

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДВИГАТЕЛЕМ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
АВТОМОБИЛЯ**

**THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE ENGINE
CONTROL PROGRAM ON THE PERFORMANCE OF A CAR**

Гурский А.С., канд. техн. наук, доц., *Серебряков И.А.*, аспирант,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

A. Gursky, Ph.D. in Engineering, Associate professor, *I. Serabrakov*,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

На сегодняшний день современные автомобили повсеместно оснащаются электронными системами управления двигателем.

Программы управления двигателем, которыми комплектуются стандартные блоки управления, являются усредненными и должны обеспечивать работу любого заводского двигателя, несмотря на то, что в процессе изготовления, и тем более в процессе эксплуатации физические характеристики двигателей могут различаться.

Владение алгоритмом работы системы, данными карт зажигания, состава смеси, а также проведение испытаний с использованием правильно подобранных контрольно-диагностических параметров позволяют скорректировать программу электронного блока управления (ЭБУ), тем самым улучшив динамические и экономические показатели работы бензинового ДВС.

Ключевые слова: электронный блок управления, бензиновый двигатель внутреннего сгорания, состав смеси, угол опережения зажигания, карта зажигания, цикловое наполнение, диагностические параметры.

Today, modern cars are equipped with electronic engine management systems.

The engine control programs which the standard control units are completed are universal and must ensure the operation of any factory engine, despite the fact that the physical characteristics of the engine may change during the manufacturing process, and even more so during operation.

Possession of the algorithm of the system, data ignition maps, the composition of the mixture, as well as testing using properly selected diagnostic and control parameters, allow you to adjust the program of the electronic control unit (ECU), thereby optimizing the dynamic and economic performance of the gasoline engine.

Keywords: electronic control unit, gasoline internal combustion engine, mixture composition, ignition advance angle, ignition map, cycle filling, diagnostic parameters.

Введение

В автомобилестроении, при массовом производстве бюджетных автомобилей используется стандартное программное обеспечение с идентичными параметрами, регулирующими работу двигателя.

Программы управления двигателем, которыми комплектуются стандартные блоки управления, являются усредненными и должны обеспечивать работу любого заводского двигателя, несмотря на то, что в процессе изготовления, и тем более в процессе эксплуатации физические характеристики двигателей могут различаться. Это говорит о целесообразности корректировки программы блока управления двигателем в процессе эксплуатации.

1. Алгоритм работы системы управления двигателем

Рассматривая двигатель, как объект управления, выделяется следующая совокупность элементов системы управления двигателем [1]: элементы, производящие и сбор информации о работе двигателя (датчики), устройства переработки информации (электронные блоки управления) и исполнительные элементы.

В данной статье рассматриваются программная составляющая устройств переработки информации и её изменение. В качестве при-

мера рассматривается блок управления двигателем Январь 7.2, который является аналогом ЭБУ Bosch 7.9.7. Схема подключения выводов блоков идентичная, однако Январь 7.2 обладает несколько иной архитектурой, что позволяет пользователям вносить изменения в стандартное программное обеспечение (далее ПО) блока.

По аналогии может осуществляться корректировка программы ЭБУ М86. Эта ЭСУД устанавливается с конца 2015 года на автомобили Лада Веста и XRAY.

Для максимально эффективной работы двигателя ему необходим правильно подобранный состав смеси для всех режимов работы. Состав смеси обусловлен многими факторами, главными из которых являются количество топлива и количество воздуха, поступающие в двигатель за определенный временной промежуток. Величиной, характеризующей количество воздуха, поступающего в цилиндр двигателя за один цикл, является цикловое наполнение. Понятие базового циклового наполнения вводится для дальнейшего проведения расчетов блоками управления на основании данной величины. Калибровку базового циклового наполнения, находящуюся в ЭБУ, наглядно можно представить следующим образом (рисунок 1)

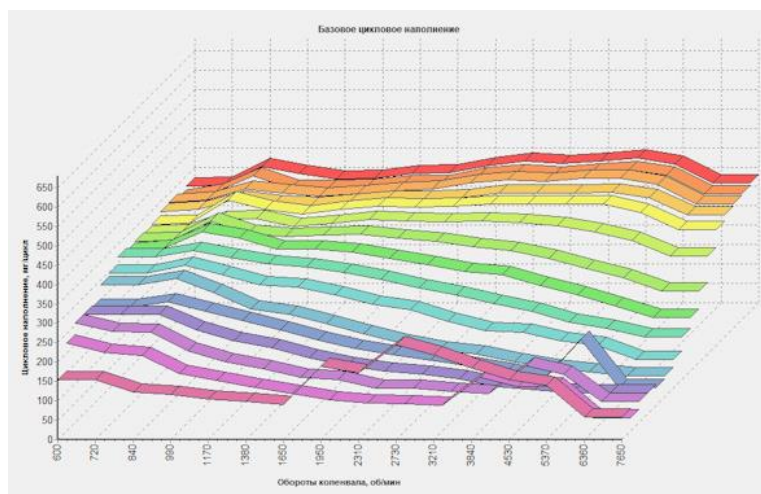


Рисунок 1 – Зависимость базового циклового наполнения от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя

В современных системах управления рабочим процессом бензинового двигателя, имеющих (или не имеющих) кинематическую связь между положением педали акселератора [2] и дроссельной заслонкой, нашли применение два вида управления цикловым наполнением, различающиеся задачами, решаемыми в процессе управления. Это управление цикловым наполнением в области малых цикловых наполнений, применяемое для регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя на режиме холостого хода и управление величиной циклового наполнения на режиме частичных и полных нагрузок, с задачей формирования требуемой внешней скоростной характеристики двигателя. Рассмотрим второй режим.

Анализ корреляции токсичных выбросов сположением и характером движения автомобиля в области частичных нагрузок показывает, что значительная доля выбросов углеводородов с отработавшими газами вызвана явлениями, происходящими при работе двигателя с малым цикловым наполнением, в момент перехода от режима установившегося движения к принудительному холостому ходу, а также при выходе на режим полных нагрузок. Известно, что в этих условиях наблюдается значительный рост коэффициента остаточных газов, что приводит к нарушению процесса сгорания вплоть до пропуска тактов. Несгоревшее топливо поступает в выпускную систему, где частично догорает, что сопровождается характерными хлопками, а частично выбрасывается в атмосферу. Отсюда вытекает задача управления цикловым наполнением на режиме ЧН, заключающаяся в необходимости ограничения величины циклового наполнения на уровне достаточном для поддержания устойчивого сгорания с одной стороны, и существенно не ухудшающем тяговые свойства двигателя с другой. Данный вопрос регулирования смесеобразования и циклового наполнения рассматривается далее в статье.

Как правило, при выборе регулировок рабочего процесса, стремятся выбрать угол опережения зажигания соответствующий максимальной эффективности рабочего процесса. Однако это не всегда возможно. Необходимость уменьшения угла опережения зажигания относительно оптимальной регулировки, может быть вызвана требованиями ограничения токсичности выбросов, в частности необходимостью снижения выбросов CO и CH при работе прогретого двигателя или необходимостью увеличения температуры отработавших

газов для интенсификации прогрева каталитического нейтрализатора и т.д.

Рассмотрим основные элементы алгоритма управления углом опережения зажигания (УОЗ). Выбор того или иного источника, определяющего величину УОЗ в зависимости от положения режимной точки, регулировок и режима работы двигателя, выполняется диспетчером режимов. В режиме пуска, значение угла опережения зажигания определяется в соответствии с регулировками в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. При переходе на режим холостого хода УОЗ вычисляется как сумма трех параметров: базового УОЗ, поправки, зависящей от температуры охлаждающей жидкости и поправки, формируемой регулятором частоты вращения коленчатого вала по углу опережения зажигания. Более сложная процедура вычисления УОЗ используется на режимах частичных нагрузок и полной мощности. Это связано с тем, что на этих режимах диапазон изменения положений режимной точки максимален, а существующая нелинейность изменения требуемого УОЗ не может быть описана простыми зависимостями.

Основной таблицей при расчете УОЗ в этих режимах является карта, отражающая его зависимость от циклового наполнения и частоты вращения двигателя. Карта калибровок в виде трёхмерной поверхности приведена на рисунке 2. Оптимальная величина УОЗ определяется как алгебраическая сумма составляющих этой карты, заложенных в постоянную память ЭБУ, и следующих поправок: по температуре охлаждающей жидкости, по температуре впускного воздуха, для прогрева датчика кислорода и прогрева катализатора, от определяемого ЭБУ режима движения (например, резкое нажатие на педаль газа, дифференцируя сигнал с датчика положения дроссельной заслонки) [9]. В этот перечень включены основные поправки, перечень которых зависит от конкретной ЭСУД и постоянно расширяется.

Отдельно стоит отметить резервный (аварийный) режим блока управления, который позволяет эксплуатировать автомобиль с неисправными датчиками. В данном режиме, когда один или несколько каналов получения информации отсутствуют, работа электронного блока управления обеспечивается резервными калибровками (например, при отсутствии сигнала массового расхода воздуха вместо таб-

лицы базового циклового наполнения используется таблица наполнения в зависимости от степени открытия дроссельной заслонки). Разумеется, что в таком режиме нормальные эксплуатационные характеристики двигателя не обеспечиваются. Резервная карта угла опережения зажигания показана на рисунке 3.

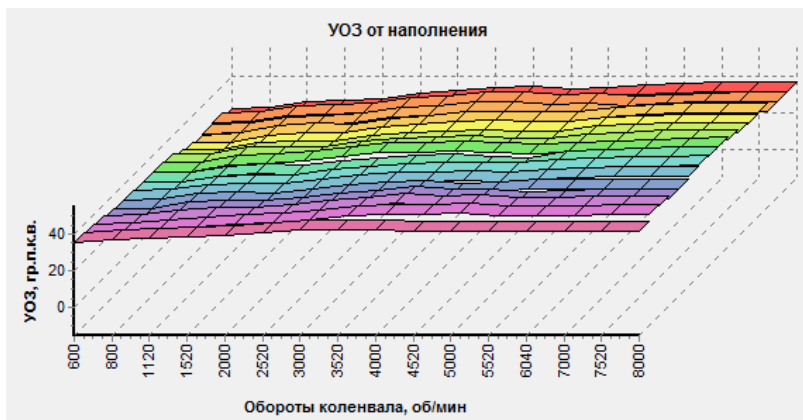


Рисунок 2 – Зависимость угла опережения зажигания от циклового наполнения и частоты вращения коленчатого вала двигателя

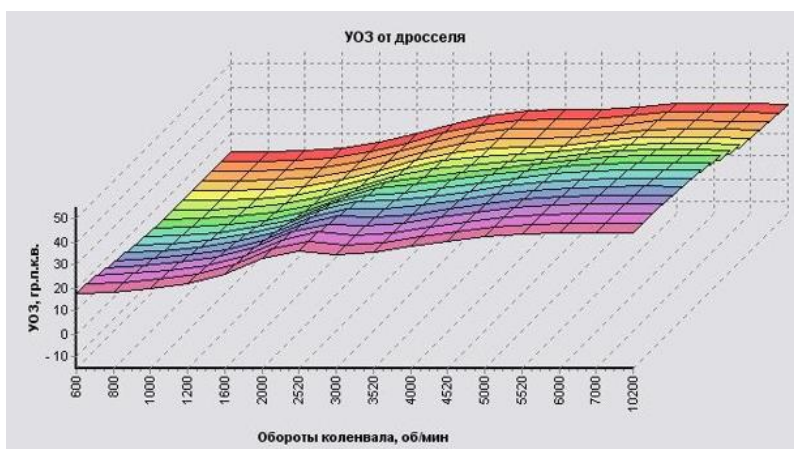


Рисунок 3 – Зависимость угла опережения зажигания от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Используется в аварийном режиме

2. Процесс корректировки программы управления ЭБУ

Корректировку программного обеспечения при ходовых испытаниях автомобиля можно производить, руководствуясь следующим алгоритмом.

1. Производим подключение компьютера к электронному блоку управления автомобилем с помощью K-Line адаптера, соединяем адаптер и диагностический разъём,

2. Запускаем программу Atomic Tune.

3. После установления связи мы увидим отображение актуальных диагностических данных в программе, а также коды неисправностей, при их наличии.

4. Открываем в программе Atomic Tune. заранее подготовленную программу блока управления (как правило, такой вариант применяется, если нам необходимо достичь значительного увеличения динамических характеристик, например, программу на базе спортивной j7es) либо стандартную программу dm_53, актуальную для нашего двигателя.

5. Основной задачей корректировки программы является получение новых таблиц базового циклового наполнения (БЦН) и поправки циклового наполнения (ПЦН). Их можно посмотреть во вкладках «Генерируемое БЦН», «Генерируемое ПЦН».

6. Переходим на вкладку «Попадание в РТ».

7. Если двигатель прогреет до рабочей температуры, датчик кислорода прогреет, программа автоматически начнёт работу, о чём будет свидетельствовать надпись: «Идёт обучение».

8. Таблица «Попадание в РТ» отображает процесс откатки. Каждая ячейка таблицы – рабочая точка. Необходимо заполнить как можно больше ячеек в этой таблице. По вертикали шкале отображается частота вращения коленчатого вала, по горизонтальной – процент открытия дроссельной заслонки.

Например, для получения обученной точки в 30 % и 3000 об/мин, нам надо чтобы частота вращения двигателя и положение дроссельной заслонки, попадающие в диапазон по частоте 2730–3210 и по степени открытия 29–37 находились в этом диапазоне как можно больший промежуток времени. Каждые 4 цикла двигателя, параметры ко-

того находятся в данном диапазоне, будут составлять одну рабочую точку. Задача заключается в том, чтобы получить как можно больше обученных точек.

9. При дорожных испытаниях таблица будет заполняться по диагонали, т.к. при увеличении степени открытия дроссельной заслонки автоматически будет и увеличиваться частота вращения, при небольших углах открытия двигатель не разовьёт высокие частоты вращения в связи с различными сопротивлениями (воздуха, качения шин и др.). Степень открытия дроссельной заслонки повышается плавно, и точки в таблице постепенно заполняются.

По результатам проведённых испытаний таблица примет вид, пример которого продемонстрирован на рисунке 4. В каждой ячейке, отмеченной зелёным цветом отображено количество рабочих точек, которые прошли обучение.

По результатам дорожных или стендовых испытаний автомобиля программа автоматически генерирует недостающие точки в таблице базового циклового наполнения (рисунок 5).

В процессе сопоставления имеющей базового циклового наполнения с показаниями датчика кислорода, о составе смеси, программа рассчитывает поправку циклового наполнения для каждой рабочей точки (рисунок 6)

Рекомендуется, чтобы значения в таблице поправки должны попадать в диапазон 0,98–1.02. Это будет свидетельствовать о точном подборе состава смеси [8]. При несоответствии данному интервалу дорожные испытания повторяют уже на базе отредактированной программы ЭБУ.

По умолчанию, программа сохранит калибровки и лог в той же папке, где лежит программа, с которой производилась работа.

После настройки основных калибровок блока управления двигателем может выполняться корректировка угла опережения зажигания. Данная корректировка особенно актуальная, если автомобиль заправляется качественным высокооктановым топливом, которое позволяет избегать детонации в довольно широких пределах изменения угла опережения зажигания.

Угол опережения зажигания можно корректировать в режиме *on-line* как на инженерном (т.е. позволяющем корректировать данные

программы ЭБУ в режиме реального времени) так и на неинженерном блоке управления Январь 7.2. В программах openOLT либо R-tuner можно менять УОЗ в режиме on-line на обычном блоке.

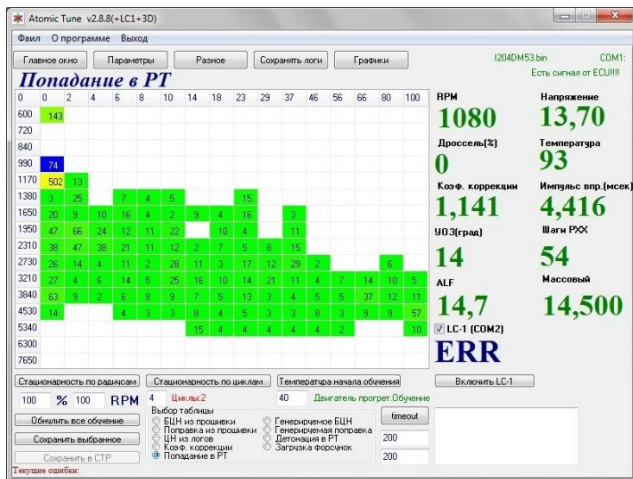


Рисунок 4 – Рабочее окно программы Atomic Tune отображающее заполнение информации о рабочих точках

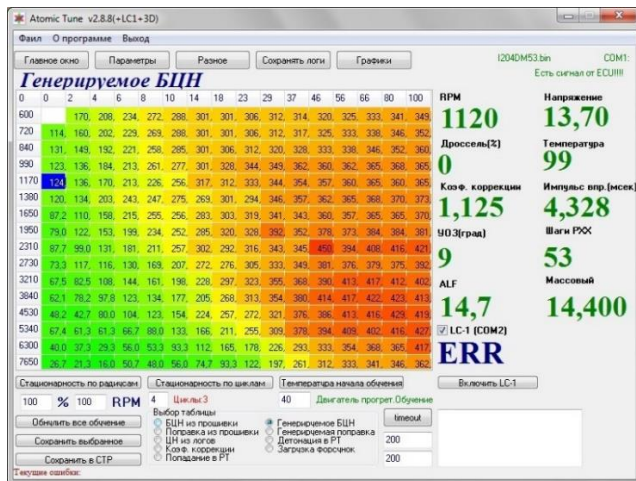


Рисунок 5 – Рабочее окно программы Atomic Tune с полученной, а также сгенерированной таблицей БЦН

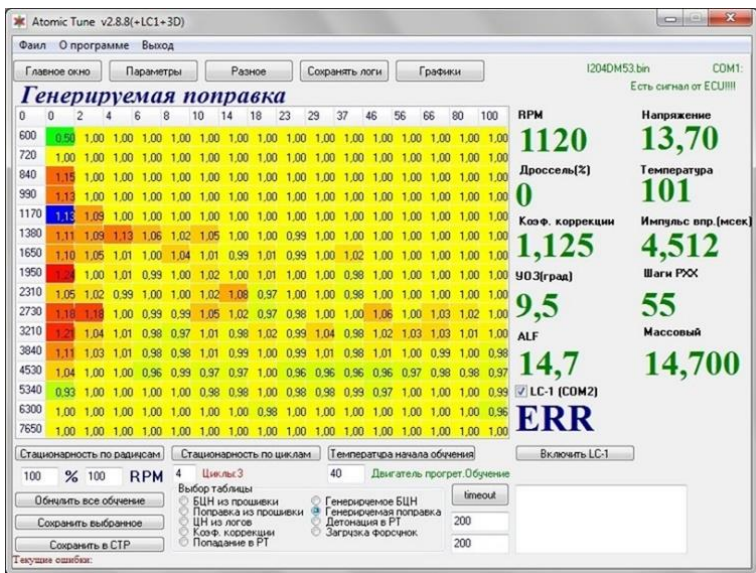


Рисунок 6 – Рабочее окно программы Atomic Tune с рассчитанной таблицей поправки циклового наполнения

При первичной подготовке программы управления кривые изменения УОЗ в базовой карте калибровок делаются ровными, без всяких резких перегибов, провалов. Затем во всём диапазоне рекомендуется его снизить на 2–3 градуса.

Корректировка угла опережения зажигания осуществляется по следующему принципу: увеличиваем угол зажигания по половине градуса в выбранном диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя. При улучшении динамических характеристик двигателя продолжаем корректировку угла в сторону увеличения. Для объективности показаний целесообразным представляется использование телеметрического оборудования. При начале детонационных шумов в двигателе необходимо прекратить увеличение угла и снизить его на 1–2 градуса в сторону уменьшения.

		Базовый УОЗ 2															
		Обороты коленвала, об/мин															
		288	672	1056	1440	1824	2208	2592	2976	3328	3712	4096	4480	4864	5248	5632	6016
Цикловое наполнение, мг/цикл	21,7	16,13	16,13	23,63	40,88	43,50	47,25	48,38	48,00	46,88	44,63	43,13	42,00	41,63	42,00	42,75	45,38
	48,8	16,13	16,13	23,63	40,50	42,75	46,88	48,00	47,63	46,13	43,88	42,38	41,25	40,88	41,63	42,38	44,63
	97,7	16,13	16,13	21,00	39,75	41,63	46,13	46,88	46,13	45,00	43,13	42,00	39,75	39,38	39,75	40,88	43,88
	151,9	16,13	12,00	18,75	37,50	39,38	43,13	43,88	43,88	43,13	40,88	39,75	37,88	37,88	37,88	38,25	42,00
	200,8	16,13	12,00	18,38	32,63	35,25	38,25	39,75	41,63	40,13	37,88	36,75	35,25	34,88	34,88	35,25	39,38
	249,6	9,00	9,75	18,38	25,88	29,63	31,88	34,50	37,50	36,75	34,50	33,38	32,25	31,88	32,25	32,25	34,88
	298,4	4,13	4,88	10,13	17,63	22,88	24,75	27,75	31,50	31,88	30,75	29,63	28,88	27,75	27,38	27,38	29,25
	347,3	1,50	1,88	4,13	11,25	16,13	19,13	22,50	26,25	27,38	27,38	26,63	25,50	24,00	24,38	24,00	23,63
	417,8	-2,25	-2,63	-2,63	4,13	9,38	12,75	17,25	19,50	21,75	22,50	22,13	20,63	20,25	20,25	19,88	19,50
	477,5	-4,50	-5,63	-6,00	0,75	4,13	8,63	13,13	14,63	18,00	18,75	18,00	17,25	18,00	18,00	17,63	17,25
	526,3	-6,00	-7,13	-7,50	-1,88	0,75	5,25	10,50	12,00	15,38	16,13	15,75	15,38	16,50	16,50	16,50	16,13
	634,8	-9,00	-10,88	-10,88	-5,25	-2,63	1,50	7,13	8,63	12,00	12,75	13,50	13,13	15,00	15,00	15,00	14,63

Рисунок 7 – Матрица угла опережения зажигания в зависимости от наполнения в программе OpenOLT

3. Результаты экспериментального исследования

Были проведены исследования микропроцессорной системы «MOTRONIC» Январь 7.2 ВАЗ 2110 на базе стенда НТЦ – 15.40.1 «Система питания двигателя с распределенным впрыском топлива» [6] а также на автомобиле, оснащённом ЭСУД.

Предварительно были внесены изменения в программу блока управления с помощью программы ChipTuningPro. Основная калибровка УОЗ была переработана по отношению к стандартной (рисунок 8). УОЗ отложен по вертикальной оси, частота вращения двигателя по горизонтальной. Также была полностью оптимизирована таблица базового циклового наполнения в программе Atomic Tune по алгоритму, приведенному в данной статье. Программа была испытана на двигателе ВАЗ 2103, оснащённом ЭСУД на базе ЭБУ Январь 7.2.

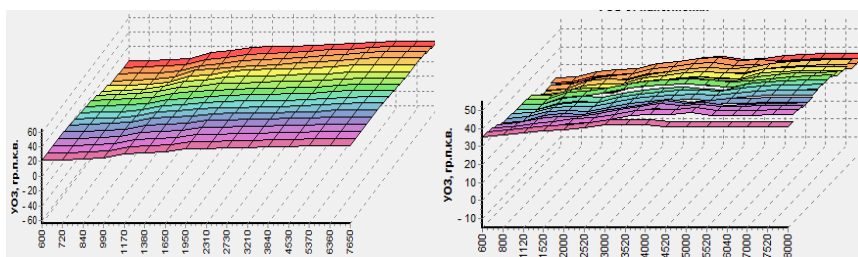


Рисунок 8 – Сравнение карт зажигания до и после внесения изменений в калибровку

Используя программу «OpenDiag» произвели проверку изменения угла опережения зажигания в зависимости от изменения положения дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала на стенде НТЦ – 15.40.1. Результаты измерений занесли в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений УОЗ на стенде

Частота вращения коленвала, об/мин	Угол открытия дроссельной заслонки						
	24°	34°	44°	54°	63°	72°	84°
480	6	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
1000	15,5	16,0	18,0	20,0	21,5	23,5	24,0
1520	19,5	21,0	23,5	27,0	30,0	33,0	33,0
2000	24,5	25,5	28,0	30,5	33,0	35,5	35,5
2520	25,5	26,0	28,5	32,0	34,5	36,75	36,5
3000	27,0	27,0	28,5	31,5	34,0	37,0	37,5
3520	27,5	27,5	29,0	32,5	35,5	37,5	37,5
4000	28,5	28,5	29,5	33,0	36,0	37,5	37,5
4520	29,0	29,0	33,0	37,5	37,5	37,5	37,5
5000	30,	30,0	34,0	38,0	38,0	38,0	38,0

Анализируя заданные базовые калибровки и полученные в результате на стенде в лабораторных условиях становится очевидно, что УОЗ не изменился прямо пропорционально внесенным в программу изменениям, однако в целом заметно полное алгебраическое соответствие заданной и полученной величин [7]. На практике процесс функционирования двигателя автомобиля изменился в лучшую сторону, однозначно можно утверждать о значительно более плавной и стабильной кривой изменения крутящего момента. На данный момент планируются испытания на стенде тягово-мощностных показателей [10]

Выводы

Экономия топлива от дополнительной корректировки заводской программы управления двигателем позволит выйти на самоокупаемость данной операции уже через 10000 километров пробега. В правильно настроенном двигателе увеличивается мощность и крутящий момент, становится шире полка крутящего момента. Экологические

показатели, как правило, не ухудшаются, или происходит их незначительное снижение, которое окупается возросшей управляемостью двигателя и меньшим расходом топлива в установившихся режимах.

Литература

1. Гиравец А.К. Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. Научное издание /

2. Савич, Е. Л. Диагностирование электронных систем управления автомобилей / Е. Л. Савич, А. С. Гурский; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2005. – 22 с. – Рус. – Деп. в ГУ «БелИСА» 30.03.2005 г., № Д200521.

3. Гурский, А. С. Современные технологии диагностирования электронных систем управления автомобилем / А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 31.

4. Гурский, А. С. Проблемы диагностирования приборов электрооборудования автомобилей / А. С. Гурский, В. К. Ярошевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологии, организации технического сервиса в АПК. – Минск, 2010. – С. 123–128.

5. Серебряков, И. А. Способ диагностирования электронного блока Mechatronic роботизированной коробки передач DSG / И. А. Серебряков, А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2015. – Т. 2. – С. 84–85.

6. НТЦ-15.40.1 «Система питания двигателем с распределенным впрыском топлива» // НТП «Центр» [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: http://ntpcentr.com/ru/catalog/15_00/15_40_1/. – Дата доступа: 10.05.2017.

7. Серебряков, И.А. Особенности использования мотор-тестера при диагностировании современных систем автомобиля/ Е.Л. Савич, А.С. Гурский, И.А. Серебряков/ Автомобиле- и тракторостроение: сб. статей по материалам Международной науч.-практ. конф., Минск, 14–18 мая. 2018 г.

8. Серебряков, И.А. Проблема выбора программного обеспечения в учебном процессе технического вуза / И.А. Серебряков, Н.Г. Се-

ребрякова// Математика и информатика в естественнонаучном и гуманитарном образовании: матер. междунар. научно-практ. конф., Минск, 20–21 апреля 2012 г. / Министерство образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т; редкол.: В.А. Еровенко [и др.]. - Минск, 2012. - С. 266–268.

9. Электрический прерыватель для системы зажигания двигателей внутреннего сгорания: пат. 4686 Респ. Беларусь, МПК F02P 7/06 / Г.А. Самко, А. С. Гурский; заявитель Белорусская государственная академия. – № а 19981201; заявл. 30.12.98; опубл. 30.09.02 // Афiцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. – № 4. – С.19 – 21.

10. Гурский, А. С. Стенд для диагностирования различных типов роботизированных коробок передач = Stand for diagnosis of various types robotic transmission / А. С. Гурский, И. А. Серебряков // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. Безопасность дорожного движения: сборник научных трудов (По результатам Международной научно-практической конференции) / Белорусский национальный технический университет [и др.]. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 428–431.

11. Гурский А.С., Серебряков И.А. Метод диагностирования коробок передач DSG// Изобретатель. – 2016. – №10(202). – С. 43–45.

12. Смирнов, Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей / Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов. – СПб.: Лань, 2012. – 624 с.