

УДК: 621.433.2

**УЛУЧШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ  
ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ДОРОЖНОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ**  
**IMPROVING FUEL EFFICIENCY OF GAS ENGINES DURING  
ON-ROAD VEHICLE OPERATION**

**А.В. Козлов**, д-р. техн. наук, **В.Н. Гринев**, **В.А. Колесников**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-  
исследовательский автомобильный и автомоторный институт  
(НАМИ)», (125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2)

A. Kozlov, Doctor of technical Sciences, V. Grinev, V. Kolesnikov  
Federal State Unitary Enterprise Central Scientific Research Automobile  
and Automotive Institute “NAMI” (FSUE “NAMI”), Avtomotornaya  
Street, 2, Moscow, Russia, 125438

*В рамках проекта «ГАЗОДИЗЕЛЬ» в ФГУП «НАМИ» был конвертирован грузовой дизельный двигатель для работы на природном газе. В ходе выполнения проекта были проведены дорожные испытания двигателя в составе автопоезда на топливную экономичность по методикам ГОСТ Р 54810-2011. На основе полученных данных была создана и верифицирована математическая модель данного газового двигателя, позволяющая проводить безмоторные калибровки как на стационарных, так и на переходных режимах работы двигателя.*

*As part of the «GAZODISEL» project, a heavy-duty diesel engine was converted to run on natural gas at the Federal state unitary enterprise NAMI. In the course of the project, road tests of the engine as part of a road train were conducted to estimate fuel efficiency according to the methods of GOST R 54810-2011. Based on the data obtained, a mathematical model of this gas engine was created and verified, which allows for non-motor calibration both in stationary and transient engine operating modes*

*Ключевые слова: двигатель газовый, природный газ, математическая модель, эксплуатация.*

*Keywords: gas engine, natural gas, mathematical model, operation.*

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросу повышения топливной экономичности двигателей, работающих на газомоторном топливе сегодня уделяется значительное внимание, так как данный тип двигателей является перспективным, поскольку использует для работы экологически более чистое топливо по отношению к традиционному дизельному двигателю [1–3]. В условиях ужесточающихся законодательных норм в области экологической безопасности автомобильного транспорта использование природного газа в качестве топлива является несомненным преимуществом. Данная работа посвящена вопросу разработки и применения компьютерной модели для калибровки газового двигателя с целью улучшения его топливной экономичности в условиях дорожной эксплуатации.

## РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

На первом этапе научно-исследовательской работы были проведены сравнительные лабораторно-дорожные испытания по определению скоростных свойств и параметров топливной экономичности автомобиля КАМАЗ, оборудованного рядным 6-ти цилиндровым двигателем, конвертированным для работы на природном газе, и базовым дизельным двигателем. Испытания проводились на научно-исследовательском комплексе дорожных сооружений для испытаний и доводки автотехники «Автополигон».



Рисунок 1 – Автомобиль КАМАЗ, оборудованный двигателем, конвертированным для работы на природном газе, во время испытаний на автополигоне «НАМИ»

По результатам проведенных дорожных испытаний получены данные по скоростным свойствам и топливной экономичности автомобиля в рамках испытаний по ездовому циклу согласно ГОСТ Р 54810-2011.

В связи с современными требованиями норм по выбросам загрязняющих веществ с отработавшими газами, накладывающих ограничения по выбросам как на стационарных режимах, так и во время дорожных испытаний, а также с учетом того, что во время стендовых испытаний нет возможности откалибровать всё поле переходных режимов, во время эксплуатации двигателя в составе транспортного средства есть вероятность попадания в неоткалиброванные зоны, что ведет к повышению расхода топлива и выбросов. В связи с этим в программе AVL CRUISE M была создана математическая модель данного газового двигателя, представленная на рисунке 2.

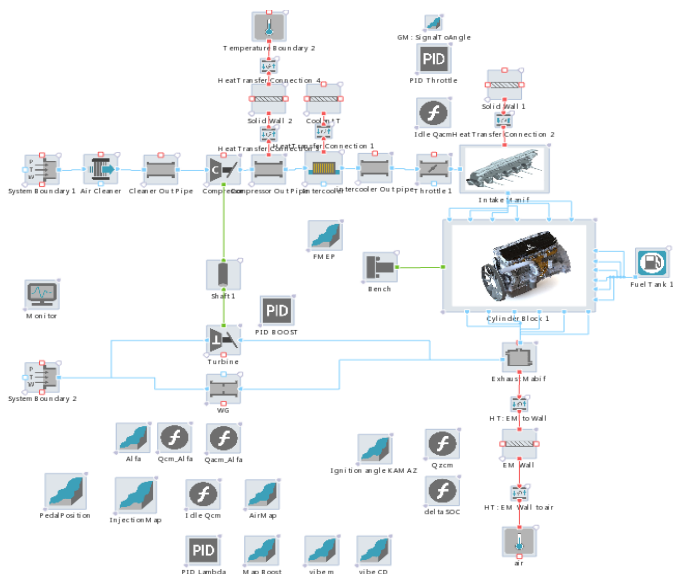


Рисунок 2 – Модель газового двигателя в среде AVL CRUISE M

Модель условно можно разделить на термодинамическую модель двигателя и модель системы управления, которые вместе представляют собой MIL систему (Model In the Loop).

Математический аппарат термодинамической модели представляет собой ноль- и одномерные системы уравнений, которые описывают процессы стационарных и переходных течений газов во впускном и выпускном коллекторе, теплообмен в охладителе наддувочного воздуха, процессы теплообмена свежего заряда и продуктов сгорания со стенками камеры сгорания с отводом части теплоты в масло, охлаждающую жидкость и в воздух через выпускной канал. Процесс горения в камере сгорания описывается двухзонной моделью Вибе.

За основу модели системы управления взят алгоритмы электронного блока управления, которым укомплектован данный двигатель и содержит в себе калибровочные таблицы топливоподдачи, объемного коэффициента наполнения, УОЗ, состава смеси и давления наддува. Модель включает ПИД-регуляторы для поддержания состава смеси, давления наддува, положения электронной дроссельной заслонки и поддержания холостого хода.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования в сравнении с данными эксперимента по мгновенному часовому расходу топлива в городском цикле движения.

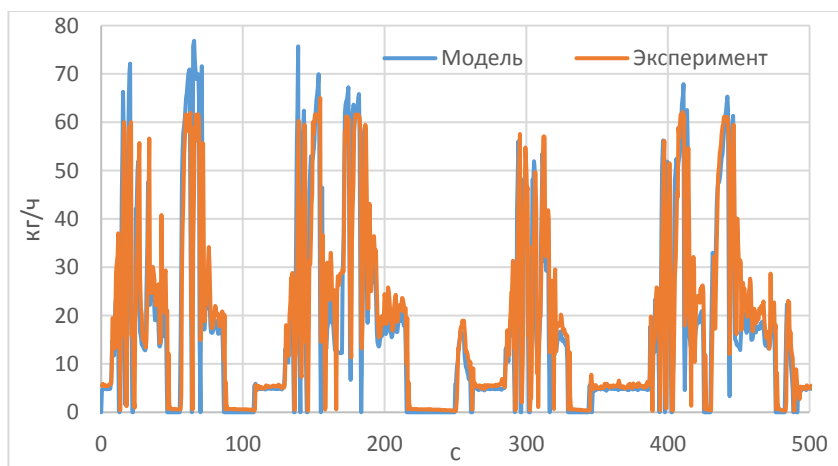


Рисунок 3 – Результаты моделирования и данные эксперимента по расходу топлива в городском цикле движения

В таблице 1 представлены результаты расчетов и данные эксперимента по суммарным расходам топлива в циклах.

Таблица 1 – Суммарный расход топлива в циклах движения

Цикл движения	Модель, кг	Эксперимент, кг	Погрешность, %
Магистральный	1,59	1,63	2,5
Городской	2,42	2,55	5,1

Для унификации модели, принимая во внимание возможность работы AVL CRUISE M в комплексе с другим программным обеспечением и электронным блоком управления в режиме реального времени, была произведена её оптимизация для достижения фактора реального времени расчета менее единицы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, созданная математическая модель газового двигателя обеспечивает достаточную точность и скорость расчета стационарных и переходных режимов работы, что позволит в дальнейшем проводить анализ и безмоторные калибровки на эксплуатационных переходных режимах работы для снижения путевого расхода топлива и выбросов вредных веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукшо В.А. Комплексный метод повышения энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия и укороченными тактами впуска и выпуска. Дисс... докт. техн. наук: 05.04.02. – М., 2015. – 369 с.
2. Р.З. Кавтарадзе, А.И. Гайворонский, Д.О. Онищенко, А.В. Шибанов, Р.В. Богославцев. Экспериментальное исследование теплового состояния поршня дизеля, конвертируемого на природный газ. Известия ВУЗов. - Сер. Машиностроение. - 2006 г. - 11с.
3. А. И. Гайворонский, Д. А. Савченков, В. А. Федоров Совершенствование технологий использования природного газа в качестве моторного топлива: обзор. информ. /. - М.: ИРЦ Газпром, 2006 (Б. м.). – 111 с.

Представлено 02.06.2020