

Формирование регуляторных характеристик дизеля отключением рабочих циклов

д.т.н. проф. Патрахальцев Н.Н., к.т.н. доц. Эммиль М.В.
РУДН, Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1573

Аннотация. Рассматривается способ расчёта числа рабочих циклов дизеля. Приводятся соответствующие соотношения теории ДВС и графики зависимости числа работающих цилиндров от общего числа цилиндров двигателя.

Ключевые слова: дизель, регуляторная характеристика, регулирование дизеля, отключение циклов

Отключение части цилиндров или отдельных циклов автомобильных и тракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) как метод регулирования мощности на режимах частичных нагрузок и холостого хода (ХХ) находит применение на многих двигателях. В качестве примеров можно привести отключение группы цилиндров у шестицилиндровых бензиновых ДВС, оснащённых системой распределённого впрыскивания топлива, и отключение двух цилиндров тракторного дизеля Д-160 при переходе на режим минимальной частоты вращения ХХ. Однако примеры промышленного применения методов регулирования частоты вращения таким способом и, соответственно, формирования регуляторных характеристик, авторам неизвестны. Учитывая, что на дорогах РФ эксплуатируется очень большое количество грузовых автомобилей и тракторов с традиционными, уже устаревшими, топливными системами дизелей, применение метода отключения части цилиндров или циклов представляется актуальным. Особенно это касается дизель-генераторных установок, поскольку в этом случае формируется только регуляторная характеристика номинального режима. В многоцилиндровом дизеле при таком способе регулирования можно обеспечить "скользящее" отключение рабочих циклов по цилиндрам при сбросе нагрузки, а в одноцилиндровом дизель - генераторе программа регулирования вообще упрощается.

В современных автомобильных двигателях с электронным управлением, как дизелях, так и бензиновых, программа регулирования заложена в микропроцессоре электронного блока управления (ЭБУ), что обеспечивает всю гамму рабочих режимов двигателя. Переоснащение системы автоматического регулирования (САР) дизеля с традиционной топливной аппаратурой для управления пропуском рабочих циклов технически возможно установкой на линии высокого давления клапана – отключателя, выполненного на базе клапана – регулятора начального давления (РНД) [2]. Испытания клапана показали хорошие его работоспособность и быстрдействие, обеспечивающие пропуск одного цикла. Трудность создания такой САР в основном заключается в необходимости использования программы электронного управления отключением циклов в зависимости от величины нагрузки.

Принципиальная схема работы такой системы достаточно проста. Рейка ТНВД устанавливается на упор максимальной подачи и фиксируется. При сбросе нагрузки по сигналу от силовой электрической линии дизель – генератора или от датчика частоты вращения ЭБУ определяет число рабочих циклов, обеспечивающих режим частичной нагрузки или режим ХХ при полном сбросе нагрузки, а также наклон регуляторной характеристики.

Задачей регулирования двигателей является поддержание соответствия между нагрузкой и развиваемой двигателем мощностью. Рассмотрим задачу регулирования при постоянной частоте вращения. На номинальном режиме двигатель развивает расчётную мощность, и число рабочих циклов соответствует номинальной частоте вращения. Поскольку при полном сбросе нагрузки индикаторная мощность двигателя (N_i) полностью расходуется на преодоление механических потерь (N_m), то для определения числа рабочих циклов нужно рассмотреть отношение индикаторных мощностей, которое с учётом известных классических

формул теории ДВС может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{N_{i.ном}}{N_{i.хх}} = \left(\frac{\eta_i}{\alpha_{ном}} \right) / \left(\frac{\eta_i}{\alpha_{хх}} \right); \quad (1)$$

где: $N_{i.ном}, N_{i.хх}$ – индикаторные мощности на номинальном режиме и при некотором сбросе нагрузки соответственно; η_i – индикаторный КПД, $\alpha_{ном}$ и $\alpha_{хх}$ – коэффициенты избытка воздуха на номинальном режиме и при данном сбросе нагрузки соответственно.

Поскольку при регулировании отключением рабочих циклов рейка закреплена в положении максимальной подачи, хотя и в разное число цилиндров, в формуле (1) можно принять допущение, что индикаторный КПД в пределах реализуемой регуляторной характеристики остаётся постоянным. Поскольку при отключении рабочих циклов изменяется коэффициент избытка воздуха, то формулу (1) можно представить в следующем виде:

$$\frac{N_{i.ном}}{N_{i.хх}} = \frac{\alpha_{хх}}{\alpha_{ном}} = \frac{z_{цном}}{z_{цхх}}, \quad (2)$$

где: $z_{цном}$ и $z_{цхх}$ – число рабочих циклов на номинальном режиме и при данном сбросе нагрузки соответственно.

Используя известные соотношения теории ДВС, для режима полного сброса нагрузки применительно к астатической регуляторной характеристике можно показать, что при качественном регулировании мощности имеем следующее соотношение:

$$\frac{N_m}{N_{i.хх}} = \frac{z_{цном.хх}}{z_{цном}} = 1 - \eta_m, \quad (3)$$

где: $z_{цном.хх}$ – число рабочих циклов при полном сбросе нагрузки, η_m – механический КПД.

Поскольку число рабочих циклов на номинальном режиме определяется номинальной частотой вращения, то при рассмотрении астатической регуляторной характеристики число рабочих циклов при полном сбросе нагрузки будет определяться величиной механического КПД, то есть в этом случае будем иметь следующую закономерность:

$$z_{цном.хх} = z_{цном} \cdot (1 - \eta_m). \quad (4)$$

Возьмём в качестве примера одноцилиндровый дизель – генератор, имеющий номинальную частоту вращения $n_{ном} = 3000 \text{ мин}^{-1}$. Примем значение механического КПД $\eta_m = 0,8$. Тогда число рабочих циклов на номинальном режиме будет равно 1500, а число рабочих циклов при полном сбросе нагрузки 1200. При таком подходе остаётся неясным, как вычислять число рабочих циклов при частичном сбросе нагрузки. В качестве допущения здесь может быть принят некоторый закон изменения механического КПД в зависимости от величины сброса нагрузки, который будет заложен в память микропроцессора.

Для случая задания статических регуляторных характеристик в формулу (3) нужно будет ввести выражение для степени неравномерности регулятора, известное из теории автоматического регулирования ДВС:

$$\delta = \frac{n_{хх} - n}{0,5 \cdot (n_{хх} - n)}. \quad (5)$$

Тогда для рассматриваемой системы получаем:

$$\frac{z_{цхх}}{z_{цном}} = \frac{n_{ном.хх}}{n_{ном}} \cdot (1 - \eta_m). \quad (6)$$

Введение в (3) отношения $n_{ном.хх} / n_{ном}$ предполагает, что при данной степени неравномерности число рабочих циклов на режиме холостого хода должно быть больше, чем при $\delta = 0$, чтобы допустить увеличение частоты вращения холостого хода и обеспечить требуемый

наклон регуляторной характеристики. Поскольку величина степени неравномерности определяет наклон регуляторной характеристики, задача определения числа рабочих циклов при частичном сбросе нагрузки приобретает определённую определенность. Задаваясь отношением индикаторной мощности к мощности сопротивления (мощность потребителя плюс мощность механических потерь), можем определить требуемое число рабочих циклов на любом режиме данной регуляторной характеристики.

На рисунке 1 показаны статические характеристики двигателя, связанные с пропуском рабочих циклов.

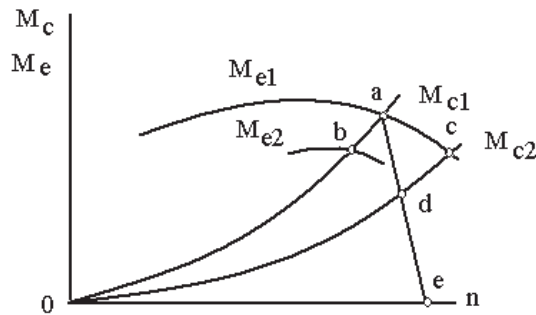


Рисунок 1. Изменение частоты вращения двигателя при отключении рабочих циклов: M_{e1}, M_{e2} – внешняя и частичная характеристики крутящего момента двигателя соответственно; M_{c1}, M_{c2} – моменты сопротивления (настройки потребителя); n – частота вращения вала двигателя

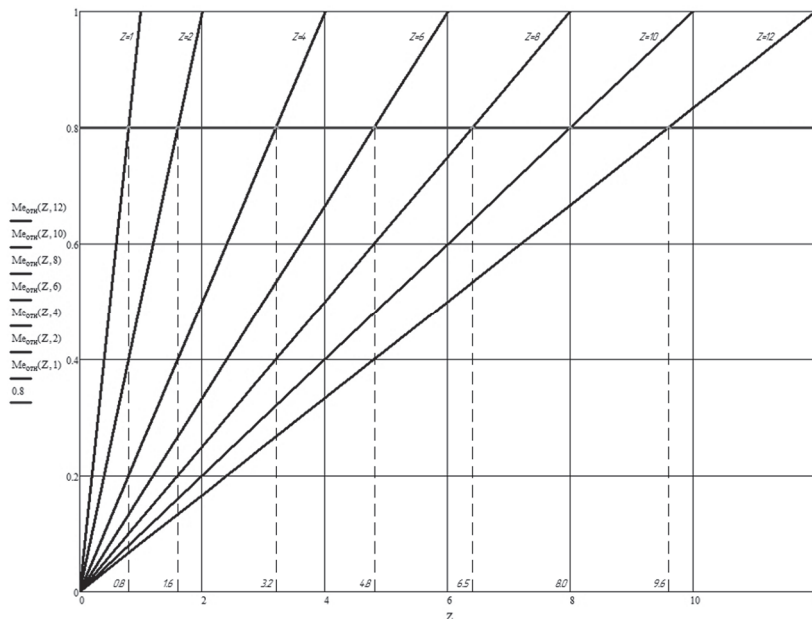


Рисунок 2. Условное число работающих цилиндров при сбросе нагрузки

При неизменной нагрузке это фактически переход по характеристике момента сопротивления из точки **a** в точку **b**. Система автоматического регулирования должна быть настроена таким образом, чтобы изменение частоты вращения происходило при уменьшении нагрузки, то есть при частичном или полном её сбросе, что обеспечивает формирование регуляторной характеристики.

При уменьшении нагрузки частота вращения двигателя увеличивается, и при отсутствии регулятора её изменение проходит по внешней скоростной характеристике (точка **c**). При полном сбросе нагрузки возникает так называемый "разнос" двигателя, что особенно опасно для дизеля. Включение программы регулирования приводит к реализации пропусков рабочих циклов, что снижает частоту вращения, а двигатель при этом переходит по регуляторной характеристике из точки **a** в точку **d**.

Приведённое выше описание не учитывает циклического характера процесса отключе-

ния циклов и переходных процессов в топливной аппаратуре. Такие исследования проводились с помощью компьютерной программы Mathcad и частично представлены в работе [3].

На рисунке 2 приведён график зависимости числа работающих цилиндров (условное число) при сбросе нагрузки от числа цилиндров двигателя и величины сброса нагрузки. Лучи, исходящие из начала координат, описываются уравнением прямой линии:

$$\overline{M_e} = b \cdot z, \quad (7)$$

где: b – коэффициент, зависящий от числа цилиндров двигателя ($b = \frac{1}{z}$).

Например, для двенадцатицилиндрового двигателя ($z = 12$), работающего на полной нагрузке ($\frac{M_e}{M_{e0}} = 1$), число работающих цилиндров равно 12. Если нагрузка уменьшится до $\frac{M_e}{M_{e0}} = 0,8$, как показано на графике (рисунок 2), то число работающих цилиндров окажется условно равным 9,6. Если номинальная частота вращения двигателя равна 3000 мин^{-1} , то число циклов в этом случае будет равно $z_{\text{ц}} = \frac{n}{2} \cdot 9,6 = \frac{1500}{2} \cdot 9,6 = 7200$. В этом примере мы приняли, что сброс нагрузки идёт по астатической регуляторной характеристике.

Конечно, в случае практической реализации такого регулирования, потребуется корректировка числа работающих циклов для исключения дробных значений.

Литература

1. Гришин Д.К., Патрахальцев Н.Н., Эммиль М.В. Формирование регуляторных характеристик дизеля отключением рабочих циклов. Известия МГТУ «МАМИ» № 1 (15), 2013, т.1 – с. 67 - 70
2. Эммиль М.В. Формирование регуляторных характеристик дизель – генератора при регулировании отключением рабочих циклов. // Вестник РУДН. – 2003. № 1. с. 56 – 58.
3. Гришин Д.К., Эммиль М.В. Исследование переходных процессов дизель – генератора, оснащённого системой отключения циклов. // Вестник РУДН. Серия "Инженерные исследования". – 2004. № 1(8). с. 34 – 37.

Развитие интеллектуальных энергораспределительных сетей

Евлашин С.А., Мерзин В.Е., Савельев И.Л.

ООО "Ф Электроникс", МГИУ

stevla@mail.ru, mezrinv@rambler.ru, totoroboy@rambler.ru

Аннотация. Российская Федерация характеризуется уникальным геополитическим положением. Большой территориальный охват энергетического комплекса Российской Федерации приводит к тому, что большая часть инфраструктурных объектов и электросетей располагается в малозаселенной местности и в случае сбоев поиск неисправностей и принятие мер по перераспределению нагрузки занимает много времени. В работе рассматриваются последние технические достижения интеллектуальных сетей «Smart Grid», которые активно развиваются во всем мире.

Ключевые слова: энергетические потоки, интеллектуальные сети, интеллектуальные приборы, качество электроэнергетики

Приведенные в статье данные получены в результате НИР, выполненной при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», Государственный контракт №14.516.12.0006 от 18.06.2013г., шифр "2013-1.6-14-516-0082" по теме «Создание экспериментального образца программного комплекса сбора, обработки и управления пере- дачей данных сетей в режиме реального времени».