



ОСОБЕННОСТИ ТРАКТОВАНИЯ ПОНЯТИЙ РАСЧЕТНАЯ И АБСОЛЮТНАЯ НАГРУЗКА ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассматриваются параметры *абсолютная нагрузка* и *расчетная нагрузка двигателя*. Приводятся пояснения в использовании этих понятий при диагностировании двигателя, а также порядок их вычисления. Приведены экспериментальные зависимости изменения нагрузки двигателя в разных режимах работы.

Эксплуатация автомобилей, диагностирование, расчетная нагрузка, абсолютная нагрузка, оценка технического состояния.

При оценке технического состояния двигателя автомобиля приходится сталкиваться с анализом параметров диагностирования, которые могут быть рабочими и сопутствующими. Рабочие параметры характеризуют эксплуатационные свойства двигателя, а сопутствующие показывают свойства процессов, происходящих в двигателе. К сопутствующим параметрам относятся входные параметров, например: температура охлаждающей жидкости двигателя, расход воздуха, угол открытия дроссельные заслонки. Эти параметры используются программой, заложенной в ЭБУ двигателя, для расчета времени впрыска топлива и угла опережения зажигания [1].

Помимо абсолютных параметров сопутствующих процессов ДВС существуют также и относительные, наиболее интересным из которых является нагрузка двигателя (Engine Load), которая подразделяется на 2 понятия: расчетная нагрузка (Calculated Load Value) и абсолютная нагрузка (Absolute Load Value). Известно, что эти понятия появились среди параметров ЭБУ еще в конце 90-х – начале 2000-х годов в бензиновых и дизельных двигателях и всегда отображаются в процентах [2].

Многие специалисты знают, как меняются эти параметры при разных режимах работы, знают их примерные эталонные значения. Производители автомобилей также иногда указывают эталонные значения параметров Engine Load для облегчения поиска неисправностей в технической документации по ремонту автомобилей. Однако мало кто знает подробности об этих параметрах. Как они рассчитываются, чем отличаются, от чего зависят и т.д.?

Рассмотрим порядок вычисления этих параметров. Начнем с *расчетной нагрузки двигателя*. Диапазон принимаемых значений этого параметра 0–100 %. Формулируется расчетная нагрузка как фактическая величина крутящего момента, развиваемого двигателем, выраженная в процентах.

В технической документации компаний европейских автопроизводителей эта величина рассчитывается следующим образом:

$$LOAD\ CALC = \frac{M_i}{M_{MAXi}} \sqrt{298/(T + 273)},$$

где M_i и M_{MAXi} – фактический индикаторный крутящий момент двигателя и максимальный индикаторный крутящий момент двигателя при данной скорости вращения коленчатого вала и стандартной температуре 25°C и атмосферном давлении 760 мм.рт.ст., T – фактическая температура окружающего воздуха.

Как известно, крутящий момент двигателя зависит от степени наполнения цилиндров рабочей смесью, что регулируется дроссельной заслонкой. Т.е. при полностью открытой дроссельной заслонке расчетный крутящий момент должен быть равен 100 %. Возникает вопрос: как программа ЭБУ двигателя узнает значения максимального и фактического крутящих моментов? Нет никаких датчиков, характеризующих эти значения. Таким образом, можно предполагать, что эти значения уже заданы в программе, например по углу положения дроссельной заслонки. В двигателях с воспламенением от сжатия дроссельная заслонка не участвует в регулировке крутящего момента. Крутящий момент в таких случаях может быть привязан к цикловой подаче топлива или углу педали акселератора. Для гибридных автомобилей расчетная нагрузка отражает крутящий момент, создаваемый только двигателем внутреннего сгорания, а не всей энергоустановкой [3, 4].

При работе двигателя на холостом ходу он не нагружен силами сопротивления движения, однако расчетная нагрузка не будет равна 0. При работе на холостом ходу создаваемый крутящий момент расходуется на преодоление внутренних механических потерь и на привод вспомогательных механизмов.

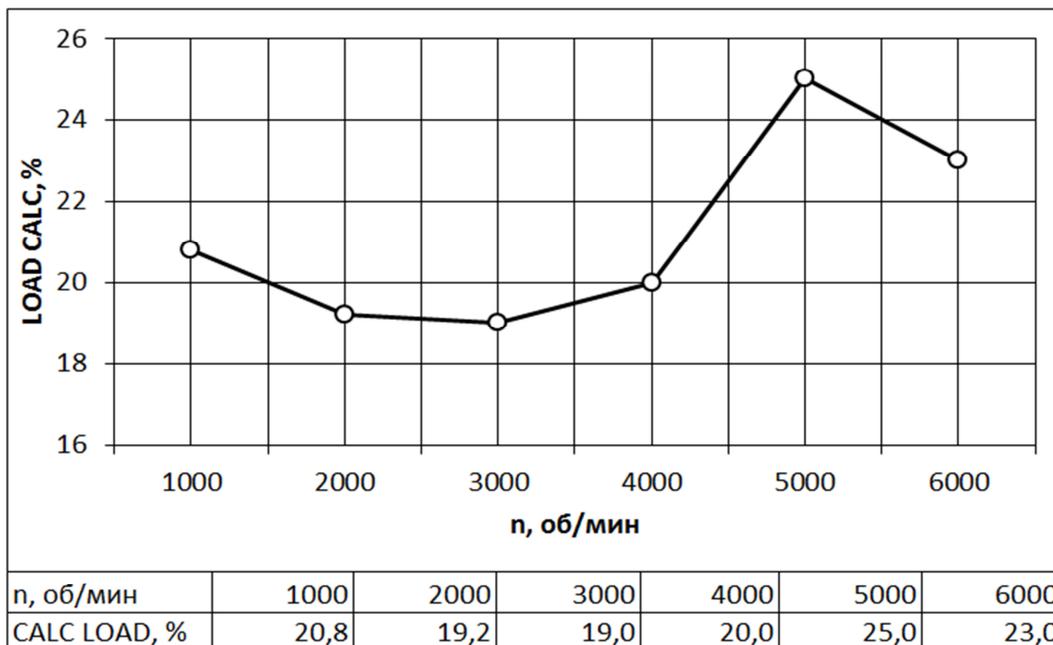


Рис. 1. График изменения расчетной нагрузки от оборотов коленчатого вала на неподвижном автомобиле

На рисунке 1 показан график изменения расчетной нагрузки двигателя ВАЗ-21129 при неподвижном автомобиле на нейтральной передаче с выключенным кондиционером. Как следует из диаграммы, крутящий момент на минимальных оборотах коленчатого вала составляет около 21 %, а затем по мере увеличения оборотов постепенно снижается и снова растет по мере приближения оборотов коленчатого вала к максимальным значениям. Диаграмма показывает, что доля внутренних потерь в двигателе минимальная при средних оборотах коленчатого вала, что совершенно логично подтверждает и внешняя скоростная характеристика двигателя. Данная закономерность характерна для всех двигателей внутреннего сгорания.

В легковых автомобилях с управлением крутящим моментом с помощью дроссельной заслонки значение расчетной нагрузки составляет примерно 20–30 %. При увеличении нагрузки на генератор и кондиционер расчетная нагрузка вырастет до 30–40 %. Но в двигателях с системой регулировки фаз газораспределения или высоты подъема клапана расчетная нагрузка при работе на холостом ходу может быть 70–90 %. В гибридных автомобилях в режиме «Двигатель готов к работе» расчетная нагрузка может быть любой от 0–100 %, т.к. ДВС может быть как выключен (CALC LOAD=0 %), так и нагружен зарядом тяговой аккумуляторной батареи (CALC LOAD≈95 %) [5].

При различных неисправностях, например пропуски воспламенения, ресинхронизация ГРМ и коленчатого вала, потери в двигателе растут, а значит расчетная нагрузка на холостом ходу будет также увеличиваться. Однако проверка автомобилей с пробегом более 400 тыс. км с сильно изношенными двигателями показывает, что расчетная нагрузка на холостом ходу почти не изменяется. Это можно объяснить тем, что одновременно со снижением эффективности работы двигателя снижаются и потери на трение в изношенных парах.

Будет ли расчетная нагрузка 100 % при полностью нажатой педали акселератора? В простых бензиновых двигателях с тросовым приводом дроссельной заслонки она достигнет 100 %. Но в двигателях с электроприводом дроссельной заслонки расчетная нагрузка на перегазовках без нагрузки будет ограничена для защиты от повышенных оборотов коленчатого вала.

В 6- и 8-цилиндровых двигателях расчетная нагрузка на холостом ходу меньше, чем в 4-цилиндровых из-за более низких относительных механических потерь.

Теперь рассмотрим абсолютную нагрузку двигателя. Параметр абсолютной нагрузки двигателя характеризуется как нормализованное значение массы воздуха на такт впуска, отображаемое в процентах. Абсолютная нагрузка имеет некоторые отличия в вычислении:

$$LOAD\ ABS = \frac{M_{Bi}}{1,184 V_p},$$

где M_{Bi} – масса воздуха поступившего в цилиндры (г/цикл); V_p – рабочий объем цилиндров.

M_{Bi} – рассчитывается по формуле

$$M_{Bi} = \frac{M_\Sigma \times 60}{n \times 0,5},$$

где M_Σ – масса воздуха, попадающего в цилиндры (г/с); n – скорость вращения коленчатого вала.

$$LOAD\ ABS = \frac{M_\Sigma \times 60}{n \times 0,5 \times 1,184 V_p}$$

или

$$LOAD\ ABS = \frac{M_{Bi}}{M_{MAX}} \times 100 (\%).$$

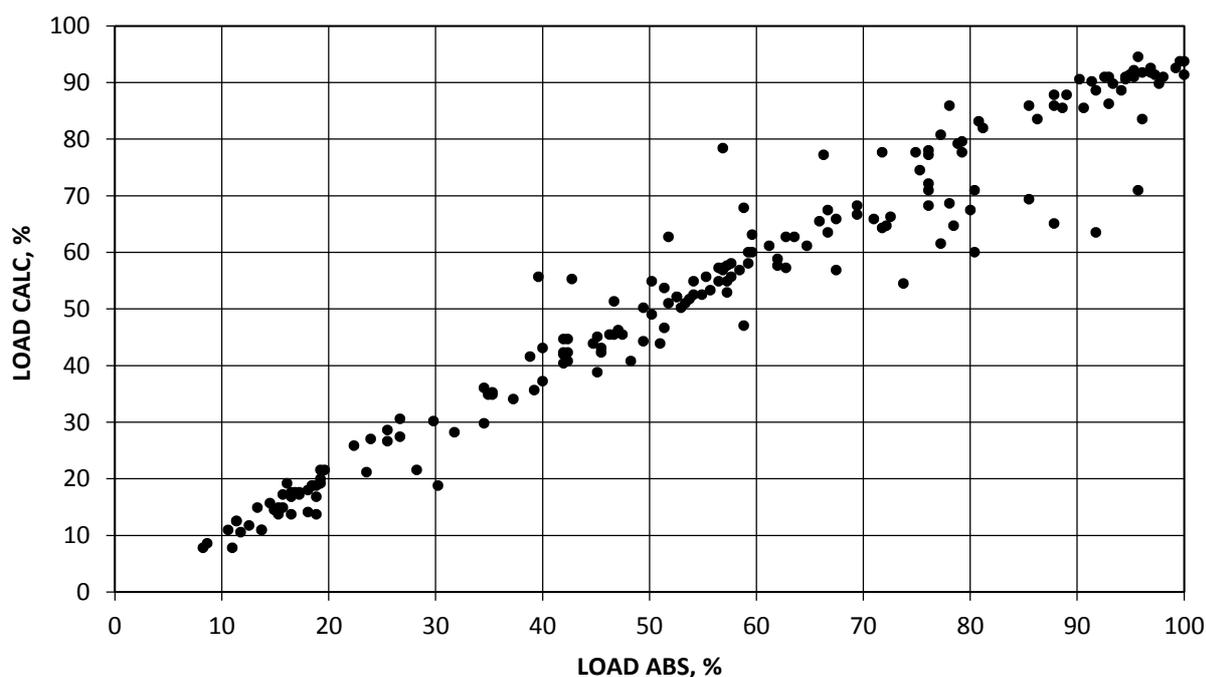


Рис. 2. График корреляции расчетной нагрузки и абсолютной нагрузки атмосферного двигателя G4FC

Таким образом, абсолютная нагрузка – это отношение массы воздуха, попавшего в цилиндр, по отношению к максимальной массе воздуха в цилиндре при атмосферном давлении. Т.е. в программе управления двигателем задано значение максимальной массы воздуха в цилиндре, а фактическое его значение постоянно рассчитывается исходя из оборотов коленчатого вала

Известно, что воздух инерционен и даже при максимальном открытии дроссельной заслонки весь он не успеет попасть в цилиндр. Это объясняет диапазон возможных значений абсолютной нагрузки для атмосферных двигателей (0–95 %). В двигателях с турбонаддувом в цилиндр может быть закачано воздуха больше, чем его объем при нормальном атмосферном давлении. Диапазон значений абсолютной нагрузки в таких двигателях составляет 0–400 % [6].

Абсолютная нагрузка линейно коррелируется с крутящим моментом на выходном валу, поэтому зачастую используется для корректировки угла опережения зажигания и рециркуляции отработавших газов.

Произведем сравнение значений расчетной нагрузки и абсолютной нагрузки двигателя по экспериментальным данным. Для этого поместим обе группы значения на координатные оси [7].

График корреляции LOAD (рис. 2) получен экспериментальным путем на автомобиле с атмосферным двигателем при движении с различными ускорениями и максимальном нагружении двигателя. Как и было отмечено выше: значения рассматриваемые понятия в целом схожи, но все же имеют небольшие отличия. При этом можно наблюдать и снижение LOAD до 8 % при торможении двигателем, и максимальные значения LOAD ABS 105,5 %.

Экспериментальные данные наглядно показывают отличия между расчетной и абсолютной нагрузкой

двигателя. Обобщая изложенное, можно сделать вывод, что расчетная нагрузка, показывающая относительную величину крутящего момента двигателя, дает возможность оценить рабочие параметры двигателя, т.е. его эксплуатационные свойства. Абсолютная нагрузка показывает степень наполнения цилиндра воздухом, т.е. отображает сопутствующий параметр, который может характеризовать конструктивные особенности, эффективность работы и техническое состояние двигателя.

Глубокое понимание рассматриваемых понятий позволяет создавать новые более эффективные методы диагностирования двигателей внутреннего сгорания и оценки их эксплуатационных свойств.

Литература

1. Мороз, С. М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств : учебник / С. М. Мороз. – Москва : МАДИ, 2015. – 204 с.
2. OBD-2 и электронные системы управления двигателем. – Москва : Альфапет, 2018. – 248 с.
3. Дьяченко, В. Г. Теория двигателей внутреннего сгорания : Учебник / В. Г. Дьяченко. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 500 с. (Перевод с украинского языка).
4. Управление бензиновым двигателем. Теория и компоненты. Перевод с английского. Учебное пособие. – М.ЗАО «Легион-Автодата», 2012. – 88 с.
5. Раков, В. А. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками / В. А. Раков. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2020. – 240 с.
6. Учебное пособие BOSCH электронное управление дизельными двигателями. Легион-Автодата. Перевод с английского. Учебное пособие. – М.ЗАО «Легион-Автодата», 2012. – 88с.

7. Бондарчук, С. С., Бондарчук, И. С. Статобработка экспериментальных данных в MS Excel : учебное пособие. – Томск : Издательство Томского государственного педагогического университета, 2018. – 433 с.

V.A. Rakov
Vologda State University

**SPECIAL ASPECTS OF INTERPRETATION OF CALCULATE
AND ABSOLUTE ENGINE LOAD CONCEPTS**

The article considers the parameters of absolute load and calculated load of the engine. Explanations are given for the use of these concepts in diagnosing an engine, as well as the procedure for their calculation. Experimental dependences of engine load change in different operating modes are given.

Vehicle operation, diagnostics, design load, absolute load, technical condition assessment.