхностью при поднесении пламени вспыхивает и не гаснет в течение определенного времени. То есть при такой концентрации паров возможно продолжение горения при избытке или постоянном доступе воздуха извне.

Исходя из этого, можно прийти к выводу, что при холодном запуске двигателя, лучше подойдет топливо с более низкими требованиями к самовоспламенению, то есть с более низким октановым числом.

2.5 Угол опережения зажигания

Угол опережения зажигания – это такой угол поворота коленчатого вала от момента зажигания искры достижения цилиндром верхней мертвой точки.

Одна из основных задач системы зажигания любого типа – обеспечение оптимального угла опережения зажигания. Оптимально поджигать смесь до подхода поршня к верхней мертвой точке в такте сжатия, чтобы после достижения поршнем ВМТ газы успели набрать максимальное давление и совершить максимальную полезную работу на такте рабочего хода.

Применение различных марок автомобильного бензина и разного количества присадок, снижающих детонацию в топливе требует корректировки угла опережения зажигания. Повышение октанового число топлива, требует больших углов опережения зажигания и наоборот. Октан-корректор позволяет двигателю изменять угол опережения зажигания под требуемый показатель.

Октан-корректор. На появление детонационного сгорания рабочей смеси в двигателе влияет угол опережения зажигания. В процессе эксплуатации возникает необходимость применения топлива с различным октановым числом, поэтому необходимо корректировать угол опережения зажигания. Для регулирования угла

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		20

опережения зажигания в зависимости от октанового числа топлива применяют октан-корректор, который состоит из двух пластин, одна из них крепится к корпусу прерывателя-распределителя, а другая – к блоку цилиндров [6]. Октан-корректор представлен на рисунке 2.1.

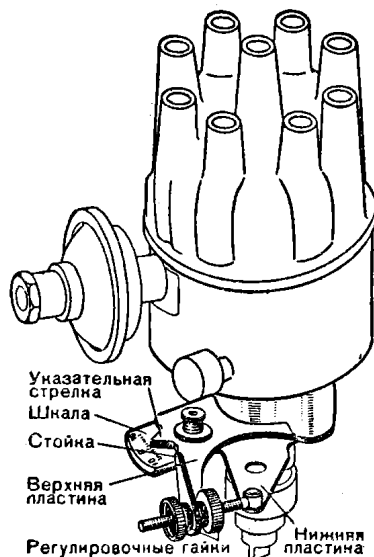


Рисунок 2.1 – Октан-корректор

Данный вид коррекции угла опережения зажигания применяется на системах контактного зажигания. Данная система по сегодняшним меркам является достаточно устарелой, и почти не применяется в производстве современных автомобилей. Высокое напряжения и распределение его по цилиндрам в данной системе происходит с помощью контактов.

Также существует электронная система зажигания. Электронной называется система зажигания, в которой создание и распределение тока высокого напряжения по цилиндрам двигателя осуществляется с помощью электронных устройств. Система имеет другое название – микропроцессорная система зажигания.

В случае электронного зажигания роль октан – корректора играет ЭБУ, подчиняясь заданным алгоритмам работы. При изменении скорости вращения коленчатого вала двигателя датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя и датчик положения распределительного вала подают сигналы в электронный

блок управления, который в свою очередь осуществляет необходимое изменение угла опережения зажигания.

Когда нагрузка на двигатель возрастает изменение угла опережения зажигания управляется за счет показателей датчика массового расхода воздуха. А также необходимые данные о показателях процесса воспламенения и сгорания в камере двигателя поступают с датчик детонации. Электронный блок также фиксирует информацию и с других датчик и при необходимости опирается и на них.

При заправке бензина с низким октановым числом, при разгоне начинаются детонационные вспышки, что вызывает сигналы с датчика детонации. Блок управления мгновенно переводит силовой агрегат в щадящий режим. Изменяется угол опережения зажигания и корректируются фазы газораспределения, чтобы оптимизировать процесс сгорания смеси. Что приводит к снижению мощности.

Корректировки также во много зависят от заданной программы электронного блока управления, но в среднем отмечается, что один градус опережения зажигания дает коррекцию в мощности в среднем на 3–5%.

2.6 Чистота двигателя и топливной системы

Как мы уже выяснили раньше, повышение октанового числа после процессов нефтепереработки получают преимущественно благодаря применению различных антидетонационных присадок. Логично предположить, что чем выше октановое число бензина, тем больше концентрация данных присадок в топливе. Присадки бывают различными и оказывают некоторое влияние на работу автомобиля. Часть из них оказывают довольно сильное пагубное влияние на автомобиль и человека, и не рекомендуются к использованию. Другие хоть и имеют недостатки на их применение допускается. Разберем некоторые из них.

Нерекомендованные:

Тетраэтилсвинец $Pb(CH_3CH_2)_4$ – ядовитое металлоорганическое соединение. Применялось в основном как антидетонирующая присадка к моторному топливу, повышающая его октановое число.

Плюсы:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		22

Снижает дымность, шумность, повышает мощность. Способен подавить детонацию в двигателе и даже повысить детонационную стойкость керосина.

Минусы:

Сильнейший яд для человека: в двигателе переходит в парообразное состояние и через верхние дыхательные пути проникает в организм. Поражает нервную систему, вызывая отравления, вплоть до инвалидности и смерти.

Нафталин $C_{10}H_8$ – твёрдое кристаллическое вещество с характерным запахом, в воде не растворяется, хорошо растворяется в бензоле, эфире.

Плюсы:

Добавление 500 г нафталина на 10 л бензина приводит к повышению октанового числа бензина на 3–4 единицы. В результате чего 92ой бензин становится 95ым.

Минусы:

Сильнейший яд для человека: в двигателе переходит в парообразное состояние и через верхние дыхательные пути проникает в организм. Поражает нервную систему, вызывая отравления, вплоть до инвалидности и смерти.

Спирт – спирты являются обширным и очень разнообразным классом органических соединений: они широко распространены в природе, имеют важнейшее промышленное значение и обладают исключительными химическими свойствами.

Плюсы:

При добавлении 5–20% спирта в бензин октановое число растёт на 3–8 единиц, при этом улучшается процесс сгорания, возрастают мощность и КПД двигателя.

Минусы:

Оказывает серьёзное разъедающее действие на прокладки в двигателе. При передозировке компоненты топлива не смешиваются в цилиндре и октановое число падает: возникает детонация, стук клапанов.

Ацетон – хорошо растворяет многие органические вещества такие как, ацетилцеллюлозу и нитроцеллюлозу, жиры, воск, резину и другие, а также ряд солей таких как хлорид кальция, иодид калия.

Плюсы:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

В небольших количествах допустим для повышения октанового числа.

Минусы:

Его часто добавляют прямо на заводах. Если повысить концентрацию, получается многократное превышение допустимых норм – образуются вредные вещества. Также быстро понижается октановое число.

Марганец – это четырнадцатый элемент по распространённости на Земле, а после железа – второй тяжёлый металл, содержащийся в земной коре.

Плюсы:

Увеличивает октановое число на 3–6 единиц.

Минусы:

Выводит из строя нейтрализаторы и свечи: падает мощность, из выхлопной трубы идет сизый дым.

Ферроцен — одно из наиболее известных металлоорганических соединений, представитель класса сэндвичевых соединений.

Плюсы:

Повышает октановое число на 4–5 единиц.

Минусы:

При использовании ферроцена на свечах и в цилиндрах образуется красный нагар: срок службы двигателя сильно снижается.

Бензол, толуол, метилбензол C_7H_8 – бесцветная жидкость с характерным запахом, простейший алкиларен.

Плюсы:

Повышает октановое число на 10%.

Минусы:

Является сильным растворителем, который уничтожает практически все эластичные детали мотора и приводит к активной коррозии.

Условно рекомендованные:

Метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) – химическое вещество с химической формулой $CH_3-O-C(CH_3)_3$, один из важнейших представителей простых эфиров.

Плюсы:

								23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата					24

Благодаря высокому собственному октановому числу, который выше 110 единиц, полезен для двигателя: содержащийся в нем кислород обеспечивает полноту сгорания и тем самым снижает выбросы CO и CH.

Минусы:

Повышенное содержание МТБЭ, которое превышает 15%, ведет к падению мощности и росту выбросов окислов азота (NO_x). Кроме того, бензин с повышенной концентрацией МТБЭ агрессивен к уплотнениям топливной системы и ускоряет процесс коррозии.

Монометиланилин – формально является производным аммиака, в котором атомы водорода замещены на фенильный и два метильных радикала.

Плюсы:

В малой концентрации, до 1,3% безвреден для мотора, снижает детонацию.

Минусы:

При превышении содержания в двигателе образовывается нагар, что может привести к «зависанию» клапанов. К тому же он относится к категории ядов: при вдыхании паров человеку грозит серьезное отравление.

Из вышеприведённого можно сделать вывод, что повышение концентрации присадок, хоть и приводит к повышению детонационной стойкости, но и с большой долей вероятности повышает риск других пагубных воздействий на двигатель и топливную систему. В связи с этим, более привлекательным в данном случае является бензин с более низким октановым числом, так как в нем меньше присадок [7].

2.7 Экологические показатели автомобиля

Все углеводородные топлива, как известно, в большей или в меньшей степени являются экологически опасными. Наибольшей экологической опасностью обладают жидкие ракетные топлива, а наименьшей – угли. Экологическая опасность углеводородных топлив обусловлена выделением из них токсичных и ядовитых химических веществ, соединений и элементов, являющихся опасными загрязнителями окружающей среды.

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Экологически опасные компоненты выделяются из топлива при хранении, транспортировке и перекачке. На этих этапах использования горючего, кроме газообразных углеводородов, например, этана и метана, топливные загрязнители могут быть представлены самим топливом, загрязненными углеводородами водами, топливным отстоем, угольной пылью и другими. Эти загрязнители попадают в окружающую среду в результате утечек, протечек, разливов, аварий и так далее.

В процессе непосредственного сжигания топлива формируются новые экологически опасные газообразные, жидкие и твердые загрязнители, представляющие собой производные химических элементов, соединений и веществ, содержащихся как в составе исходного топлива, так и в составе атмосферного воздуха, поступающего на горение. Химические элементы, соединения и вещества топлива и воздуха взаимодействуют между собой и, пройдя определенные термические превращения, выбрасываются в составе продуктов сгорания в окружающую среду.

Экологическую чистоту оценивают по содержанию отдельных примесей и минеральных включений углеводородного топлива, отраженное их численными значениями в действующих нормативных документах, не может полностью характеризовать экологическую чистоту топлива. Однако для предварительной оценки экологической чистоты топлива можно использовать численные значения показателей химических элементов, содержащихся в горючей части топлива. Если топливо имеет большее содержание водорода (H_2) или в составе его горючей части присутствует связанный кислород (O_2), например, как у биологического топлива, то это горючее является более экологически чистым. Объективная же оценка экологической чистоты того или иного вида топлива может быть проведена только по результатам качественного и количественного анализов выхлопных газов в процессе его сжигания, а также анализа зольной части горючего после его сжигания. По своей значимости первостепенными являются, безусловно, результаты анализов дымовых, выхлопных и прочих газов, образующихся при сгорании топлива, поскольку именно они оказывают

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		26

наибольшее негативное воздействие на окружающую природную среду и поражают значительные территории.

Очевидно, что для объективной оценки такого важного свойства топлива, как экологическая чистота, необходимо выбрать критерий, то есть правило, по которому этот показатель изменяется. Данный критерий должен представлять собой аддитивную свертку наиболее экологически опасных компонентов, например, CO, CO₂, H₂S, NO_x, N₂, S₂, S_xO_y, C_xH_y, сажа и т.д., количественное ранжирование которых в продуктах сгорания того или иного топлива может отражаться численным значением коэффициента значимости, соответствующего доле каждого компонента в составе дымовых газов. Представленный критерий является объективным, поскольку через качество протекания цепной реакции горения количественно отражает механизм формирования вредных выбросов. Численное значение показателя экологической чистоты топлива должно находиться в пределах от 0 до 1 при этом топливо является экологически чистым при показателе, близком к 0, а экологически опасным, соответственно, к 1.

Для точного анализа разницы экологичности разных марок топлива, необходимо произвести замеры выхлопных газов на величину основных показателей. Но исходя из представленных данных в пункте выше, можно сделать следующее предположение. При повышении концентрации антидетонационных присадок, продукты сгорания которых зачастую являются вредными для человека, повышается и величина загрязнения окружающей среды [8].

2.8 Экономические затраты при эксплуатации

Экономические затраты на автомобиль включают в себя множество показателей, одним из ключевых из них конечно является расход топлива. Но помимо самого расхода, важным фактором является также и цена на это самое топливо. На основании данных сайта <http://www.benzin-cena.ru> проанализируем средние цены на бензин. Исходя из анализа рассчитаем разницу между ценами на топливо. Данные на 29 мая 2020 представлены в таблице 2.2.

						23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			27

Таблица 2.2 – Цены на бензин

Город	АИ-92	АИ-95	АИ-98
Челябинск	41,77	45,75	49,97
Уфа	41,77	45,75	49,97
Тюмень	41,77	45,75	49,97
Тольятти	41,77	45,75	49,97
Саратов	41,77	45,75	49,97
Санкт-Петербург	41,77	45,75	49,97
Самара	41,77	45,75	49,87
Ростов-на-Дону	41,77	45,75	49,97
Пермь	41,77	45,75	49,97
Омск	41,77	45,75	49,97
Новосибирск	41,77	45,75	49,97
Нижний Новгород	41,77	45,75	49,97
Москва	41,77	45,75	50,03
Красноярск	41,77	45,75	49,97
Краснодар	41,77	45,75	49,97
Казань	41,77	45,75	50,06
Ижевск	41,77	45,75	49,97
Екатеринбург	41,77	45,75	49,97
Воронеж	41,77	45,75	49,97
Волгоград	41,77	45,75	49,97
Ср. значение	41,77	45,75	49,97
% от АИ-92		9,5	19,6

Исходя из расчетов на топливную экономичность проведенных выше, разница в индикаторном расходе топлива между бензинами различных марок составляет 4,57 %. Данные приведенные в таблице выше указывают на разницу в стоимости между самым бюджетным и самым дорогим бензином, из выбранных нами для исследования, в 19,6%. Основываясь на этих данных, можно сделать предварительный вывод, что топливная экономичность применения бензинов с более высоким октановым числом, с экономической точки зрения не оправдана, в связи с их более высокой ценой.

2.9 Время прогрева двигателя

На сегодняшний день существует различные мнения о том стоит ли прогревать двигатель или нет. На автомобилях прошлой эпохи крайне не рекомендовалось начинать движения до того момента, пока температура масла в двигателе не начнет приближаться к рабочим температурам. Эти действия обусловлены тем, что раньше качества смазочных материалов было значительно ниже, и при

3 РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для более точной оценки показателей ДВС произведем тепловой расчет двигателя G4FA при различных показателях теплоте сгорания топлива и угле опережения зажигания, тем самым определим его основные эффективные показатели и проведем сравнение.

3.1 Тепловой расчет двигателя G4FA на бензине АИ-92

Тепловой расчет на ЭВМ.

Анализ основных параметров двигателя G4FA.

Обозначение G4FA.

Тип двигателя – с внутренним смесеобразованием.

Расположение и число цилиндров – рядный четырехцилиндровый.

Эффективная мощность $n_e = 79$ кВт.

Номинальная частота вращения коленчатого вала $n = 6500$ мин⁻¹.

Рабочий объем $V_h = 1,396$ л.

Степень сжатия $\varepsilon = 10,5$.

Удельный эффективный расход топлива $g_e = 198$ гр/кВт·ч.

3.1.1 Тепловой расчет двигателя на АИ-92

Выполнение расчета производим применительно к эксплуатации двигателя в нормальных атмосферных условиях: давление окружающей среды (p_0) = 0,1013 МПа, температура окружающей среды (T_0) = 293 К.

Давление перед впускными клапанами (P_k), учитывая небольшие потери во впускной трассе, для без наддувного двигателя принимаем равным атмосферному $p_k = p_0 = 0,1013$ МПа.

Температура свежего заряда перед впускными клапанами также принимаем равной температуре окружающей среды $T_k = T_0 = 293$ К.

Степень сжатия ε принимаем исходя из прототипа двигателя, $\varepsilon = 10,5$.

Коэффициент наполнения, принимаем $\eta_v = 0,85$.

						23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			30

Для четырёхтактных двигателей, давление остаточных газов принимаем $p_r = 0,11$ МПа.

Температура остаточных газов, при номинальном режиме работы четырёхтактного бензинового двигателя принимаем $T_r = 800\text{K}$.

Степень подогрева свежего заряда от нагретых деталей двигателя зависит от типа двигателя и скоростного режима. Учитывая частоту вращения коленчатого вала 6300 мин^{-1} , принимаем $\Delta T = 7$ градусов.

Массовые доли углерода, водорода и кислорода в бензине полагаем равными соответственно: $C = 0,855$; $H = 0,145$; $O = 0$.

Коэффициент избытка воздуха α , для достижения максимальной мощности выбирается в пределах $\alpha = 0,85 \dots 0,95$.

Расчет выполняем применительно при условиях близких к номинальному режиму, поэтому принимаем $\alpha = 0,9$.

Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна $\lambda = R/L_{ш}$ следует выбрать, учитывая данные по двигателю прототипа $\lambda = 0,33$.

Средний показатель политропы сжатия выберем равным $n_1 = 1,374$.

Для принятого элементарного химического состава бензина полагаем низшую теплотворную способность H_u равной $43,5$ МДж/кг.

Характер сгорания в бензиновом двигателе находится в пределах $m = 3 \dots 4$, примем $m = 3$.

Условная продолжительность сгорания φ_z в бензиновых двигателях находится в пределах $\varphi_z = 40 \dots 60$ град. ПКВ. Примем, $\varphi_z = 45$ град. ПКВ.

Средний показатель политропы расширения n_2 принимаем равным $n_2 = 1,35$.

Коэффициент использования теплоты ψ . Принимаем равным $\psi = 0,87$.

Понижение температуры в охладителе надувочного воздуха $\Delta T_{охл}$. примем $\Delta T_{охл} = 0$, в следствии его отсутствия.

Показатель политропы сжатия воздуха примем $n_H = 1$, в следствии отсутствия компрессора.

Угол опережения зажигания Θ рассчитаем по формуле:

$$\Theta = 0,25 \cdot (0,35 + m)^{0,587} \cdot \varphi_z, \quad (3.1)$$

$$\Theta = 0,25 \cdot (0,35 + 3)^{0,587} \cdot 45 = 22,9 \text{ (град ПКВ)}.$$

Расчета процесса сгорания с шагом $\Delta\varphi = 5$ град ПКВ.

Расчета процессов сжатия и расширения с шагом $\Delta\varphi = 10$ град ПКВ.

3.1.2 Расчет процесса впуска АИ-92

Расход воздуха найдем по формуле:

$$G_B = \alpha \cdot G_T \cdot L_0', \quad (3.2)$$

$$G_B = 0,9 \cdot 15,64 \cdot 13,65 = 192,2 \text{ (кг воздуха/час)}.$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива найдем по формуле:

$$L_0' = \frac{\frac{8}{3}C + 8H - O}{0,252}, \quad (3.3)$$

$$L_0' = \frac{\frac{8}{3} \cdot 0,86 + 8 \cdot 0,145 - 0}{0,252} = 13,65 \text{ (кг воздуха/кг топлива)}.$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива в киломолях найдем по формуле:

$$L_0 = \frac{(C/12 + H/4 - O/32)}{0,21}, \quad (3.4)$$

$$L_0 = \frac{(0,86/12 + 0,13/4 - 0,01/32)}{0,21} = 0,385 \text{ (кг моль возд/кг топлива)}.$$

Массовый часовой расход топлива найдем по формуле:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$G_T = N_{\epsilon} \cdot g_{\epsilon}, \quad (3.5)$$

$$G_T = 79 \cdot 0,198 = 15,64 \text{ (кг/ч)}.$$

Расход воздуха за цикл найдем по формуле:

$$G = \frac{G_B}{i \cdot j_{\text{ц}}}, \quad (3.6)$$

$$G = \frac{192,2}{4 \cdot 189000} = 0,00025 \text{ (кг возд/цикл)}.$$

Количество циклов в час определим по формуле:

$$j_{\text{ц}} = \frac{2n}{\tau} \cdot 60, \quad (3.7)$$

$$j_{\text{ц}} = \frac{2 \cdot 6500}{4} \cdot 60 = 195000.$$

Давление перед впускными клапанами:

$$p_{\text{к}} = p_0 = 0,1013 \text{ МПа};$$

$T_{\text{к}} = T'_{\text{к}} - \Delta T_{\text{охл}} = 293 \text{ К}$ – температура РТ перед впускными клапанами;

$$\Delta T_{\text{охл}} = 0.$$

Давление рабочего тела в конце впуска определим по формуле:

$$p_a = \frac{1}{\epsilon} \cdot \left[(\epsilon - 1) \cdot \eta_v \cdot p_{\text{к}} \cdot \frac{T_{\text{к}} + \Delta T}{T_{\text{к}}} + p_r \right], \quad (3.8)$$

$$p_a = \frac{1}{10,5} \cdot \left[(10,5 - 1) \cdot 0,85 \cdot 0,1013 \cdot \frac{293 + 7}{293} + 0,11 \right] = 0,09 \text{ (МПа)}.$$

Коэффициент остаточных газов определим по формуле:

$$\gamma = \frac{p_r \cdot T_{\text{к}}}{(\epsilon - 1) \cdot \eta_v \cdot p_{\text{к}} \cdot T_r}, \quad (3.9)$$

$$\gamma = \frac{0,11 \cdot 293}{(10,5 - 1) \cdot 0,85 \cdot 0,1013 \cdot 800} = 0,049.$$

Температуру рабочего тела в конце впуска определим по формуле:

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma \cdot T_r}{1 + \gamma}, \quad (3.10)$$

$$T_a = \frac{293 + 7 + 0,049 \cdot 800}{1 + 0,049} = 323,36 \text{ (К)}.$$

Удельный объем РТ в конце впуска, для бензина определим по формуле:

$$v_a = \frac{0,008314 \cdot \frac{\alpha \cdot L_0^i}{\mu} \cdot T_a}{(1 + \alpha \cdot L_0^i) \cdot p_a}, \quad (3.11)$$

$$v_a = \frac{0,008314 \cdot \frac{0,9 \cdot 13,36}{28,95} \cdot 323,36}{(1 + 0,95 \cdot 13,65) \cdot 0,09} = 0,954 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right),$$

где $\mu_g = 28,95$ – кажущаяся молекулярная масса воздуха.

3.1.3 Расчет процесса сжатия АИ–92

Определим текущее значение удельного объёма по формуле:

$$v = (v_a / \varepsilon) \left(1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \sigma \right) = 0,093 \text{ (м}^3/\text{кг)}, \quad (3.12)$$

где $\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \alpha + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right)$. σ – кинематическая функция перемещения поршня, значения этой функции определяются по таблице, в зависимости от угла опережения воспламенения и отношения λ ($\sigma_y = 0,0193$).

Определим текущее давление по формуле:

											Лист
											34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

$$p = p_a \cdot \left(\frac{v_a}{v} \right)^{n_1} . \quad (3.13)$$

Определим текущую температуру по формуле:

$$T = T_a \cdot \left(\frac{v_a}{v} \right)^{n_1-1} . \quad (3.14)$$

Показатели процесса сжатия приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Процесс сжатия

α	σ	v	p	T
180	2,0000	0,954	0,090	323,4
190	1,9898	0,950	0,091	323,9
200	1,9591	0,936	0,092	325,6
210	1,9076	0,914	0,095	328,6
220	1,8350	0,883	0,100	332,9
230	1,7412	0,842	0,107	338,8
240	1,6264	0,793	0,116	346,5
250	1,4914	0,735	0,129	356,6
260	1,3381	0,668	0,147	369,4
270	1,1698	0,596	0,172	385,6
280	0,9908	0,518	0,208	406,2
290	0,8074	0,439	0,261	432,2
300	0,6264	0,361	0,342	465,0
310	0,4556	0,287	0,468	506,4
320	0,3029	0,222	0,669	558,2
330	0,1755	0,167	0,990	621,1
340	0,0797	0,125	1,465	691,0
350	0,0202	0,100	2,008	752,9

Давление конца сжатия определим по формуле:

$$p_y = p_a \cdot \left(\frac{v_a}{v_y} \right)^{n_1} , \quad (3.15)$$

$$p_y = 0,09 \cdot \left(\frac{0,954}{0,1} \right)^{1,374} = 2 \text{ (МПа)}.$$

Температуру конца сжатия определим по формуле:

$$T_y = T_a \cdot \left(\frac{v_a}{v_y} \right)^{n_1 - 1}, \quad (3.16)$$

$$T_y = 323,36 \cdot \left(\frac{0,954}{0,1} \right)^{1,374 - 1} = 752,9 \text{ (К)}.$$

Удельную работу политропного процесса сжатия определим по формуле:

$$l_{ay} = \frac{p_a \cdot v_a - p_y \cdot v_y}{n_1 - 1}, \quad (3.17)$$

$$l_{ay} = \frac{0,09 \cdot 0,954 - 2 \cdot 0,1}{1,374 - 1} = -0,305 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

3.1.4 Расчет процесса сгорания АИ–92

Общая удельная использованная теплота сгорания определяется по формуле:

$$q_z = \frac{\xi \cdot H_u}{(1 + \gamma) \cdot (\alpha \cdot L'_0 + 1)}, \quad (3.18)$$

$$q_z = \frac{0,784 \cdot 43,5}{(1 + 0,049) \cdot (0,9 \cdot 13,65 + 1)} = 2,45 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения при $\alpha \geq 1$, определим по формуле:

						23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
							36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

$$\beta_{0\max} = 1 + \frac{\frac{H}{4} + \frac{O}{32} + 0,21 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0 - \frac{1}{\mu_T}}{\alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_T}}, \quad (3.19)$$

$$\beta_{0\max} = 1 + \frac{\frac{0,145}{4} + \frac{0}{32} + 0,21 \cdot (1 - 0,9) \cdot 0,385 - \frac{1}{114}}{0,9 \cdot 0,385 + \frac{1}{114}} = 1,1.$$

Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения, определим по формуле:

$$\beta_{\max} = \frac{\beta_{0\max} + \gamma}{1 + \gamma}, \quad (3.20)$$

$$\beta_{\max} = \frac{1,1 + 0,049}{1 + 0,049} = 1,09.$$

Фактор теплоемкости определим по формуле:

$$K = \frac{k + 1}{k - 1}, \quad (3.21)$$

$$K = \frac{1,29 + 1}{1,29 - 1} = 7,9,$$

где k – отношение теплоемкостей рабочего тела, равное $k = \frac{C_p}{C_v} = 1,28 \dots 1,30$.

Доля выгоревшего топлива:

$x_1 = 0$ – в конце первого участка;

Долю выгоревшего топлива в конце второго участка определим по формуле:

$$x_2 = 1 - e^{C(\varphi/\varphi_2)^{m+1}}, \quad (3.22)$$

$$x_2 = 1 - e^{6(5/45)^{0,3+1}} = 0,327.$$

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Давление сгорания в конце первого участка определим по формуле:

$$P_2 = \frac{2 \cdot q_z(x_2 - x_1) + P_1 \cdot (K \cdot v_1 - v_2)}{K \cdot v_2 - v_1} \quad (3.23)$$

Температуру рабочего тела в конце участка определим по формуле:

$$T_2 = \frac{T_y}{p_y \cdot v_y} \cdot \frac{p_2 \cdot v_2}{\beta_{1-2}} \quad (3.24)$$

Средний показатель действительного коэффициента молекулярного изменения определим по формулам:

$$\beta_{1-2} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}, \quad (3.25)$$

$$\beta_{1-2} = \frac{1 + 1,0891}{2} = 1,0445;$$

$$\beta_2 = 1 + (\beta_{\max} - 1) \cdot x_2, \quad (3.26)$$

$$\beta_2 = 1 + (1,09 - 1) \cdot 0,99 = 1,0891.$$

Показатели процесса сгорания приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Процесс сгорания АИ–92

φ	α	V ₂	V ₁	X ₂	P ₂	β ₁	β ₂	β ₁₋₂	L y-z	δ	T ₂
0	350	0,1	-	0		1	-	0,5	-	0,0202	0
5	355	0,093	0,1	0,001	2,199	1	1	1	-0,014	0,0051	770,669
10	360	0,091	0,093	0,017	2,39	1,001	1	1,001	-0,005	0	817,26
15	365	0,093	0,091	0,082	2,812	1,007	1,001	1,004	0,005	0,0051	980,834
20	370	0,1	0,093	0,236	3,665	1,021	1,007	1,014	0,019	0,0202	1355
25	375	0,11	0,1	0,481	4,768	1,043	1,021	1,032	0,038	0,0451	1919,3
30	380	0,125	0,11	0,743	5,511	1,067	1,043	1,055	0,057	0,0797	2463,49
35	385	0,144	0,125	0,92	5,451	1,083	1,067	1,075	0,072	0,1233	2751,69
40	390	0,167	0,144	0,986	4,798	1,089	1,083	1,086	0,079	0,1755	2772,6
45	395	0,193	0,167	0,999	4,025	1,09	1,089	1,089	0,081	0,2356	2679,63
50	400	0,222	0,193	1	3,361	1,09	1,09	1,09	0,081	0,3029	2573,16

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Лист

38

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Удельную работу газов в процессе сгорания определим по формуле:

$$l_{yz} = \sum_1^n \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot (v_2 - v_1), \quad (3.27)$$

$$l_{yz} = 0,413 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

3.1.5 Расчет процесса расширения АИ–92

Определим текущее значение удельного объёма по формуле:

$$v = \frac{v_a}{\varepsilon} \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \sigma \right). \quad (3.28)$$

Определим текущее давление по формуле:

$$p = p_z \cdot \left(\frac{v_z}{v} \right)^{n_2}. \quad (3.29)$$

Определим текущую температуру по формуле:

$$T = T_z \cdot \left(\frac{v_z}{v} \right)^{n_2 - 1}. \quad (3.30)$$

Давление рабочего тела в конце расширения определим по формуле:

$$p_e = p_z \cdot \left(\frac{v_z}{v_a} \right)^{n_2}, \quad (3.31)$$

$$p_e = 3,361 \cdot \left(\frac{0,193}{0,954} \right)^{1,35} = 0,389. \text{ (МПа).}$$

Температуру рабочего тела в конце расширения определим по формуле:

									Лист
									39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

$$T_B = T_z \cdot \left(\frac{v_z}{v_a} \right)^{n_2-1}, \quad (3.32)$$

$$T_B = 2573,16 \cdot \left(\frac{0,193}{0,954} \right)^{0,35} = 1470,86 \text{ (К)}.$$

Показатели процесса расширения приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Процесс расширения АИ–92

α	σ	v	p	T
400	0,3029	0,222	3,361	2573,2
410	0,4556	0,287	2,365	2349
420	0,6264	0,361	1,738	2168,7
430	0,8074	0,439	1,334	2025,1
440	0,9908	0,518	1,067	1911
450	1,1698	0,596	0,884	1820,3
460	1,3381	0,668	0,757	1748,5
470	1,4914	0,735	0,667	1691,6
480	1,6264	0,793	0,601	1647,1
490	1,7412	0,842	0,554	1612,5
500	1,835	0,883	0,52	1586,2
510	1,9076	0,914	0,496	1567
520	1,9591	0,936	0,48	1553,8
530	1,9898	0,95	0,471	1546,2
540	2	0,954	0,468	1543,7

Удельную работу в процессе политропного расширения определим по формуле:

$$l_{zg} = \frac{p_z v_z - p_B v_A}{n_2 - 1}, \quad (3.33)$$

$$l_{zg} = \frac{3.361 \cdot 0.222 - 0.389 \cdot 0.954}{1.35 - 1} = 1,07 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

3.1.6 Определение индикаторных показателей цикла АИ–92

Удельную работу цикла вычислим по формуле:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$l_i = l_{ay} + l_{yz} + l_{z\theta}, \quad (3.34)$$

$$l_i = -0,305 + 0,413 + 1,07 = 1,178 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Среднее индикаторное давление определим по формуле:

$$p_i = \frac{\varepsilon \cdot l_i}{(\varepsilon - 1) \cdot v_a}, \quad (3.35)$$

$$p_i = \frac{10,5 \cdot 1,0178}{(10,5 - 1) \cdot 0,954} = 1,36 \text{ (МПа)}.$$

Индикаторный КПД определим по формуле:

$$\eta_i = \frac{\xi \cdot l_i}{q_z}, \quad (3.36)$$

$$\eta_i = \frac{0,784 \cdot 1,178}{2,45} = 0,38.$$

Индикаторный удельный расход топлива определим по формуле:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i}, \quad (3.37)$$

$$g_i = \frac{3600}{43,5 \cdot 0,38} = 217 \left(\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right).$$

3.1.7 Определение эффективных показателей двигателя АИ-92

Среднее давление механических потерь определим по формуле:

$$p_m = a + b \cdot C_n, \quad (3.38)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, $a = 0,05$; $b = 0,0155$.

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

C_n – средняя скорость поршня определяется по формуле:

$$C_n = \frac{S \cdot n}{30}, \quad (3.39)$$

где S – ход поршня, для G4FA, $S=75$ мм;

n – заданная частота вращения коленчатого вала, $n=6500$ мин⁻¹.

$$C_n = \frac{0,075 \cdot 6500}{30} = 16,25 \text{ (м/с)};$$

$$p_m = 0,05 + 0,0155 \cdot 16,25 = 0,3 \text{ (МПа)}.$$

Среднее эффективное давление цикла определим по формуле:

$$p_e = p_i - p_m, \quad (3.40)$$

$$p_e = 1,36 - 0,3 = 1,06 \text{ (МПа)}.$$

Эффективную мощность двигателя определим по формуле:

$$Ne = \frac{p_e \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot \tau}, \quad (3.41)$$

где i – число цилиндров двигателя, для G4FA, $i = 4$;

V_h – рабочий объём 1-го цилиндра, для G4FA, $V_h = 0,349$ л;

τ – тактность двигателя, для G4FA, $\tau = 4$.

$$Ne = \frac{1,06 \cdot 0,349 \cdot 4 \cdot 6500}{30 \cdot 4} = 80,15 \text{ (кВт)}.$$

Эффективный удельный расход топлива определим по формуле:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e}, \quad (3.42)$$

$$g_e = \frac{3600}{43,5 \cdot 0,3} = 275,8 \left(\frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right).$$

Эффективный КПД определим по формуле:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = \eta_i \cdot \frac{P_e}{P_i}, \quad (3.43)$$

$$\eta_e = 0,38 \cdot \frac{1,07}{1,36} = 0,3.$$

3.2 Тепловой расчет двигателя G4FA на бензине АИ–95

Процессы впуска и сжатия идентичны расчетам на АИ–92, поэтому расчеты начнем с процесса сгорания.

3.2.1 Расчет процесса сгорания АИ–95

Общую удельную использованную теплоту сгорания рассчитаем по формуле:

$$q_z = \frac{0,784 \cdot 44,5}{(1 + 0,049) \cdot (0,9 \cdot 13,65 + 1)} = 2,5 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения остается прежним:

$$\beta_{0\max} = 1,1.$$

Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения и фактор теплоемкости остаются прежними:

$$\beta_{\max} = 1,09;$$

										Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

$$K = 7,9.$$

Долю выгоревшего топлива в конце второго участка определим по формуле:

$$x_2 = 1 - e^{-6,908(5/50)^{0,3+1}} = 0,293.$$

Средний показатель действительного коэффициента молекулярного изменения определим по формулам:

$$\beta_{1-2} = \frac{1 + 1,0891}{2} = 1,0445;$$

$$\beta_2 = 1 + (1,09 - 1) \cdot 0,99 = 1,0891.$$

Показатели процесса сгорания приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Процесс сгорания АИ–95

ϕ	α	V_2	V_1	X_2	P_2	β_1	β_2	β_{1-2}	L_{y-z}	δ	T_2
0	350	0,1	-	0		1		0,5		0,0202	0
5	355	0,093	0,1	0,292	4,488	1,026	1	1,013	-0,022	0,0051	1552,26
10	360	0,091	0,093	0,573	6,874	1,052	1,026	1,039	-0,01	0	2264,02
15	365	0,093	0,091	0,763	8,145	1,069	1,052	1,06	0,011	0,0051	2692,2
20	370	0,1	0,093	0,877	8,282	1,079	1,069	1,074	0,034	0,0202	2892,24
25	375	0,11	0,1	0,939	7,657	1,085	1,079	1,082	0,053	0,0451	2941,7
30	380	0,125	0,11	0,971	6,685	1,087	1,085	1,086	0,066	0,0797	2903,52
35	385	0,144	0,125	0,987	5,656	1,089	1,087	1,088	0,074	0,1233	2820,62
40	390	0,167	0,144	0,994	4,72	1,089	1,089	1,089	0,078	0,1755	2719,23
45	395	0,193	0,167	0,998	3,928	1,09	1,089	1,09	0,08	0,2356	2613,95
50	400	0,222	0,193	0,999	3,281	1,09	1,09	1,09	0,08	0,3029	2512,21

Удельную работу газов в процессе сгорания определим по формуле:

$$l_{yc} = 0,444 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

3.2.2 Расчет процесса расширения АИ–95

Давление рабочего тела в конце расширения определим по формуле:

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			44

$$p_g = 3,281 \cdot \left(\frac{0,193}{0,954} \right)^{1,35} = 0,379 \text{ (МПа)}.$$

Температуру рабочего тела в конце расширения определим по формуле:

$$T_g = 2512,21 \cdot \left(\frac{0,193}{0,954} \right)^{0,35} = 1436 \text{ (К)}.$$

Показатели процесса расширения приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Процесс расширения АИ–95

α	σ	v	p	T
400	0,3029	0,222	3,312	2535,8
410	0,4556	0,287	2,33	2314,9
420	0,6264	0,361	1,712	2137,2
430	0,8074	0,439	1,315	1995,7
440	0,9908	0,518	1,051	1883,2
450	1,1698	0,596	0,871	1793,9
460	1,3381	0,668	0,746	1723,1
470	1,4914	0,735	0,657	1667,1
480	1,6264	0,793	0,592	1623,1
490	1,7412	0,842	0,546	1589
500	1,835	0,883	0,512	1563,2
510	1,9076	0,914	0,489	1544,2
520	1,9591	0,936	0,473	1531,3
530	1,9898	0,95	0,464	1523,8
540	2	0,954	0,461	1521,3

Удельную работу в процессе политропного расширения определим по формуле:

$$l_{zg} = \frac{3,312 \cdot 0,222 - 0,383 \cdot 0,954}{1,35 - 1} = 1,06 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

3.2.3 Определение индикаторных показателей цикла АИ–95

Удельную работу цикла вычислим по формуле:

$$l_i = -0,305 + 0,447 + 1,06 = 1,202 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Среднее индикаторное давление определим по формуле:

$$p_i = \frac{10,5 \cdot 1,202}{(10,5 - 1) \cdot 0,954} = 1,39 \text{ (МПа)}.$$

Индикаторный КПД определим по формуле:

$$\eta_i = \frac{0,784 \cdot 1,202}{2,53} = 0,37.$$

Индикаторный удельный расход топлива определим по формуле:

$$g_i = \frac{3600}{45 \cdot 0,37} = 216 \left(\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right).$$

3.2.4 Определение эффективных показателей двигателя АИ–95

Среднее давление механических потерь осталось прежним:

$$C_n = 16,25 \text{ (м/с)};$$

$$p_m = 0,30 \text{ (МПа)}.$$

Среднее эффективное давление цикла определим по формуле:

$$p_e = 1,39 - 0,3 = 1,09 \text{ (МПа)}.$$

						23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			46

Эффективную мощность двигателя определим по формуле:

$$N_e = \frac{1,09 \cdot 0,349 \cdot 4 \cdot 6500}{30 \cdot 4} = 82,4 \text{ (кВт)}.$$

Эффективный удельный расход топлива определим по формуле:

$$g_e = \frac{3600}{45 \cdot 0,29} = 275,9 \left(\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right).$$

Эффективный КПД определим по формуле:

$$\eta_e = 0,38 \cdot \frac{1,09}{1,39} = 0,29.$$

Произведенные расчеты позволяют провести сравнение основных показателей двигателя и значений индикаторных диаграмм на топливах различных марок [9]. Данные представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Сравнительные характеристики

Показатели	АИ-92	АИ-95
Эффективная мощность, кВт (л/с)	80,15 (109)	82,4 (112)
Индикаторный КПД	0,38	0,37
Эффективный КПД	0,3	0,29
Удельный эффективный расход топлива, (кВт*ч)	275,8	275,9
Удельный индикаторный расход топлива, (г/ кВт*ч)	217	216
Угол опережения зажигания, (град. ПКВ)	22,9	28
Среднее индикаторное давление, (МПа)	1,36	1,39

Индикаторные диаграммы представлены на рисунке 3.1 и 3.2.

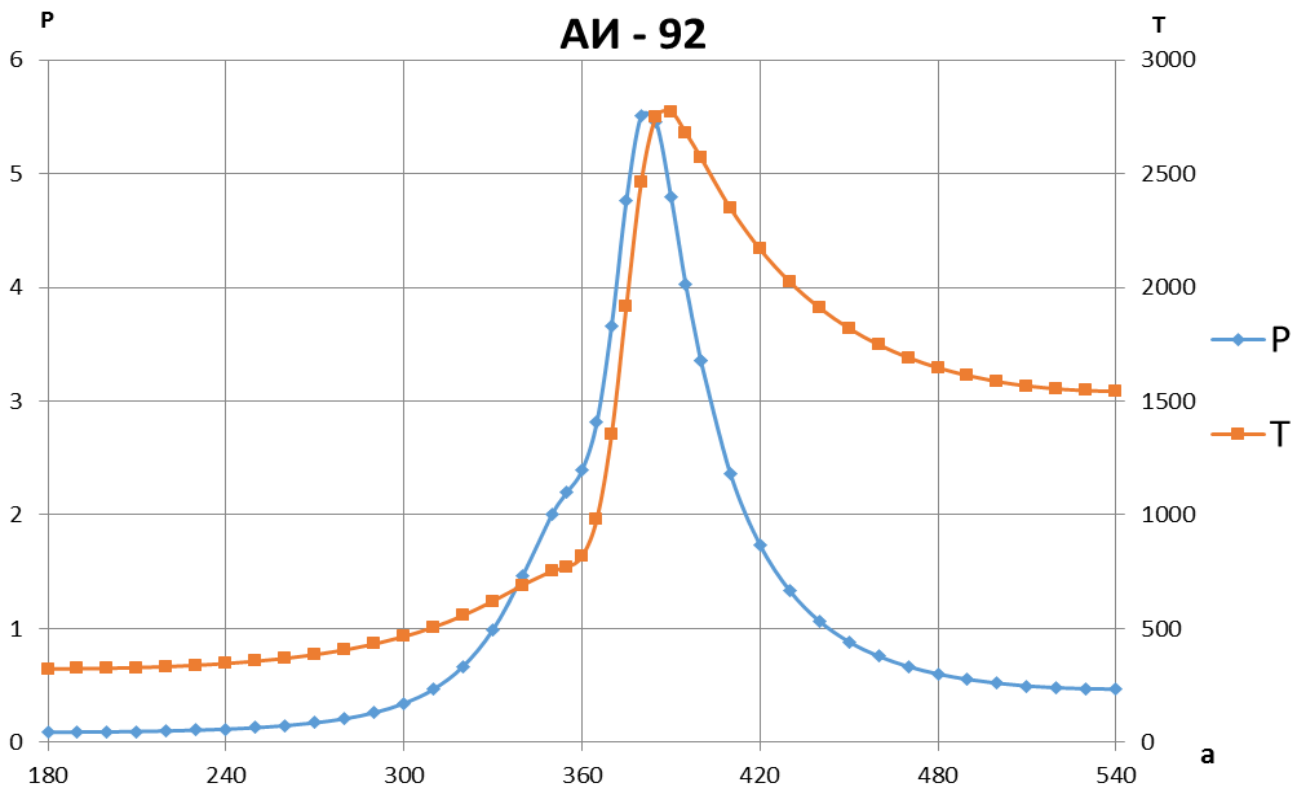


Рисунок 3.1 – Индикаторная диаграмма AI-92

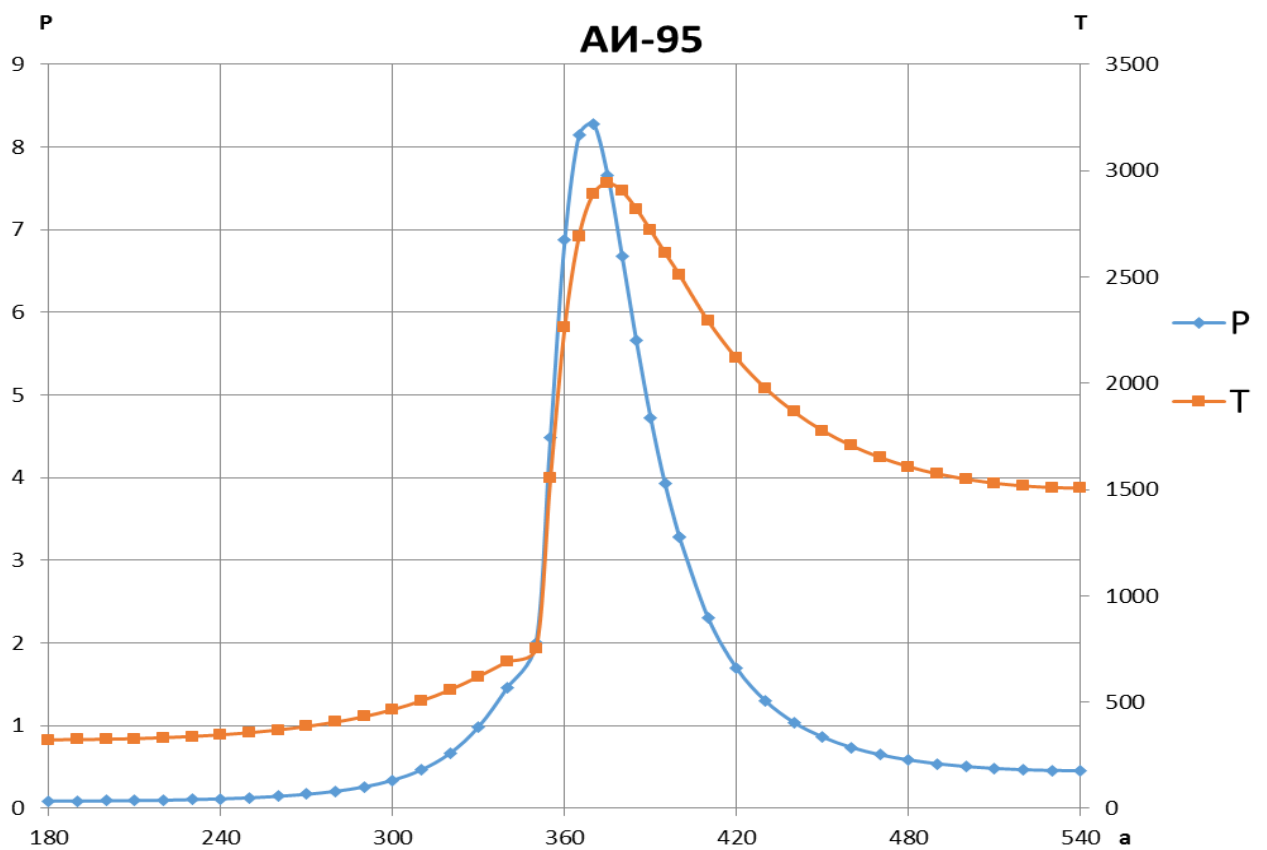


Рисунок 3.2 – Индикаторная диаграмма AI-95

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретические расчеты и исследования показали нам, что свойства бензинов оказывают определенное влияние на эксплуатационные свойства автомобиля. Но для получения точных данных одной теории недостаточно. Для более точной оценки показателей эксплуатационных характеристик были проведен ряд экспериментов.

4.1 Экспериментальные способы определения октанового числа

Определение октанового числа является сложным процессом и может проводиться разными методами, как на специальных установках, так и в условиях дорожных испытаний. Далее разберем каждый метод подробнее.

4.1.1 Исследовательский метод определения октанового числа бензина

Один из способов определения октанового числа бензина является проведение исследований на установках УИТ-65 или УИТ-85. Установка УИТ-65 представлена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Стендовая установка УИТ-65

Установка состоит из одноцилиндрового ДВС с возможностью изменения степени сжатия.

Для определения октанового числа используется два вида углеводородов: изооктан, с хорошими антидетонационными свойствами и гептан, не обладающий антидетонационными свойствами. Изооктан имеет антидетонационный показатель 100, гептан 0. Тесты проводят при частоте вращения двигателя равными 600 об/мин на исследуемом топливе и плавно, до возникновения детонации, повышают степень сжатия. Далее, через короткий промежуток времени, при той же степени сжатия, на том же двигателе проводятся испытания на смеси изооктана и гептана. В ходе испытания подбирается такая пропорция смеси, при котором возникнет порог детонации, такой же что и на исследуемом ранее бензине. Процентное содержание изооктана в смеси определяет октановое число топлива.

4.1.2 Моторный метод определения октанового числа бензина

Для этого метода используется специальный одноцилиндровый двигатель с головкой цилиндра специальной конструкции, позволяющей изменять на ходу степень сжатия. Испытуемое топливо наливают в двигатель и во время работы доводят степень сжатия до тех пор, пока не начнется детонация. По таблицам смотрят значения и определяют марку топлива.

Моторный метод отличается от исследовательского, лишь более жесткими условиями работы двигателя - выше обороты и температура горючей смеси. Поэтому моторное октановое число всегда меньше исследовательского. Например, число оборотов испытательного двигателя по моторному методу – 900 об/мин, по исследовательскому – 600. Топливовоздушная смесь в первом случае подогревается до 149°C, во втором - не более 50°C.

Октановое число, определенное по исследовательскому методу, на 7 – 10 ед. больше, чем по моторному.

Уменьшение разницы для топлива одной марки, улучшают его эксплуатационные свойства. С повышением октанового числа возрастает не

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

только детонационная стойкость бензина, но и возможная степень сжатия двигателя, его мощности и экономичность.

Однако оценка детонационной стойкости бензинов в лабораторных условиях на одноцилиндровом двигателе установки УИТ–65 носит относительный характер, поскольку не всегда совпадает с фактической детонационной стойкостью бензинов в полноразмерных двигателях в условиях эксплуатации.

4.1.3 Дорожный метод определения октанового числа бензина

Метод дорожных детонационных испытаний автомобильных бензинов предназначен для оценки антидетонационных свойств бензинов в дорожных условиях во всем диапазоне скоростей движения автомобиля на неустановившихся режимах работы двигателя с учетом особенностей конструкции автомобиля. Дорожные детонационные испытания бензинов на автомобилях проводят на мерном участке прямого горизонтального шоссе с сухим асфальтовым покрытием при скорости ветра не более 5 м/с. Дорожные детонационные испытания заключаются в определении следующих характеристик автомобиля:

- динамической, по углу опережения зажигания при разгоне автомобиля в интервале минимально стабильной и 0,8 максимальной скорости;
- детонационной, на смесях эталонных топлив в принятом интервале скоростей.

Динамическую характеристику автомобиля снимают на изооктане, обеспечивающем, как правило, без детонационную работу двигателя при всех углах опережения зажигания. Результаты этих испытаний изображают в виде зависимости угла опережения зажигания от времени разгона. Детонационную характеристику автомобиля определяют не менее чем на пяти смесях эталонных топлив с разными октановыми числами и на испытуемом бензине. На каждой эталонной смеси и испытуемом бензине, изменяя углы опережения зажигания, определяют скорость движения, при которой появляется детонация во время разгона автомобиля на высшей передаче от минимальной стабильной скорости при быстром нажатии педали газа до упора. По результатам испытаний строят

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Лист

51

первичную детонационную характеристику автомобиля на смесях эталонных топлив и испытуемом бензине. Окончательные результаты дорожных детонационных испытаний автомобиля и бензина представляют в виде итоговой детонационной характеристики, представляющей зависимость октановых чисел бензина, требуемых двигателю, и фактических дорожных октановых чисел бензина от скорости движения автомобиля при оптимальном угле опережения зажигания. По ГОСТ 10373–82 предусмотрен также метод ускоренных дорожных детонационных испытаний бензинов. По этому методу определяют угол опережения зажигания, обеспечивающий наименьший расход топлива при движении автомобиля с постоянными скоростями 30 и 70 или 40 и 80 км/ч с использованием высокооктанового бензина, обеспечивающего бездетонационную работу двигателя при всех установках опережения зажигания. Затем на смесях эталонных топлив с различными октановыми числами определяют углы опережения зажигания, вызывающие начало детонации, легкую детонацию, сильную и очень сильную детонацию при разгоне автомобиля от минимально устойчивой скорости на высшей передаче при быстром нажатии педали газа до упора. По результатам испытаний определяют детонационную характеристику автомобиля. Определяют угол опережения зажигания при разгоне на испытуемом бензине с легкой детонацией и по детонационной характеристике автомобиля находят значение дорожного октанового числа испытуемого бензина. По детонационной характеристике автомобиля и углу опережения зажигания, обеспечивающему наименьший расход топлива, можно также определить требуемое дорожное октановое число бензина для данного автомобиля. Стендовые и дорожные детонационные испытания автомобильных бензинов требуют сравнительно сложного оборудования, специальных дорожных и строго регламентируемых метеорологических условий, и высокой квалификации испытателей. Для проведения более быстрого и мобильного определения октанового числа, иногда используют такой портативный прибор как октанометр.

					<i>23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

4.1.4 Октанометр

Лабораторный метод определения октанового числа на приборных установках занимает много времени и требует много ресурсов. Информацию, полученную в ходе этих испытаний трудно использовать для принятия быстрых изменений. У ученых и специалистов часто возникает необходимость в быстром вмешательстве и корректировке параметров исследуемого объекта. Хоть и лабораторные испытания являются достаточно точными, они не всегда оказываются подходящими. В литературе приведены различные методы расчета октанового числа бензинов [5].

Для быстрого определения октанового числа бензина используют специальный прибор – октанометр. Пример октанометра представлен на рисунке 4.2. Принцип его работы основан на измерении диэлектрической проницаемости топлива и последующего определения октанового числа по предварительно построенной калибровочной зависимости. В основе принципа измерения — сравнение октановых чисел контролируемого образца топлива с аттестованными образцами бензинов или дизельных топлив. На основании экспериментальных данных можно построить графики зависимости октанового числа от диэлектрической проницаемости для различных видов топлива. Время определения марки бензина в наихудших условиях, при холодном включении, не превышает 5 секунд. Весь процесс измерения автоматизирован, оператору достаточно заполнить бензином датчик, включить прибор и записать результат, отображаемый на индикаторе. Октанометр прост в эксплуатации, не требует дополнительной настройки и ухода.



Рисунок 4.2 – Октанометр "ОКТИС-2"

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

В связи с тем, что на автомобильных заправочных станциях октановое число регламентировано, и подвергается контролю соответствующих государственных органов, нет острой необходимости проводить столь сложные исследования. В нашем случае достаточным будет подтвердить результаты теоретических расчетов, о изменении эксплуатационных характеристик.

Наиболее важными эксплуатационными показателями из представленных определим показатели детонационной стойкости, динамического фактора, и расхода топлива.

Для определения этих характеристик и подтверждения наличия разниц в изменении свойств бензинов разных марок, наиболее подходящим является испытание на динамометрическом стенде.

4.2 Разработка методики испытаний

Для подтверждения теории и выдвинутых предположений необходимо проведение ряда технических испытаний и экспериментов, в результате которых можно будет определить зависимости показателей эксплуатационных характеристик от октанового числа бензинов. При проведении испытаний будет использован автомобиль с допуском топлив различных марок, АИ–92 и выше. Испытания будут проходить на топливах АИ–92 и АИ–95. Для осуществления адаптации электронного блока двигателя к определенной марки топлива, между заездами на разных марках будет осуществлен пробег в 100 км.

4.2.1 Динамометрический стенд

Для выявления изменений динамических показателей, детонационной стойкости и показателей расхода топлива, будем использовать такую установку как динамометрический стенд.

Стенды проверки мощности предназначены для оценки тяговых качеств автомобилей при их диагностировании. Кроме того, в процессе испытаний автомобиля на стенде можно измерять расход топлива, оценивать уровень шумов и вибраций двигателя и трансмиссии. Некоторые из них позволяют определять техническое состояние агрегатов трансмиссии путем оценки в них потерь

механической энергии. Так как в процессе движения автомобиля по роликам стенда передние колеса неподвижны и отсутствует сопротивление встречного потока воздуха, на ведущих колесах создается избыток мощности, поглощаемый нагрузителем стенда. Конструкция нагрузителя позволяет измерять поглощаемую мощность, являющуюся основным комплексным параметром технического состояния автомобиля [10].

Динамометрический стенд – это установка для снятия силовых характеристик двигателя. Такие установки существуют для испытания как двигателя отдельно от транспортного средства, так называем моторный стенд, так и в составе автомобиля, мотоцикла, карта, а именно колесный или барабанный стенды. Колесные стенды, имеют более широкое распространение из-за своей универсальности, поэтому мы и остановимся на их рассмотрении. Стенды делятся на три типа: инерционный, нагрузочный и комбинированный. Схема представлена на рисунке 4.3.

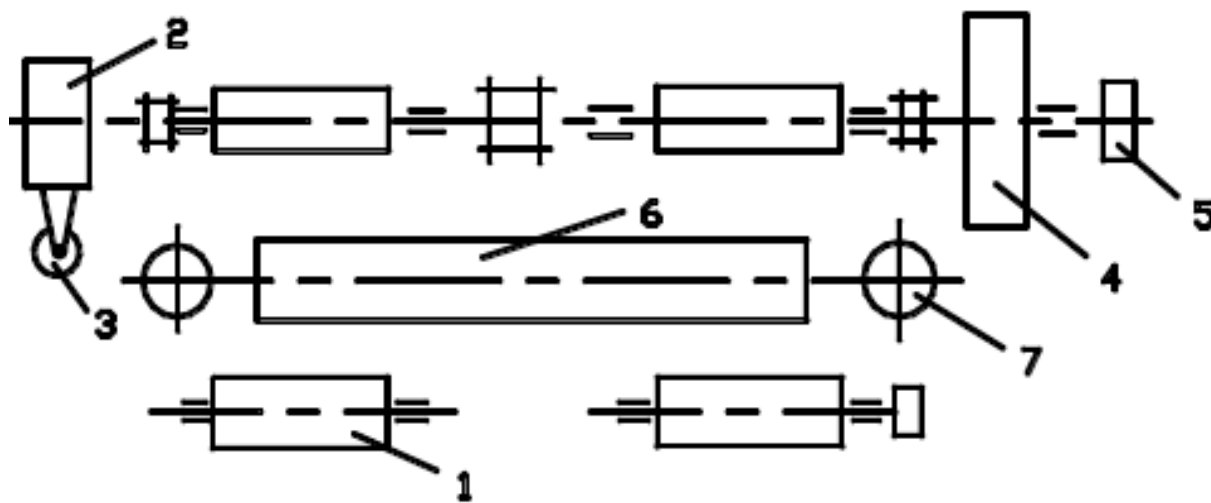


Рисунок 4.3 – Стенд проверки мощности

- 1 – беговой ролик; 2 – нагрузитель; 3 – датчик крутящего момента;
 4 – инерционная масса; 5 – тахогенератор; 6 – выталкиватель колес;
 7 – колесоотбойник

Инерционный стенд – представляет собой конструкцию, состоящую из пространственной рамы, на которую устанавливается и закрепляется испытуемое транспортное средство. На рамной оси, свободно вращаются один, два, четыре

или более массивных металлических барабана. Количество барабанов зависит от области применения стенда – для мотоцикла хватит и одного, а для полноприводного автомобиля необходимо не менее четырех. Транспортное средство устанавливается таким образом, чтобы его ведущие колеса могли вращаться вместе с барабанами. Далее запускается двигатель, включается прямая передача, и колеса начинают вращать барабаны стенда. По законам физики, вращающееся тело имеет момент инерции, препятствующий увеличению угловой скорости вращения. Проще говоря, в нашем случае, чем больше будет масса барабанов и их размер, тем труднее будет двигателю их раскрутить. Вы жмете на педаль газа на высшей передаче, и двигатель какое-то время раскручивает колеса с барабанами с малых оборотов до максимальных. Все остальное выполняет компьютер: имея неизменный момент инерции барабанов, информацию с датчика скорости их вращения и времени, затраченного на раскрутку которое обратно пропорционально крутящему моменту двигателя компьютер, вычисляет крутящий момент двигателя. Далее по нехитрой формуле из момента вычисляется мощность, строятся графики.

Преимущества инерционного стенда – простота конструкции, калибровки стенда, возможность расчета потерь на трение в трансмиссии. Возможность оценки качества сборки двигателя или степень обкатанности двигателя.

К недостаткам можно отнести – отсутствие работы в статическом режиме при постоянных оборотах, моменте, при увеличении мощности двигателя падает точность измерения, из-за уменьшения времени раскрутки.

Нагрузочный стенд – представляет собой конструкцию схожую с инерционным стендом, разница заключается в том, что барабаны имеют массу отличную от предыдущего, а «тормозит» двигатель специальное управляемое устройство. Оно может быть электрическим, гидравлическим или фрикционным. Управление производится компьютером таким образом, чтобы заставить двигатель работать на постоянных оборотах при определенных открытиях дросселя. Такой статический метод работы с двигателем позволяет наиболее тонко настроить системы питания и зажигания, изучить процессы, происходящие в моторе. Хочется упомянуть еще одну интересную опцию для такого типа

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

стендов, которая должна получить широкое распространение в будущем — это специальный электромотор. Управляя им можно не тормозить, а наоборот, вращать двигатель через трансмиссию. В настоящее время вводят все более жесткие нормы на токсичность выбросов, и производители вынуждены доводить настройки двигателей, практически, до совершенства. Исследуются не только мощностные режимы, но и такие, как например, движение транспортного средства накатом с закрытым дросселем. Именно, этот режим можно смоделировать на стенде с возможностью обратной раскрутки двигателя. Таким образом, настраиваются системы рециркуляции отработанных газов, подбирается момент зажигания при холостом ходу, момент включения подачи топлива для уверенного перехода двигателя на холостой ход, настраивается работа клапана холостого хода.

К преимуществам нагрузочных стендов можно отнести: получение точных результатов во всем диапазоне мощности и крутящего момента, на который рассчитан стенд, возможность обкатки двигателя.

А недостатками можно считать – сложную конструкцию, размеры, стоимость, и необходимость рассеивания энергии, образующейся в результате торможения двигателя, сложности для замера потерь на трение.

Комбинированный стенд – есть ни что иное, как симбиоз инерционного и нагрузочного стендов. Комбинированный стенд имеет все плюсы обоих типов стендов, и лишен их недостатков, за исключением, естественно, дороговизны и сложности конструкции.

Комбинированный стенд в комплекте с быстродействующей измерительной техникой и высокопроизводительными системами вентиляции и наддува свежего воздуха позволяет наиболее полно изучить и настроить двигатель [11].

В ходе испытаний будет производиться замер на марке топлива АИ–92 и АИ–95, в ходе которых можно будет определить реальное изменение эксплуатационных свойств автомобиля.

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Лист

57

Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата	
------	------	----------	---------	------	--

4.2.2 Испытания на топливную экономичность

Испытания на топливную экономичность будет проводиться путем замеров на каждом виде топлива на основании показателей бортового компьютер автомобиля.

Снятие показателей будет производиться после адаптационного периода в 100 км пробега, в условиях городской среды. Замер расхода топлива будет происходить путем ежедневной фиксации показателей среднего расхода, на протяжении 7 дней.

4.3 Результаты испытания

4.3.1 Испытания на мощностном стенде

Для выявления разницы в мощностных показателях были произведены испытания на двух марках бензина АИ-92 и АИ-95. Бензин был приобретен на розничных заправках сети АЗС «Лукойл».

Были произведены по три прогона на обеих марках бензина и выбраны лучшие из них и представлены в сравнительном графике на рисунке 4.4.

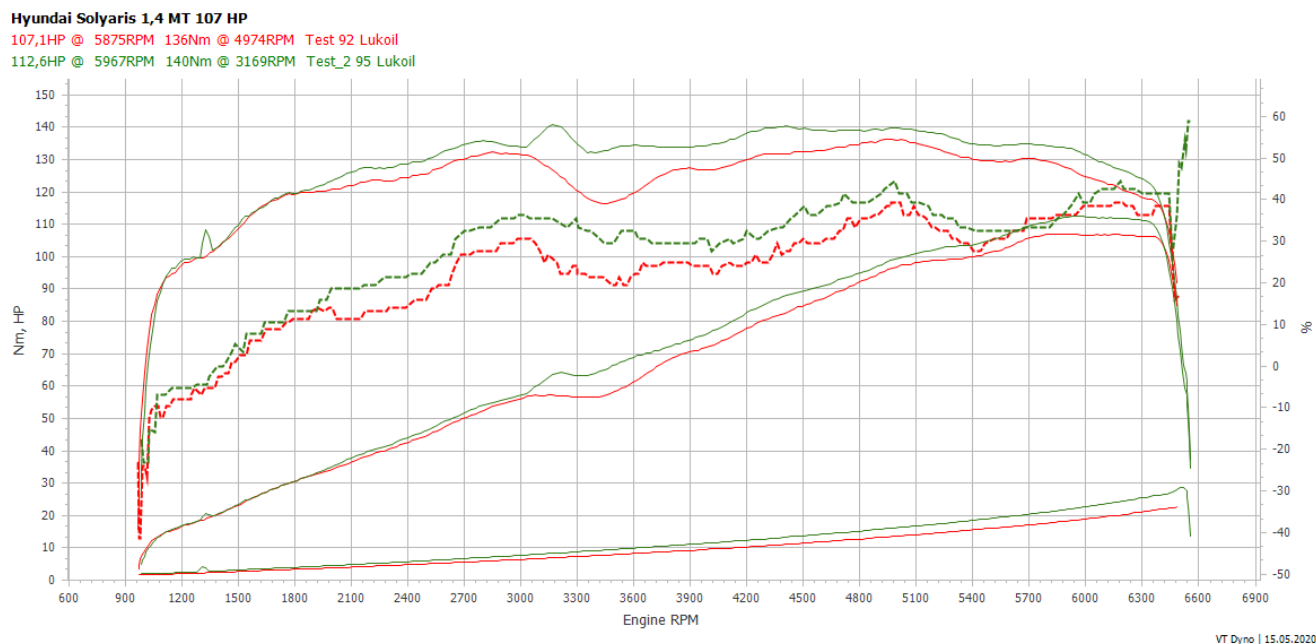


Рисунок 4.4 – График мощностных испытаний

На первой паре линий графика представлены показатели крутящего момента, на второй показатели угла опережения зажигания, на третьей мощность двигателя, на четвертой потери при выбеге.

4.3.2 Дорожные испытания

Для выявления разницы расхода топлива была произведена ежедневная фиксация среднего расхода топлива на двух марках топлива АИ-92 и АИ-95. Фиксация производилась после адаптационного периода в 100 км пробега после заправки. Эксплуатация автомобиля происходила в городском режиме, без долгих простоев на холостом ходу. Результаты измерений представлены в таблице 4.1.

Таблица – 4.1 Результаты измерения расхода топлива

Расход л/100км АИ-92	Расход л/100км АИ-95
7,7	6,9
7,8	7,2
7,9	7,4
8	7,6
8,2	7,7
8,3	7,8
8,3	7,8

4.4 Выводы по результатам испытаний

Из показателей на рисунке 4.4 можно сделать вывод, что результаты произведенных испытаний подтверждают теоретические расчёты. Действительно, при эксплуатации автомобиля на бензине АИ-95 динамические показатели возрастают. В нашем случае показатели максимальной мощности выросли на 5,1%, а показатели момента на 2,9%. Угол опережения зажигания, как и предполагалось также увеличился.

На графике явно заметен провал в показателях при использовании топлива марки АИ-92 в диапазоне оборотов от 3000 до 3700. На графике также можно заметить и резкое уменьшение угла зажигания, при условии, что программное обеспечение и другие параметры двигателя были неизменны, можно сделать вывод, что с высокой долей вероятности это произошло в связи с начинающей возникать детонацией. В связи с высокой нагрузкой детонационной стойкости

топлива не хватило, для правильного сгорания топлива, что было зафиксировано датчиком детонации. Электронный блок в свою очередь принял меры по корректировке угла зажигания, дабы избежать разрушительных последствий. Все это повлекло за собой снижение мощности. Это говорит нам о том, что детонационная стойкость бензина важна для эксплуатационных характеристик автомобиля, и явления начинающейся детонации могут возникнуть даже при соблюдении рекомендаций автопроизводителя.

Возникновение провала мощности в результате детонации, на топливе АИ-92 подтверждает то, что разница в свойствах топлива действительно есть, и марки бензина на заправочных станциях с высокой долей вероятности соответствуют друг другу.

На бензине марки АИ-95 полка момента более ровная и без провалов, что говорит о его большей безопасности как для двигателя, так и для водителя в опасных дорожных ситуациях и особенно при обгонах.

При обгонах водители как правило рассчитывают на ровное, возрастающее ускорение, и исходя из этого прогнозируют свои действия. Возникающие провалы в мощности увеличивают время набора нужной скорости, что может привести к нехватке времени на совершения обгона или перестроения, и как следствие возникновения негативных ситуаций, вплоть до ДТП.

Из графика также видно, что до 3000 оборотов, показатели мощности практически равны, а показатели момента отличаются совсем не значительно. Как правило, в условиях спокойной городской езды, водители редко поднимают обороты двигателя выше 2500–3000 оборотов и открывают дроссельную заслонку более чем на 50%. Все это говорит о том, что при спокойном стиле вождения, автовладелец может и не заметит высокой разницы в динамики автомобиля.

В свою очередь, водители с более агрессивным стилем вождения, будут чувствовать нехватку мощности и как следствие сильнее давить на газ, что приведет увеличению расхода топлива, и большему износу при граничных к детонационным режимам работы ДВС.

Исходя из полученных данных в таблице 4.1 можно сделать вывод, что в нашем случае при эксплуатации автомобиля на марке бензина АИ-95 расход

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

топлива снижается на величину 0,5 литра на 100 километров пробега или на 6%, по сравнению с АИ-92.

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

5 КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАРКИ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА

В ходе произведенного исследования были получены основные результаты влияния свойств бензинов на эксплуатационные характеристики автомобиля. Исходя из полученных данных, было принято решение о разработке методики выбора топлива для владельцев автомобильного транспорта с допусками автопроизводителя эксплуатации на нескольких марках бензина.

Критериями выбора определим:

- Динамические показатели;
- Время прогрева двигателя;
- Расходы на топливо;
- Экологический фактор.

Рассмотрим первый из них. Для людей, предпочитающих спокойную умеренную городскую езду разница в динамике будет не столь заметна. Так как показатели мощности и момента не имеют столь высокой разницы до 3000 оборотов в минуту. В случае, если водитель предпочитает резкие ускорения, и езду на высоких оборотах, то предпочтительнее будет выбрать топливо марки АИ-95. В том случае, если автовладелец часто оказывается на загородных трассах, где не редко ему приходится быстро обгонять впереди идущие автомобили, более безопасным для него будет выбор 95го бензина, так как автомобиль будет набирать скорость более ровно и предсказуемо.

Что касается критерия под номером два, то согласно тепловому расчеты, время прогрева сократиться при использовании 95го бензина. Для водителей, которые предпочитают прогревать свои моторы и хотят сделать это быстрее, предпочтительно по крайней мере на зимний сезон будет выбрать 95. Но не стоит забывать, что в теории на 92 автомобиль будет легче запустить, и если в ходе эксплуатации начались подобные проблемы, то стоит задуматься о смене марки бензина.

Расходы на топливо являются одними из самых значимых расходов при эксплуатации автомобиля. По этой причине многие автовладельцы предпочитают экономить именно на нем. Исходя из полученных данных, разница в расходе

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

топлива составляет 6% в пользу АИ–95, но при этом цена на него выше на 9,5%. Из чего можно сделать вывод, что расходы на бензин будут ниже на 3,5% при эксплуатации на АИ–92, при условии сохранения разницы в цене. При не больших пробегах, такая разница не будет столь существенна, но для тех, кто часто преодолевает на своих автомобилях большие расстояния или же серьезно беспокоиться о своих расходах, предпочтительнее выбрать 92ой.

Исходя из теории, более чистым автомобильным бензином является АИ–92, так как в нем меньше концентрация антидетонационных присадок, которые содержат вредные вещества. Как следствие и количество выбросов вредных веществ в атмосферу тоже должно быть меньше.

Для большего удобства было принято решение привести эти данные в небольшой тест, с вопросами для автовладельца и выборами ответа в соответствии маркой топлива, он представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Тест для автовладельца

Вопросы для автомобилиста	АИ–92	АИ–95
В городе вы предпочитаете умеренную и спокойную езду на низких оборотах двигателя	2	0
В городе вы предпочитаете динамичную езду.	0	2
Вы редко оказываетесь на загородной трассе, а если и случается, то предпочитаете избегать рискованных обгонов.	3	0
Вы часто оказываетесь на загородной трассе где вы любите или вынуждены совершать рискованные обгоны	0	3
Вы предпочитаете прогревать свой автомобиль перед началом движения.	0	1
Вы редко прогреваете свой автомобиль и начинаете движение, как только к нему готовы.	1	0
Сейчас зима, и вы вынуждены прогревать автомобиль для безопасного и комфортного движения	0	1
Для вас очень важны расходы на топливо, и вы готовы немного пожертвовать динамикой автомобиля ради экономии	2	0
Расходы на топливо не являются для вас определяющими, и вы готовы переплатить за то чтобы получить от автомобиля весь его потенциал	0	2

23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ

Лист

63

Окончание таблицы 5.1

Вопросы для автомобилиста	АИ-92	АИ-95
Вас беспокоят вопросы загрязнения окружающей среды, и вы хотели бы чтобы ваш автомобиль был более экологически чистым.	1	0
Сумма баллов за положительные ответы		

Посчитав сумму баллов при положительных ответах, автовладельцу рекомендуется оставить свой выбор на марке топлива с большим количеством баллов.

							23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				64

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования были выявлены основные факторы, на которые оказывает влияние свойств бензинов. Теоретические расчёты и результаты испытаний показывают наличие реальной разницы в эксплуатационных показателях автомобиля, при заправке топлива разных марок. Это в свою очередь доказывает то, что свойства бензинов действительно оказывают влияние на характеристики автомобиля. Данное влияние в свою очередь позволяет водителю в какой-то степени управлять характеристиками своего автомобиля.

Данные представленные в работе позволяют оценить разницу в ряде показателей и помочь автовладельцу сделать выбор в марке топлива для своего автомобиля.

					<i>23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>65</i>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые химические технологии, аналитический портал химической промышленности – URL: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/fuelproperty2.html> (дата обращения: 22.11.2019).

2 Сулимов А.Д.Производство ароматических углеводородов из нефтяного сырья. М. Химия 1975г. 304 с.

3. Быков Р.В. Б953 Эксплуатационные материалы: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 78 с.

4. Удельный расход топлива – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/удельный_расход_топлива (дата обращения: 1.12.2019).

5. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А., Прохоренков В.Д., Курочкин И.М., Хренников А.О., Доровских Д.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учебное пособие / – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с. – 100 экз.

6. Калинский В.С., Манзон А.И., Нагула Г.Е. Автомобиль [учебник водителя третьего класса]. Издательство «Транспорт», 1972 г., стр. 1-448.

7. Вред и польза топливных присадок – URL: <https://cardefence.ru/raznoe/harm-and-use-of-fuel-additives> (дата обращения: 2.02.2020).

8. Шишлов А. Н., Лебедев С. В. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебно-практическое пособие для автомобильных колледжей. М.: ГБПОУ КАТ №9, 2018. – 209 с.

9. Шароглазов Б. А., Клементьев В. В. Теория рабочих процессов ДВС: Учебное пособие к решению задач. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003. – 33 с.

10. Динамометрический стенд – URL: <https://moto.lexp.net/wiki/> (дата обращения: 15.04.2020).

Динамометрический_стенд

11. Кудрин А.И. Основы расчета нестандартизованного оборудования для Технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 168 с.

					23.03.04.2020.231.00.00 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		