

Р. И. Голлауэр,
кафедра тракторов

ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ НЕИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЧАСТИ ТОПЛИВА

В процессе смесеобразования карбюраторного двигателя принимают участие воздух и топливо.

Можно предположить, что при отсутствии или при незначительном перекрытии фаз распределения впускного и выпускного клапанов воздух, поступивший при впуске, весь остается в цилиндре и, при надлежащей герметичности последнего, полностью принимает участие в процессе сгорания. Согласно указанию проф. Масленникова (1), значительная продувка камеры сгорания свежей смесью начинается при увеличении угла перекрытия фаз газораспределения свыше $70-80^\circ$; при меньших углах перекрытия, очистка камеры сгорания весьма невелика. Перекрытие фаз у большинства существующих карбюраторных двигателей не достигает указанной величины.

Что касается второго компонента свежего заряда — топлива — то замечено, что не все его количество, израсходованное из бака, участвует в сгорании; некоторая его часть теряется — выпадает из горючей смеси.

Потери топлива в двигателе могут идти двумя путями: в картер и в выпускную систему.

Этими путями может теряться как жидкое, так и топливо в парообразном и взвешенном состояниях.

В общем случае можно написать следующее уравнение баланса расхода топлива:

$$G_{\text{тр}} = G_{\text{т}} + G_{\text{ткж}} + G_{\text{ткп}} + G_{\text{твж}} + G_{\text{твп}} \left(\frac{\text{кг}}{\text{час}} \right)$$

- $G_{гр}$ — топливо, расходуемое из бака.
 $G_{г}$ — топливо, принимающее участие в сгорании.
 $G_{гжк}$ — топливо, проникшее в картер в жидком виде.
 $G_{гкп}$ — топливо, проникшее в картер в парообразном и взвешенном состояниях.
 $G_{гвж}$ — топливо, попавшее в выпускную систему в жидком виде.
 $G_{гвп}$ — топливо, попавшее в выпускную систему в парообразном и взвешенном состояниях.

Топливо, принимающее участие в сгорании — $G_{г}$ с химической точки зрения сгорает далеко не совершенно; вследствие этого в продуктах сгорания находятся в больших или меньших количествах продукты неполного окисления: окись углерода, метан, водород; это обстоятельство снижает тепловой эффект реакции сгорания.

Выпадение части топлива из горючей смеси и несовершенство реакции сгорания — явления весьма нежелательные.

Настоящая работа ставит задачу:

1. Выяснить причины, влияющие на величину неиспользуемой части топлива.

2. Выяснить причины, влияющие на неполноту химической реакции сгорания.

3. Исследовать возможности повышения показателей работы карбюраторного двигателя за счет использования теряемой части топлива.

Рассмотрение литературных материалов, как теоретических, так и опытных, позволяет сделать следующие выводы:

1. Количество топлива, участвующее в процессе сгорания, находится в прямой зависимости от качества смесеобразования; с улучшением качества смесеобразования уменьшается величина неиспользуемой части топлива.

Существенное влияние на качество смесеобразования, кроме прочих факторов, оказывает подогрев свежего заряда или его компонентов; подогрев компонентов свежего заряда, однако, следует признать менее предпочтительным, чем подогрев смеси.

2. Полнота химической реакции сгорания, при действительном коэффициенте избытка воздуха равном единице, находится, по-видимому, в прямой зависимости от полноты испарения топлива.

Под действительным коэффициентом избытка воздуха понимается его значение, подсчитанное из обычного соотношения,

но при тех количествах воздуха и топлива, которое действительно принимает участие в процессе сгорания.

На количество испарившегося топлива особенное влияние имеет температура.

3. Применяются, как нерегулируемый так и регулируемый способы подогрева смеси. При нерегулируемых устройствах осуществляются: либо местный и частичный подогревы смеси, для топлива с хорошей испаряемостью, либо полный, для топлива с плохой испаряемостью. Эти устройства не обеспечивают необходимой интенсивности подогрева. При регулируемых устройствах интенсивность подогрева может изменяться в зависимости от режима работы двигателя.

4. Одним из способов для уменьшения количества неиспользуемого топлива и увеличения полноты химической реакции сгорания, является введение регулируемого по нагрузке подогрева смеси во впускном трубопроводе. Это дает возможность поддерживать температуру смеси на наиболее выгодном уровне при надлежащих мощностных и экономических показателях.

Исходя из изложенного, экспериментальное исследование возможностей повышения показателей работы карбюраторного двигателя, за счет использования теряемой части топлива, было проведено при осуществлении регулируемого по нагрузке подогрева горючей смеси.

Методика исследования

Исследование имело своей целью установить, количественную и качественную стороны изменения, неиспользуемого количества топлива и нижеперечисленных параметров, характеризующих процессы сгорания и смесеобразования, а также работу карбюраторного двигателя в зависимости от интенсивности подогрева при различных нагрузочных режимах для двух топлив различного фракционного состава.

Параметрами, характеризующими процесс сгорания были выбраны:

1. Коэффициент избытка воздуха, отнесенный ко всему израсходованному топливу α_f , формальный коэффициент избытка воздуха.

2. Коэффициент избытка воздуха, отнесенный к топливу, принимающему участие в сгорании α_g , действительный коэффициент избытка воздуха.

3. Коэффициент сгорания топлива k , учитывающий количество топлива, вступившего в реакцию сгорания.

4. Коэффициент химического совершенства сгорания λ , учитывающий полноту химической реакции горения.

5. Коэффициент выделения тепла из топлива $\chi = \kappa \lambda$, представляет собою произведение коэффициентов сгорания и химического совершенства сгорания.

Параметрами, характеризующими процесс смесеобразования, являлись:

1. Температура воздуха, поступающего в двигатель.

2. Температура горючей смеси в разных точках впускной системы.

3. Температура внутренней стенки впускного трубопровода.

4. Разрежение перед карбюратором и во впускном канале коллектора.

5. Скорость потока смеси в различных сечениях впускного тракта (при входе в коллектор, в канале коллектора, в проходном сечении клапана).

6. Количество топливной пленки.

Относительно топливной пленки необходимо сделать следующее замечание. Если бы вся пленка, движущаяся по стенкам впускных каналов, не принимала участия в процессе сгорания, то отбором ее из впускного коллектора можно было бы установить количество топлива, теряемого этим путем.

В действительности же, с одной стороны, часть пленки принимает участие в сгорании, а с другой — часть топлива, бывшая до поступления в цилиндр в парообразном состоянии, может сконденсироваться от соприкосновения с относительно холодными стенками цилиндра, просочиться в картер и, следовательно, не участвовать в сгорании. Таким образом, отобранное из коллектора количество пленки не будет представлять количества топлива, выпавшего из смеси.

Является очевидным и тот факт, что чем совершеннее процесс смесеобразования, тем меньшее количество топлива будет осаждаться в виде пленки.

Сравнение показателей работы двигателя с отбором и без отбора пленки, может дать дополнительный материал для характеристики процесса смесеобразования.

Параметрами, характеризующими работу двигателя, были:

1. Эффективная мощность.

2. Часовой и удельный расходы топлива.

3. Коэффициент наполнения.

Исследование проводилось на новом двигателе трактора Универсал Владимирского завода со следующим оборотованием:

1. Гидравлическим тормозом типа Т-4.
2. Установкой с дроссельным прибором для замера расхода воздуха.
3. Приспособлением для отбора топливной пленки, движущейся по стенкам коллектора.
4. Приспособлением для сбора топлива, стекающего по стенке цилиндра в картер.
5. Пьезометрической установкой для замера давлений.
6. Термопарами (медь-константан) для замера температуры горючей смеси и стенки коллектора.
7. Приспособлением для замера угла опережения зажигания.
8. Градуированными дисками для замера угла открытия дроссельной заслонки и поворота регулировочного колпачка жиклера.
9. Отводной трубкой для отбора проб отработавших газов.
10. Экспериментальным коллектором, допускающим, в необходимых пределах, возможность изменять интенсивность подогрева.

Двигатель прошел обкатку по расширенной программе и был приведен в надлежащее техническое состояние.

Число оборотов двигателя при всех опытах поддерживалось постоянным ~ 1200 об/мин.; опыты проводились на двух топливах: тракторном керосине и автобензине А-66. Угол опережения зажигания оставался неизменным. Все опыты начинались после того, как тепловой и скоростной режимы двигателя устанавливаются. Температура воды, выходящей из двигателя, поддерживалась на протяжении опыта постоянной — 95° , за счет добавления из водопровода. Температура масла в картере в начале всех опытов устанавливалась примерно постоянной. Температура воздуха в помещении лаборатории поддерживалась близкой к постоянной.

В результате первой группы опытов со стандартным коллектором, т. е. при нерегулируемом подогреве, были выявлены зависимости исследуемых параметров при работе двигателя, на холостом ходу и при нагрузке в 25, 50, 75 и 100% максимальной мощности. Значения максимальной мощности принимались по предварительно снятым регулировочным характеристикам. Режим работы двигателя изменялся путем изменения нагрузки и положения дроссельной заслонки при выключенном регуляторе числа оборотов. Углы открытия дроссельной заслонки и регулировка карбюратора устанавливались по регулировочным характеристикам с целью обеспечения равенства давлений и

скоростей горючей смеси во впускной системе, а также равенства расходов топлива.

Продолжительность отдельного опыта, по этой группе, на каждом режиме (при данном открытии дроссельной заслонки) была принята равной одному часу, исходя из соображений возможности сбора топлива, стекающего по стенке цилиндра.

Для этой цели на гильзах цилиндров были смонтированы уловители; отвод собираемой маслтопливной смеси в приемный сосуд производился при помощи трубок диаметром 6/4 мм, пропущенных через отверстия в крышках смотровых люков.

Опыт проводился по следующей методике. Двигатель прогревался на бензине до температуры воды в системе охлаждения — 95° , затем в картер заливалось свежее масло по верхний уровень. После запуска, прогрева и установки двигателя на соответствующий режим, отбиралась проба масла ~ 200 г, через специальный кран на масляной магистрали; предварительно спускалось ~ 30 г масла из соединительной трубки.

Затем спускалось ~ 150 г содержимого системы трубок приспособления для улавливания топлива, стекающего по стенкам цилиндров, и начиналось поступление маслтопливной смеси (так как вместе с топливом отводится и масло) в приемный сосуд. Этот момент считался началом опыта. Через каждые 10 минут производились замеры: перепада давления в дроссельном приборе, разрежения во впускных каналах, числа оборотов, расхода топлива, нагрузки тормоза, температур горючей смеси, стенок коллектора, воздуха, воды и масла. Из выпускного коллектора через 15 минут отбирались пробы отработавших газов в пипетки, емкостью 500 см^3 ; пипетки заполнялись раствором хлористого кальция; время истечения раствора было отрегулировано на 3 минуты. Опыт прекращался по истечении одного часа. За это время в приемный сосуд поступало ~ 3000 г смеси; из картера сливали ~ 4000 г масла. Увеличение продолжительности опыта повлекло бы за собою опускание уровня масла в картере ниже допустимого.

Вторая группа опытов проводилась на двигателе, оборудованном экспериментальным коллектором, в два этапа.

Опыты первого этапа этой группы имели целью установить влияние температуры смеси на мощность двигателя.

Так как максимальное значение мощности, при неизменном часовом расходе топлива, совпадает с наибольшей экономичностью, то можно было предположить, что при той же температуре смеси, при которой имеет место указанное совпадение, будут также минимальны потери топлива.

Опыты этого этапа начинались с установления определенного режима работы двигателя, соответствующего режиму работы его со стандартным коллектором, т. е. при одних и тех же углах открытия дроссельной заслонки, расходах топлива и температурах смеси. Затем температуру смеси уменьшали, при неизменных: открытии дроссельной заслонки, регулировке карбюратора и числе оборотов. Достигнув возможного минимума, температуру смеси постепенно повышали. Таким образом, получался ряд промежуточных значений мощности. Опыты прекращались после достижения явно выраженного перегиба кривой мощности. Температура смеси, при которой мощность двигателя достигает максимального значения, названа оптимальной. Длительность опыта при каждом значении температуры 10—15 минут; замеры непосредственно наблюдаемых величин производились по той же программе — через 5 минут. Отбор маслостойкой смеси из уловителей на гильзах не производился.

Опыты второго этапа с экспериментальным коллектором имели целью выявить зависимости исследуемых параметров от нагрузки двигателя, при оптимальной температуре горючей смеси. Опыты эти проводились по той же методике, что и опыты первой группы со стандартным коллектором.

Следующие соображения были положены в основу при выборе методики определения неиспользуемого количества топлива.

В картер проникает некоторая часть топлива в жидком виде; однако наряду с поступлением топлива в картер, идет процесс испарения и удаления паров топлива из него через систему вентиляции; таким образом, изменение содержания топливных фракций в масле за определенный отрезок времени, неравно количеству топлива, попавшему в картер за то же время. Собранный после разгонки отработанного масла по методам ГОСТ № 2478 или № 1529 топливный дистиллат количественно не будет соответствовать выпавшему из смеси топливу.

Также нельзя судить о количестве топлива, потерянного в картер, по изменению вязкости масла, динамической или кинематической. Вязкость масла изменяется не только вследствие изменения содержания в нем топливных фракций, а также вследствие химических процессов; процессы эти влекут за собою как увеличение, так и снижение вязкости. Поэтому применен метод непосредственного сбора топлива, проникающего в картер в жидком виде, при помощи специальных уловителей.

Топливо, стекающее по стенке цилиндра, в смеси с маслом, непрерывно отводится в сборный сосуд.

Для извлечения топлива из смеси метод разгонки по ГОСТ не мог быть применен, так как предполагает нагревание до значительных температур и сопровождается крекингом. Метод разгонки с паром оказался также неприемлемым; капельки воды, попадая в масло, мгновенно испарялись, вызывая переброс масла в холодильник. Избран был вакуумный метод разгонки при 10 мм остаточного давления.

Кроме жидкого топлива, в картер через неплотности поршня имеет место утечка газов из цилиндра; они представляют собою смесь свежего заряда с остаточными газами. Утечка газов, достигая значительной величины при изношенной поршневой группе, при нормальном состоянии двигателя незначительна. По данным НАМИ (2) для одного цилиндра диаметром 100 мм, утечка не превышает 5—12 л/мин.; по опытам, проведенным в ЦНИИАТ (3,4) при полной нагрузке, утечка газов составила для двигателя ГАЗ-51, 25л/мин. и для двигателя ЗИЛ-120, 35 л/мин.; по отношению к израсходованному топливу это составит 0,43 и 0,45%. По нашим опытам при полной нагрузке отбиралось за один час 18 г смеси топлива с маслом: если даже пренебречь содержанием масла в смеси, то потеря составит 0,25% израсходованного топлива; количество весьма незначительное.

В выпускную систему вместе с отработавшими газами может попасть также часть жидкого топлива. На такую возможность, например, имеется указание в Техническом отчете № 48 НАМИ (5). О количественной стороне этого явления указаний в литературе не обнаружено. Можно, однако, предположить, что при отсутствии чрезмерного обогащения, количество жидкого топлива, попадающего в выпускную систему незначительно.

Потеря топлива в выпускную систему в парообразном и взвешенном состояниях могла бы иметь место при продувке цилиндров свежим зарядом, вызываемой перекрытием фаз распределения. Профессор И. М. Ленин (6) считает, что вследствие мгновенного уравнивания давлений около впускного и выпускного клапанов при явлении перекрытия не может происходить проникновения свежей смеси в выпускные патрубки.

Опытный двигатель практически не имеет перекрытия фаз.

Рассмотрев возможные пути выпадения топлива из рабочей смеси, приходим к выводу, что практически ощутимым является лишь топливо, проникшее в картер в жидком виде.

Кроме непосредственного сбора теряемого топлива, для определения его количества применялся еще метод газового анализа. Этот метод позволил подсчитать действительный коэффициент избытка воздуха при сгорании топлива в цилиндре, т. е. почти точно определить количество топлива, принимающего участие в сгорании. Для снижения погрешностей метода были предусмотрены необходимые меры: газозаборная аппаратура, проверялась разрежением порядка 700 мм рт. ст; вредное пространство газоанализатора ВТИ было доведено до минимума (7). Результаты определения расхода воздуха по замеру и по газовому анализу показали хорошую сходимоть.

Методика измерений и их точность

В работе применялась обычная методика измерений, должное внимание было уделено градуировке измерительных приборов.

Точность результатов измерения, учитывая единичность опытов, оценивалась на основании предельной ошибки результата, которая определялась по предельным ошибкам отдельных измерений; предполагалось, что все частные ошибки направлены в одну сторону, независимо от знака, получаемого при дифференцировании.

В качестве вероятной ошибки принималась величина средней квадратичной ошибки, приблизительно равная $1/3$ предельной ошибки.

Найденные, указанным способом, относительные вероятные ошибки составят при определении:

Эффективной мощности:

режим 100% мощности — 0,95%

режим 25% мощности — 2,2%

Часового расхода топлива:

режим полной мощности — 0,5%

режим холостого хода — 0,62%

Удельного расхода топлива:

режим 100% мощности — 1,45%

режим 25% мощности — 2,82%

Расхода воздуха — 2,48%

Температуры (при помощи термопар) — 2,62%

Потери топлива в картер — 3,32%.

Таблица I

Режим работы двигателя	Открытие дросселя (в градусах)	Расход топлива ($\frac{\text{кг}}{\text{час}}$)	Мощность (л. с.)	Удельный расход топлива ($\frac{\text{г}}{\text{л. с. ч.}}$)	Т-ра горючей смеси			Потери топлива в картер	
					за дросселем	каналы коллектора	каналы головки	$\frac{\text{кг}}{\text{час}}$	% к расходу
Холостой хол 25% мощности 50% мощности 75% мощности 100% мощности	12	2,95	0	—	75	132	115	0,48	16,2
	16	3,60	6	600	76	150	135	0,43	11,9
	22	4,58	12	384	71	144	134	0,39	8,5
	32	5,95	18	330	65	135	128	0,36	6,0
	74	7,30	23,5	310	59	121	118	0,31	4,2

Таблица 2

Режим работы двигателя	Открытие дросселя (в градусах)	Расход топлива ($\frac{\text{кг}}{\text{час}}$)	мощность (л.с.)	Удельный расход топлива ($\frac{\text{г}}{\text{л.с.ч.}}$)	Т-ра горючей смеси			Потери топлива в картер	
					за дросселем	каналы коллектора	каналы головки	кг/час.	% к расходу
Холостой ход 25% мощности 50% мощности 75% мощности 100% мощности	12	2,86	0	—	120	200	160	0,39	14,4
	16	3,68	7,1	526	80	155	135	0,37	10,0
	22	4,60	12,9	356	67	135	120	0,36	7,8
	32	5,95	18,8	316	57	115	107	0,34	5,7
	74	7,32	24,5	300	50	100	100	0,32	4,4

Таблица 3

Режим работы двигателя	Открытие (росседа (в градусах)	Расход топлива (кг/час.)	Мощность (л.с.)	Удельный расход топлива (г/л.с.ч.)	Т-ра горючей смеси		
					за дросселем	каналы коллектора	каналы головки
Холостой ход	12	2,90	0	—	89	151	132
25% мощности	16	3,63	5,6	650	92	164	146
50% мощности	22	4,66	11,4	410	80	160	143
75% мощности	32	6,00	17,0	353	70	152	136
100% мощности	74	7,35	21,6	340	60	140	130

Таблица 4

Режим работы двигателя	Открытие дросселя (в градусах)	Расход топлива ($\frac{\text{кг}}{\text{час}}$)	Мощность (л. с.)	Удельный расход топлива ($\frac{\text{г}}{\text{л. с. ч.}}$)	Т-ра горючей смеси		
					за дросселем	каналы коллектора	каналы головки
Холостой ход	12	2,80	0	—	80	160	140
25% мощности	16	3,69	5,9	610	50	124	113
50% мощности	22	46,8	12,1	388	30	90	90
75% мощности	32	6,07	18,2	334	15	62	72
100% мощности	74	7,34	24,0	306	17	46	63

Таблица 5

Режим работы двигателя	Керосин		Бензин	
	увеличение мощности, %	увеличение эко- номичности, %	увеличение мощности, %	увеличение эко- номичности, %
	25 % мощности	18,3	12,3	5,4
50 % мощности	7,5	7,3	6,1	5,4
75 % мощности	4,4	4,2	7,0	5,4
100 % мощности	4,2	3,2	11,1	10,0

Результаты исследования и выводы

Результаты обработки опытных данных по мощности и экономичности приводятся в виде нижеследующих таблиц: при работе двигателя на керосине с нерегулируемым подогревом (таблица 1) и с регулируемым подогревом (таблица 2); при работе двигателя на бензине с нерегулируемым подогревом (таблица 3) и с регулируемым подогревом (таблица 4).

Рассмотрение представленных данных позволяет сделать следующие замечания и выводы:

1. Потеря топлива в картер имеет место при всех режимах работы двигателя: наибольшего значения эта потеря достигает при холостом ходе.

2. При нерегулируемом подогреве температура горючей смеси имеет максимальное значение не при холостом ходе.

3. Температуры горючей смеси при холостом ходе и неполных нагрузках не обеспечивают достаточного испарения топлива.

4. При режиме полной мощности температура горючей смеси выше необходимой; следствием этого является уменьшение коэффициента наполнения.

5. Причины 3 и 4 влекут за собою снижение мощности на всех режимах.

6. Так как исследование проводилось при одинаковых расходах топлива, то снижение мощности сопровождается снижением экономичности на всех режимах.

7. Регулируемый подогрев должен обеспечить максимальную температуру горючей смеси при холостом ходе с постепенным снижением ее по мере увеличения нагрузки двигателя.

8. Введение регулируемого подогрева приводит к улучшению показателей работы двигателя, указанных в таблице 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Масленников. Новое уравнение коэффициента наполнения и критика существующих уравнений. Труды ЦИАМ, № 75, 1944.

2. НАМИ. Термодинамическое исследование пропуска газа на параметры теоретического цикла двигателя. Технический отчет № 75, 1950.

3. Н. Брусянцева, Д. Левин. Влияние степени изношенности двигателя на сроки смены смазочного масла. «Автомобиль», № 4, 1950.

4. Н. Брусаянцев, Д. Левин. Сроки смены масла в двигателях автомобилей ЗИС-150. «Автомобиль», № 6, 1951.
5. НАМИ. Исследование и расчет впускных трубопроводов карбюраторного двигателя. Технический отчет № 48, 1949.
6. И. М. Ленин. Рабочие процессы и карбюрация в автомобильных двигателях. Машгиз, 1947.
7. В. И. Сороко-Новицкий. Испытания автотракторных двигателей. Машгиз, 1955.