

11, ноябрь, 2015

УДК 621.434

**Расчетная оценка эффективности применения циклов Миллера и
Аткинсона для снижения расхода топлива двигателя легкового
автомобиля на частичных режимах работы**

Бобылев А.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Поршневые двигатели»*

Волков Н.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Поршневые двигатели»*

Научный руководитель: Зенкин В.А., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кафедра «Поршневые двигатели»*

ivaschen@power.bmstu.ru

При эксплуатации автомобильного двигателя преобладающее значение имеют частичные режимы работы, на которых двигатель работает особенно много при езде по городу. Для оценки потребления топлива в городском режиме используется ездовой цикл по ГОСТ Р 41.84-99 [1]. Согласно требованиям ГОСТ, при испытаниях скорость транспортного средства поддерживается в соответствии с графиком, приведенным на рис. 1. При испытаниях проводится замер расхода топлива для указания производителем в качестве паспортных данных. Процесс измерения проходит с использованием беговых барабанов и специальной аппаратуры, позволяющей замерять расход топлива.

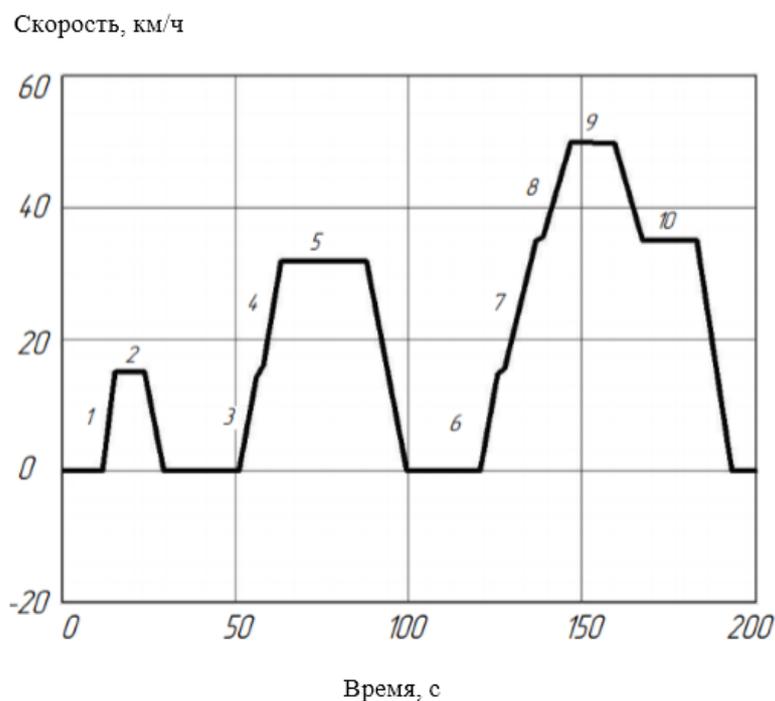


Рис. 1. Городской ездовой цикл по ГОСТ Р 41.84-99

Ключевое влияние на эксплуатационный расход топлива оказывают показатели работы двигателя на частичных режимах. Выход на частичные режимы работы для двигателей с воспламенением электрической искрой осуществляется количественным методом. Традиционная конструкция управления двигателем подразумевает регулируемое сопротивление на впуске, осуществляемое дроссельной заслонкой, что значительно повышает расход топлива на частичных режимах работы. В связи с этим, в современных системах управления двигателем стремятся снизить или убрать данное сопротивление для снижения эксплуатационного расхода топлива. Существует несколько методов для достижения такого результата (как, например, система *Valvelift* от Audi), в работе *Combined Miller/Atkinson strategy for future downsizing concepts* [2], например, рассматривается способ снижения расхода топлива с помощью применения циклов Миллера и Аткинсона. Суть данных циклов заключается в более эффективном использовании топлива за счет снижения фактической степени сжатия относительно геометрической. Другими словами, степень сжатия (ограниченная топливом) при данных циклах гораздо меньше степени расширения, что дает возможность более эффективно использовать энергию расширяющихся в цилиндре газов. Различие между циклами Миллера и Аткинсона заключается в способе реализации: как показано на рис. 2, в цикле Миллера используется раннее закрытие впускного клапана (до нижней мертвой точки (НМТ)), а в цикле Аткинсона - позднее (значительно позже НМТ). [3, 4]



Рис. 2. Фазовые диаграммы впускного клапана: а) цикл Аткинсона;
б) цикл Миллера

Побочным эффектом использования данного метода является снижение мощности двигателя. Для того, чтобы сохранить эффективные показатели двигателя на номинальном режиме и по внешней скоростной характеристике, требуется либо увеличение мощности на этих режимах, либо использование системы изменения фаз газораспределительного механизма (ГРМ), позволяющей использовать циклы Миллера и Аткинсона только на частичных режимах. Существует несколько разновидностей таких систем, отличающихся регулируемыми параметрами:

- системы, использующие поворот распределительного вала с помощью гидромфты;
- системы, использующие несколько кулачков с различным профилем;
- системы, использующие изменение высоты подъема клапанов.

Для целей данной работы подходят только системы второго типа, т.е. использующие несколько кулачков газораспределительного механизма с различным профилем, т.к. остальные типы не обеспечивают регулирование продолжительности открытия впускного клапана. В качестве примеров таких систем можно привести системы *VTEC (Honda)*, *VVTL-i (Toyota)*, *MIVEC (Mitsubishi)* и т.д. Как правило, данные системы имеют схожую конструкцию: распределительный вал имеет два (либо три) кулачка с различным профилем, каждый из которых соединен коромыслом с клапанами (см. рис. 3). Система управления обеспечивает переключение с одного режима на другой путем срабатывания блокирующего механизма, который меняет коромысло, с помощью которого осуществляется привод клапанов.[5]

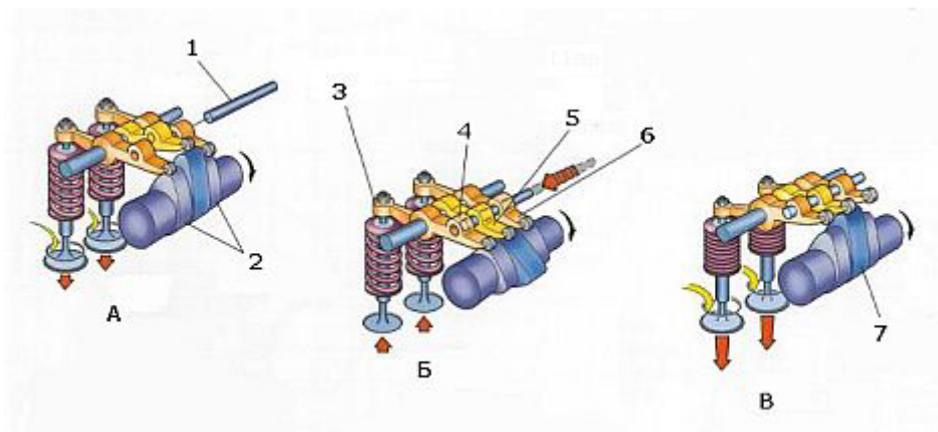


Рис.3. Схема работы системы VTEC:

1. блокирующий механизм (*стопорный штифт*);
2. малые кулачки (*кулачки реализации циклов Миллера/Аткинсона*);
3. впускной клапан;
4. коромысло (*рокер*) первого впускного клапана;
5. промежуточное коромысло;
6. коромысло второго впускного клапана;
7. большой кулачок (*кулачок стандартных фаз*)

- А.** Режим использования кулачка, реализующего циклы Миллера/Аткинсона
Б. Переход с одного режима на другой
В. Режим использования кулачка стандартных фаз

Таким образом, целями данной работы являются оценка эффективности применения циклов Миллера и Аткинсона для снижения расхода топлива двигателя ЗМЗ-409, установленного на а/м УАЗ Патриот, и определение оптимального угла закрытия впускного клапана на кулачке частичных режимов, а также размер экономии топлива в действительном ездовом цикле при использовании данной системы.

Поставленная задача решалась расчетным образом с помощью программного комплекса Дизель-РК [6]. В качестве первого этапа была проведена идентификация математической модели двигателя ЗМЗ-409 (4Ч 9,55/9,4) по внешней скоростной характеристике. Сравнение расчетных и экспериментальных значений эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива приведены на рис. 4.

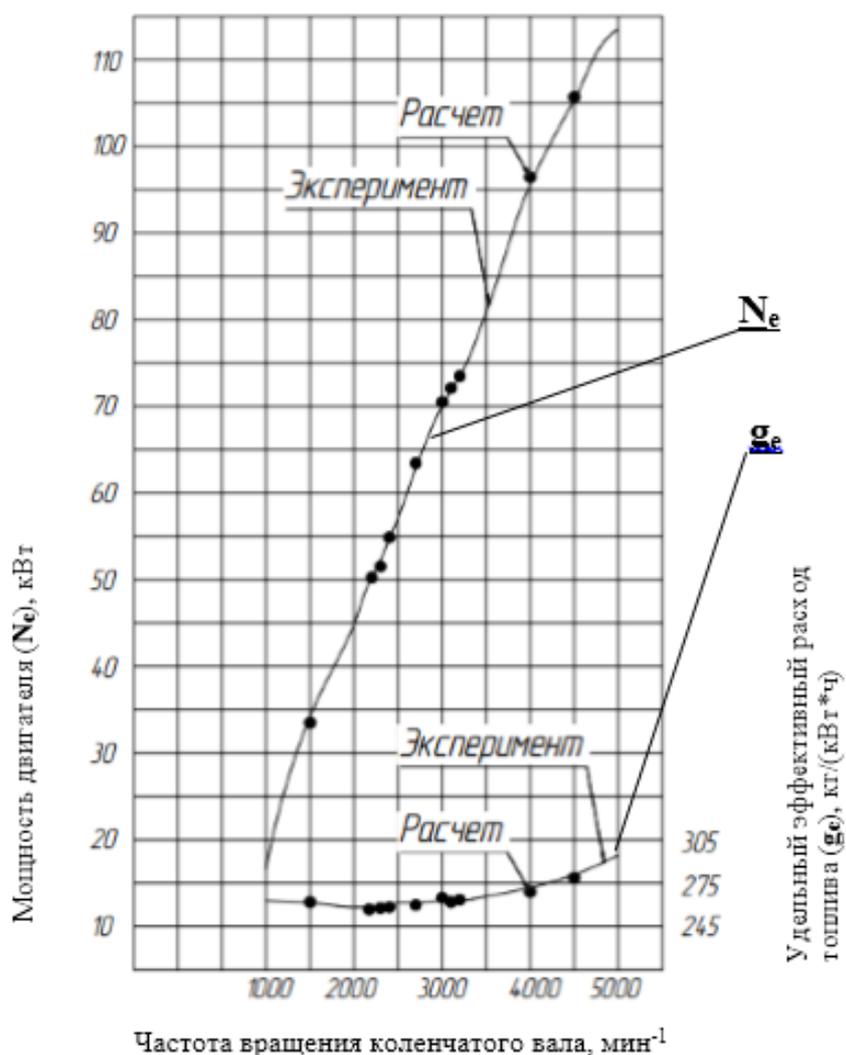


Рис.4. Эффективная мощность и удельного эффективного расхода топлива по ВСХ для двигателя ЗМЗ-409 (4Ч 9,55/9,4)

Для определения расхода топлива по городскому ездовому циклу использован тяговый расчет а/м УАЗ Патриот, опубликованный в [7]. При этом участки разгона автомобиля условно заменялись стационарными режимами работы двигателя со следующими параметрами: частота вращения коленчатого вала соответствует средней скорости автомобиля на данном участке ускорения, мощность двигателя соответствует мощности сопротивления движению из тягового расчета с учетом ускорения автомобиля на данном участке. В результате, на основе графика сопротивления движению транспортного средства были получены точки частичных режимов работы двигателя (рис. 5). Путем объединения данных точек были выбраны характерные режимы работы двигателя, для которых выполнялась оптимизация рабочего процесса (рис. 6).

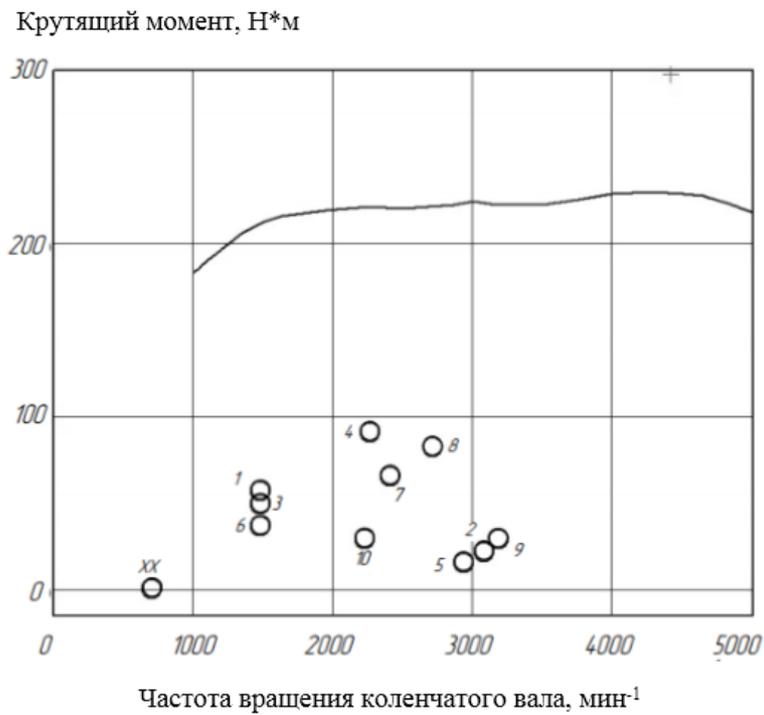


Рис. 5. Точки частичных режимов работы двигателя по городскому ездовому циклу

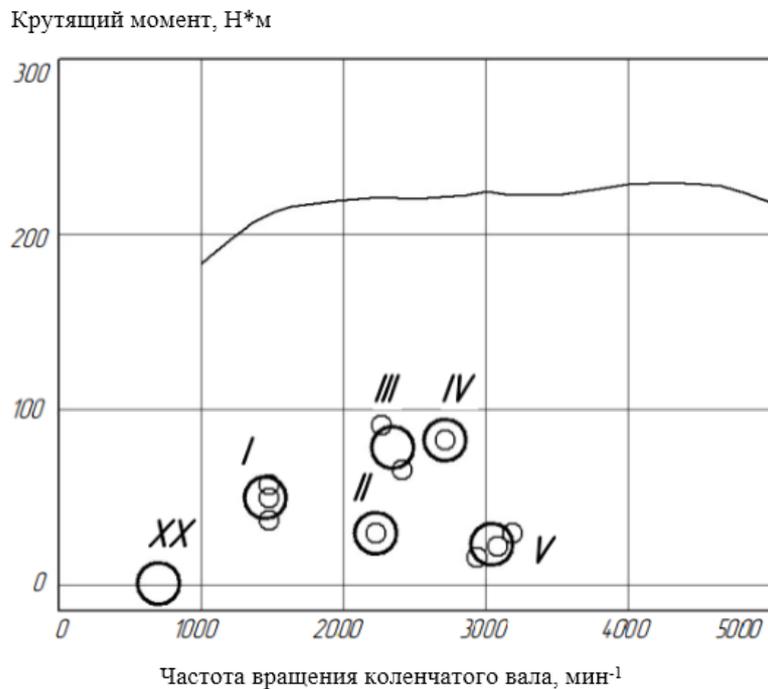


Рис. 6. Характерные режимы работы двигателя

Итоговые значения эксплуатационного расхода топлива определялись по формулам (1) и (2):

$$m_i = \frac{N_{ei} * g_{ei} * t_i}{3600}, \quad [\text{кг}] \quad (1)$$

где m_i – масса сгоревшего топлива на i -ом режиме движения, кг;

N_{ei} – эффективная мощность на i -ом режиме движения, кВт;

g_{ei} – удельный эффективный расход топлива на i -ом режиме движения, кг/(кВт·ч);

t_i – продолжительность движения на i -ом режиме движения, с;

$$G_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^6 m_i}{S_{\text{цикла}} * \rho} * 10^5, \quad \left[\frac{\text{л}}{100\text{км}} \right] \quad (2)$$

где G_{Σ} – суммарный расход топлива;

$S_{\text{цикла}}=1013$ м – расстояние, пройденное за цикл;

$\rho=750$ кг/м³ – плотность бензина.

В первую очередь, был вычислен расход топлива при использовании традиционной схемы с дроссельной заслонкой. Результатом данного расчета является величина 17,1 л/100км.

Далее для выхода на характерные режимы работы были применены циклы Миллера и Аткинсона без использования дроссельной заслонки. Для каждого режима был получен определенный угол закрытия впускного клапана, при котором обеспечивалась требуемая мощность. Предполагается, что на данный двигатель будет установлена система изменения фаз ГРМ, следовательно в конструкции будет 2 различных кулачка, обеспечивающих различные фазы закрытия впускного клапана: штатный угол и выбранный по результатам данного исследования. При выходе на характерные режимы работы предполагается использовать один из этих кулачков и, при необходимости, дроссельную заслонку. Для каждого из углов закрытия впускного клапана, обеспечивающих требуемую мощность на заданных режимах, был определен расход топлива с учетом того, что выход на режимы осуществлялся по возможности кулачком частичных режимов. Для режимов, мощность которых не может быть обеспечена использованием данных углов закрытия впускного клапана, использовался кулачок стандартных фаз ГРМ и дроссельной заслонкой. Результаты расчета приведены на рис. 7.

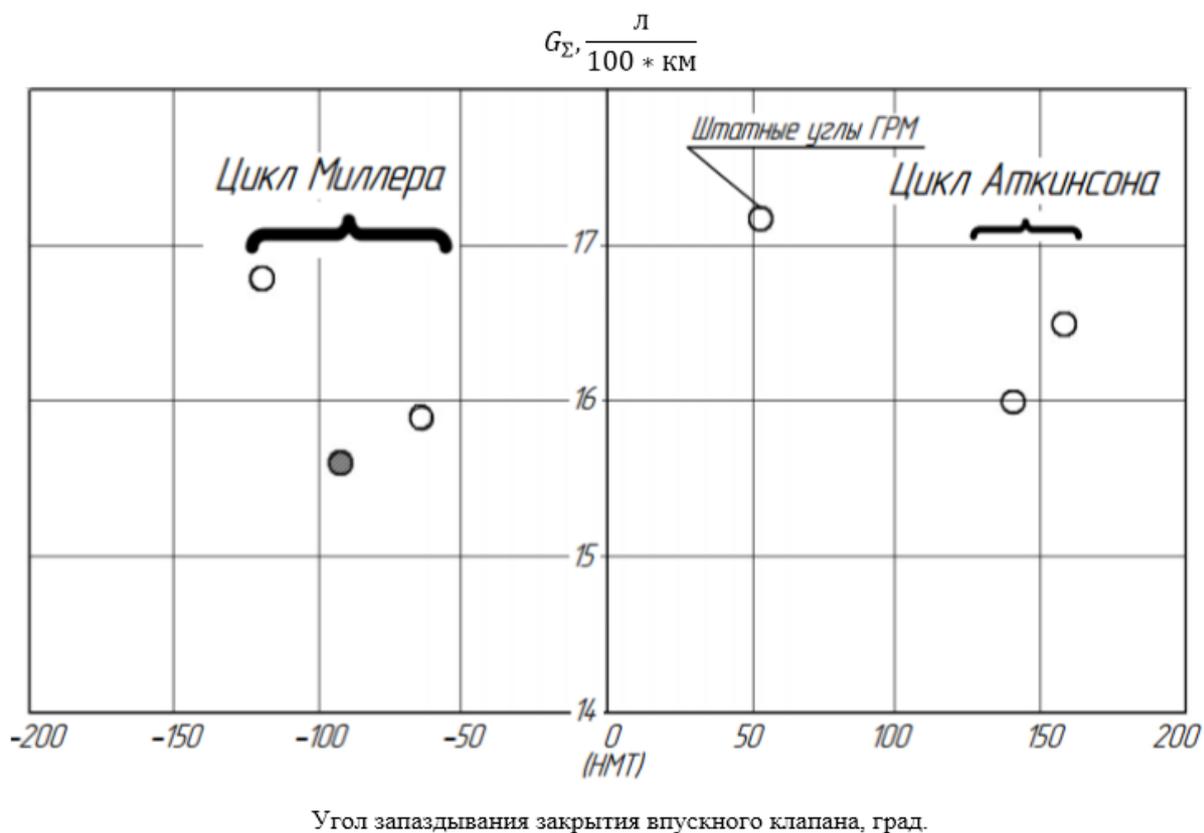


Рис. 7. Зависимость эксплуатационного расхода топлива в городском ездовом цикле от угла закрытия впускного клапана на кулачке частичных режимов.

Как видно из графика, полученные значения расходов топлива для всех углов закрытия впускного клапана меньше, чем значение расхода при использовании традиционной схемы с дроссельной заслонкой и штатными кулачками. Также можно заметить, что наилучший результат дает цикл Миллера с углом закрытия впуска -93 градуса, поэтому этот угол следует выбрать для кулачка частичных режимов.

Таким образом, в результате данной работы:

- проведена идентификация математической модели двигателя ЗМЗ-409 в программном комплексе Дизель-РК;
- выполнена оценка топливной экономичности данного двигателя в городском ездовом цикле;
- установлено влияние на путевой расход топлива установки дополнительного кулачка ГРМ, реализующего циклы Миллера/Аткинсона на частичных режимах;
- выбран угол для дополнительного кулачка ГРМ (-93 градуса), обеспечивающий улучшение топливной экономичности автомобиля на 1,57 л/100 км.

Список литературы

1. ГОСТ Р 41.84-99 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива. Введ. 1999-05-22. М.: Изд-во стандартов, 2001. 36 с.
2. Martin Scheidt, Christoph Brands, Matthias Kratzsch, Michael Günther. Combined Miller/Atkinson strategy for future downsizing concepts // MTZ Industrial. 2014. Vol. 75. P. 4-10.
3. Википедия. Цикл Миллера. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цикл_Миллера. (дата обращения 27.05.2015).
4. Википедия. Цикл Аткинсона. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цикл_Аткинсона. (дата обращения 27.05.2015).
5. Суслинников А. Система изменения фаз газораспределения. Режим доступа: <http://systemsauto.ru/vpusk/vvt.html> (дата обращения 27.05.2015).
6. Кулешов А.С. Программный комплекс Дизель-ПК. Режим доступа: <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/> (дата обращения 27.05.2015).
7. Хусаинов А.Ш. Тяговый расчет автомобиля: учебное пособие по дисциплине «Теория автомобиля» для студентов, обучающихся по специальности 19020165. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 47 с.
8. Ездовые циклы. Режим доступа: <http://autoeco.info/nedc.php> (дата обращения 27.05.2015).