

ДЕТОНАЦИЯ В ГАЗОДИЗЕЛЕ: СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И КОНТРОЛЯ (материалы конгресса SIMAC 2010)

Ф. Милло, Г. Лаврино; *Politecnico di Torino, Италия*
А. Кафари; *Wartsila, Италия*

Опасность детонации является одним из ключевых факторов, ограничивающих возможность улучшения показателей газового двигателя (газодизеля). Поэтому столь важно выработать стратегию управления рабочим процессом, которая позволила бы оптимизировать экологические и экономические показатели двигателя, обеспечив в то же время надежную защиту от детонации. Для решения этой проблемы необходимо научиться определять момент возникновения детонации с достаточной точностью.

В докладе описаны алгоритмы диагностики детонации по сигналу датчика давления в цилиндре и по сигналу датчиков вибрации. В обоих случаях определение детонации возможно как путем сравнения выбранного параметра с постоянным пороговым значением, так и с помощью метода статистического анализа. На основании теоретического анализа и экспериментов, проведенных на двигателе типа Wartsila W50DF, выполнено сравнение различных методов и источников сигнала, определены оптимальные критерии детонации и области применения каждого метода.

Перевод доклада выполнен Г. Мельником.

Одним из главных препятствий для дальнейшего повышения КПД и улучшения параметров рабочего процесса газодизеля после перехода на газ является детонация, не позволяющая поднять степень сжатия и давление в цилиндре сверх определенных значений. Поэтому необходимы средства для определения момента начала аномального сгорания и оценки интенсивности детонации.

Данная работа посвящена экспериментальному сравнению двух методов обнаружения детонации, основанных на спектральном анализе сигналов по давлению в цилиндре, а также по вибрации головки цилиндра. Эксперимент проводился на двигателе типа Wartsila W50DF.

По результатам подробного анализа опубликованных результатов исследований для экспериментального сравнения были выбраны методы, основанные на следующих трех критериях оценки развития детонации:

➤ максимальная разность пиковых значений сигнала от датчиков давления или вибрации, пропущенных через полосовой фильтр;

➤ среднее квадратичное значение сигналов от датчиков давления или вибрации, пропущенных через полосовой фильтр;

➤ интеграл абсолютного значения первой производной сигналов от датчиков давления или вибрации, пропущенных через полосовой фильтр.

Была выполнена оценка различных критериев выявления детонации, основанных соответственно на сравнении сигналов показателя детонации в одном цилиндре с некоторым (постоянным) пороговым значением, и на статистическом анализе.

Показано, что метод постоянного порогового значения дает лучшие результаты для двигателей, работающих при постоянных значениях скорости и нагрузки (например, в генераторных агрегатах), тогда как статистический метод незаменим для главных судовых двигателей, работающих на вент фиксированного шага.

Установлено также, что статистический подход дает более надежные и стабильные результаты при использовании вибросигнала и, следовательно, больше подходит для серийных двигателей.

Наконец, за счет правильного выбора места установки акселерометра и параметров частотного фильтра удалось существенно снизить влияние передаточной функции двигателя на вибросигнал, что значительно облегчило и повысило надежность обнаружения детонации, а также позволило ранжировать детонационные циклы по интенсивности, создав тем самым основу для разработки новых, более тонких методов управления рабочим процессом.

Введение

В последние годы наблюдался заметный рост относительной доли рынка, занимаемой газовыми двигателями, что объясняется, в первую очередь, более низким уровнем вредных выбросов по сравнению с дизелями. Газовые двигатели превосходят также паровые и газовые турбины как по экологическим показателям (меньший уровень вредных выбросов), так и по КПД. Именно поэтому газодизели с недавних пор стали находить применение в качестве главных судовых дви-

гателей. В частности, фирма Wartsila в 2001 г. начала выпуск двигателей типа W50DF, предназначенных для газозовов. Ожидается, что в ближайшем будущем газодизели начнут вытеснять дизели в качестве главных двигателей буксиров и круизных судов, а также станут постепенно заменять дизель-генераторы на контейнеровозах с целью снижения выбросов в прибрежных зонах.

Одним из главных препятствий для дальнейшего повышения КПД и улучшения параметров рабочего процесса газодизеля при его работе на газе является детонация, поскольку опасность ее возникновения ограничивает температуру и давление рабочей смеси. Поэтому одна из важнейших задач для создателей газовых двигателей — научиться обнаруживать момент начала аномального сгорания и оценивать интенсивность детонации.

Известно несколько методов решения этой задачи. Один из них предусматривает использование физических характеристик элементов конструкции, которые в момент возникновения детонации изменяются наиболее сильно. Наиболее распространенные методы обнаружения детонации, в зависимости от измеряемых параметров, могут быть отнесены к методам, основанным на анализе изменения давления в цилиндре и на анализе вибрации блока цилиндров или головки цилиндра.

Для газовых двигателей с искровым зажиганием предлагались также методы, основанные на анализе ионизации газа, однако они обычно требуют использования в качестве датчика ионизации свечи зажигания, куда после зажигания подается постоянное напряжение и измеряется соответствующая величина тока. Это позволяет обнаружить аномальный характер сгорания по резкому росту тока ионизации. Но в газодизелях используется зажигание бедной газозовоздушной смеси по технологии «Micro Pilot», т. е. путем впрыскивания в цилиндр небольшого количества жидкого, пилотного топлива. Это означает, что методы контроля детонации, основанные на анализе ионизации газа, применить в газодизеле достаточно сложно, поэтому в рамках данного исследования они не рассматривались.

Целью настоящей работы было сравнение эффективности двух методов обнаружения детонации, основанных на частотном анализе сигнала по давлению в цилиндре и сигнала по вибрации головки цилиндра. К первой категории, предусматривающей прямое измерение основных детонационных эффектов и подробное исследование процессов аномального сгорания, относится безусловное большинство методов, используемых в настоящее время в лабораторных исследованиях двигателей при их работе на новых видах топлива.

Поэтому в технической литературе можно встретить описание самых различных методов, основанных на анализе сигнала давления.

В настоящей работе предпочтение было отдано методам, основанным на частотном анализе сигнала давления в цилиндре и/или его производных. Такой выбор был продиктован тем, что высокочастотные пульсации давления, характерные для детонационного сгорания, могут быть источником полезной информации об интенсивности аномального сгорания, поскольку их амплитуда зависит от количества источников самовоспламенившейся рабочей смеси. Однако из-за высокой стоимости и малого ресурса датчиков давления область применения методов анализа сигнала давления ограничена лабораторными исследованиями. Для серийно выпускаемых двигателей, как правило, используются методы, основанные на анализе вибрации головки или блока цилиндров. В автомобильном двигателе для контроля детонации в каждом цилиндре достаточно иметь один или два акселерометра на блок. Поскольку главные судовые двигатели и двигатели генераторных установок по своей размерности, как правило, значительно превосходят автомобильные, для них обычно требуется установка индивидуального акселерометра в головке каждого цилиндра. Высокочастотные пульсации давления в цилиндре, возникающие в результате самовоспламенения рабочей смеси, вызывают вибрацию элементов конструкции двигателя, измеряемую акселерометром. Поскольку акселерометр устанавливается в головке цилиндра, чистое запаздывание между моментами возникновения пульсаций давления и вибрации головки цилиндра пренебрежимо мало (рис. 1). Акселерометры являются относительно дешевыми приборами, что позволяет успешно их использовать в серийных двигателях. В то же время необходимо провести четкое различие между вибрацией, возникающей вследствие детонации, и вибрацией, вызываемой механическими воздействиями, которая может иметь место и при нормальной работе двигателя. На рис. 2 приведен сигнал вибрации головки цилиндра, вызываемой закрытием впускных (IVC) и выпускных (EVC) клапанов. Поэтому столь важное значение имеет правильный выбор точек установки датчиков и методов обработки сигналов.

Использование методов частотного анализа предполагает идентификацию частотных диапазонов, возникающих под воздействием детонации пульсаций давления и/или механических вибраций. При этом необходимо обеспечить такую фильтрацию сигнала, которая позволила бы выделить из него составляющие, вызываемые детонацией. После выбора наиболее репрезентативных показателей детонации можно было

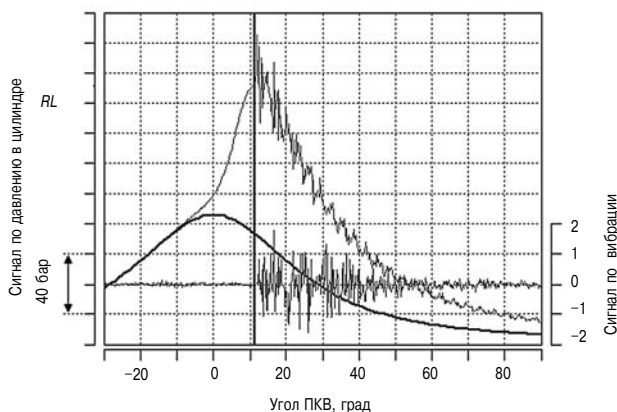


Рис. 1. Сигналы по давлению в цилиндре и вибрации при сильной детонации

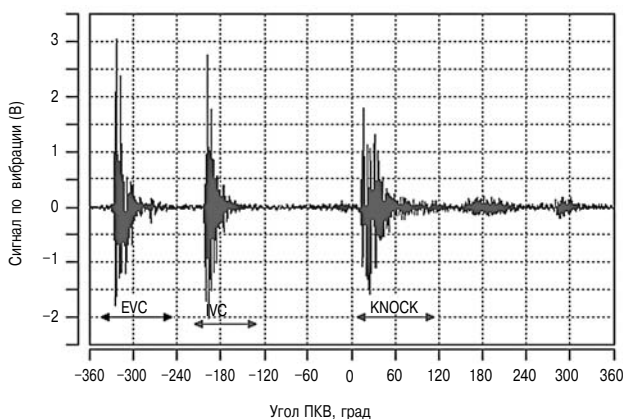


Рис. 2. Сигнал по вибрации головки цилиндра при сильной детонации (KNOCK)

перейти к экспериментам на двигателе Wartsila W50DF, проводимых с целью выработки критериев наиболее адекватных и надежных методов диагностики детонации.

Экспериментальная установка

Эксперименты проводились на двигателе Wartsila типа W50DF. Это четырехтактный газодизель, способный работать на природном газе и легком топливе (LFO — Light Fuel Oil) или тяжелом топливе (HFO — Heavy Fuel Oil). Двигатель работает по циклу Отто на обедненной смеси природного газа и воздуха. Значения коэффициента избытка воздуха достаточно велики ($2,0 < \lambda < 2,2$); газ подается во впускные окна всех цилиндров на такте всасывания (рис. 3). Для зажигания обедненной топливовоздушной смеси в цилиндр подается небольшое количество пилотного топлива (LFO), которое представляет собой источник воспламенения основного заряда, обладающий высоким энергетическим потенциалом. Доля пилотного топлива достаточно мала, чтобы не происходил рост выбросов NO_x . Поэтому для впрыска пилотного топлива используется специальный микроклапан.

Основные параметры экспериментального двигателя представлены в табл. 1.

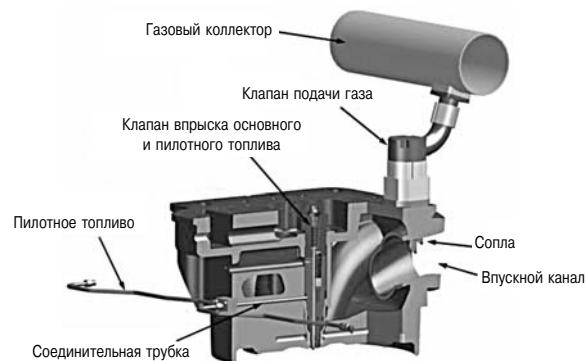


Рис. 3. Системы подачи газа и пилотного топлива

Единственным отличием экспериментального двигателя от серийного был датчик давления, использовавшийся для измерения интенсивности детонации. Пьезоэлектрический датчик давления типа Kistler 6013CQ02 был установлен в первом (считая от маховика) цилиндре рядом с выпускным клапаном (рис. 4). Место установки датчика выбиралось как можно ближе к ожидаемой точке самовоспламенения.

Таблица 1

Основные параметры стендового двигателя

Компоновка	Рядный 6-цилиндровый
Диаметр цилиндра, мм	500
Ход поршня, мм	580
Номинальная скорость, об/мин	500
Средняя скорость поршня, м/с	9,7
Максимальная мощность, кВт	5700
Среднее эффективное давление, бар	20,0

Хотя на каждом цилиндре серийного двигателя W50DF установлен акселерометр для измерения вибраций, возникающих в результате аномального сгорания, в настоящем исследовании сигналы от этих датчиков не регистрировались, а подавались в систему управления Wartsila (WECS) только для контроля работы двигателя. В дополнение к серийному в головке первого цилиндра был установлен еще один акселерометр (датчик типа KS-P фирмы «Bosch») для измерения вибрации головки. Штатные акселерометры, устанавливаемые на серийных двигателях, и дополнительные акселерометры показаны на рис. 5.

Обработка сигналов

Выбор параметров полосового фильтра сигнала по давлению

Оценка значений ожидаемых резонансных частот при детонации была выполнена на основании аналитического решения волнового уравнения для замкнутого цилиндрического объема с плоскими торцами. Резонансная частота

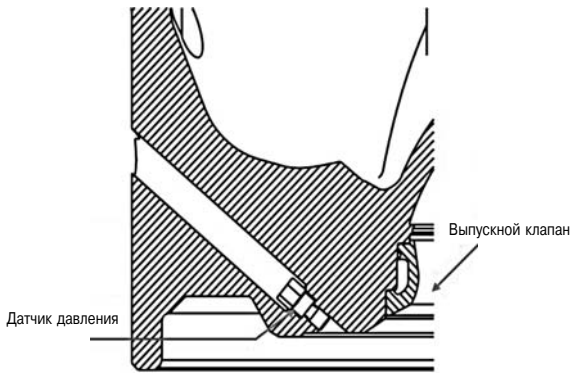


Рис. 4. Установка датчика давления

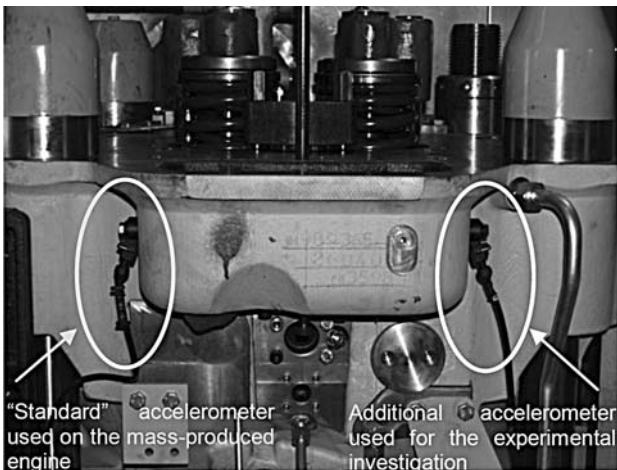


Рис. 5. Установка двух акселерометров в головке цилиндра 1:

слева — штатный акселерометр серийного двигателя, справа — дополнительный акселерометр для эксперимента

формы колебаний m, n может быть вычислена по формуле

$$f_{m,n} = \alpha_{m,n} \frac{c_s}{\pi B}, \quad (1)$$

где $\alpha_{m,n}$ — соответствующее волновое число (находится из уравнений Бесселя); m и n — номера радиального и тангенциального узлов давления соответственно; c_s — скорость звука в камере сгорания (порядка 830 м/с); B — диаметр цилиндра.

Первые шесть гармоник показаны на рис. 6, а расчетные значения их резонансных частот сведены в табл. 2.

Расчетные значения резонансных частот сравнивались с экспериментальными результатами, полученными путем обработки сигнала давления с помощью преобразования Фурье. На рис. 7 в качестве примера показаны два варианта спектра давления в цилиндре — для типичного цикла с сильно выраженной детонацией и для нормального цикла. Для большей наглядности сравнения на обоих графиках приведены расчетные значения первых пяти частот. Из приведенных данных следует, что первая расчетная гармоника хорошо

Расчетные значения резонансных частот

Резонансная частота, кГц	f_{10}	f_{20}	f_{01}	f_{30}	f_{40}	f_{11}
Теоретическое значение	1	1,6	2	2,2	2,8	2,8

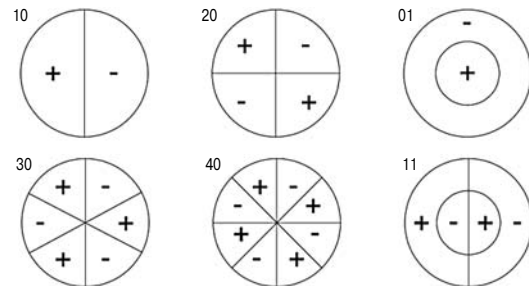


Рис. 6. Первые шесть форм вибрации

аппроксимирует измеренное значение первой резонансной частоты, тогда как корреляция между другими соответствующими частотами, теоретически рассчитанными и экспериментально измеренными, выражена слабее. На основании предварительного расчета теоретических частот и последующего анализа измеренных спектров давления был выбран фильтр с полосой пропускания 900–3500 Гц. Указанный диапазон охватывает частоты основных форм вибрации. Это позволяет снизить влияние высокочастотного шума, который может присутствовать при работе

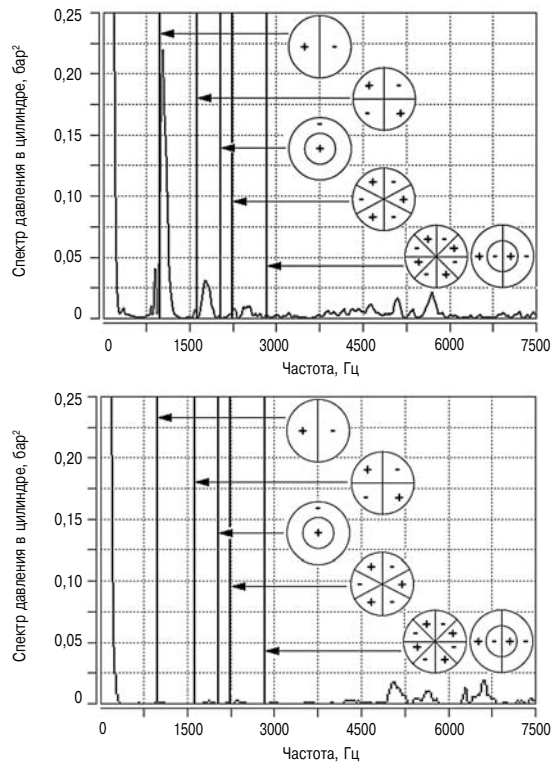


Рис. 7. Спектр давления в цилиндре для типичных циклов с сильной детонацией (сверху) и без детонации (снизу)

двигателя на любых режимах, независимо от наличия или отсутствия детонации (см. рис. 7).

Выбор параметров полосового фильтра для сигнала акселерометра

Методы фильтрации выбирались по результатам гармонического анализа вибросигнала. Анализируя различные спектры вибрации при отсутствии детонации, можно увидеть два разных источника шума, один из которых находится в диапазоне низких частот (менее 850 Гц), а другой — в диапазоне высоких частот (более 4500 Гц) (рис. 8). Кроме того, сигнал зависит от передаточной функции двигателя, которая может усиливать или ослаблять определенные частоты (рис. 9). Поскольку подробный анализ передаточной функции двигателя выходит далеко за рамки настоящей работы, для сигнала акселерометра был выбран фильтр с полосой пропускания 850–4500 кГц.

Выбор признаков детонации

Частотные методы анализа требуются филь-

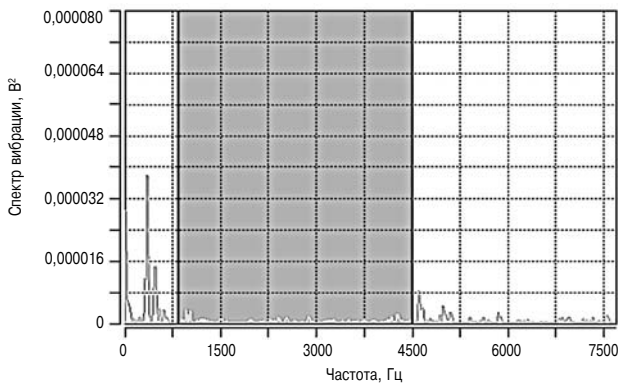


Рис. 8. Спектр вибрации при отсутствии детонации

трации сигнала для выделения той его составляющей, которая связана только с детонацией. В предыдущих работах было показано, что простейшим показателем детонации может стать максимальная амплитуда сигнала или максимальная относительная разность амплитуд сигнала после фильтрации. Для того чтобы подчеркнуть влияние усталостной составляющей износа двигателя, был предложен ряд альтернативных показателей, в том числе интеграл абсолютного значения первой производной сигнала, интеграл абсолютного значения сигнала и среднее квадратическое значение сигнала.

С учетом детального анализа известных литературных источников для последующей экспериментальной проверки были выбраны следующие показатели (далее каждый показатель обозначен соответствующим символом в скобках):

- максимальная разность пиковых значений фильтрованного сигнала давления или вибрации (*PPMax*);
- среднее квадратическое значение фильтрованного сигнала давления или вибрации (*MSV*);
- интеграл абсолютного значения фильтрованного сигнала давления или вибрации (*ID*).

Теоретически показатель *PPMax* хорошо коррелирует с интенсивностью детонации, поскольку, чем больше количество самовоспламенившегося газа, тем сильнее должны быть пульсации давления. Амплитуда вибрации головки цилиндра под действием детонации зависит (с учетом передаточной функции двигателя) от диапазона пульсаций давления в цилиндре, зависящего от количества самовоспламенившегося газа.

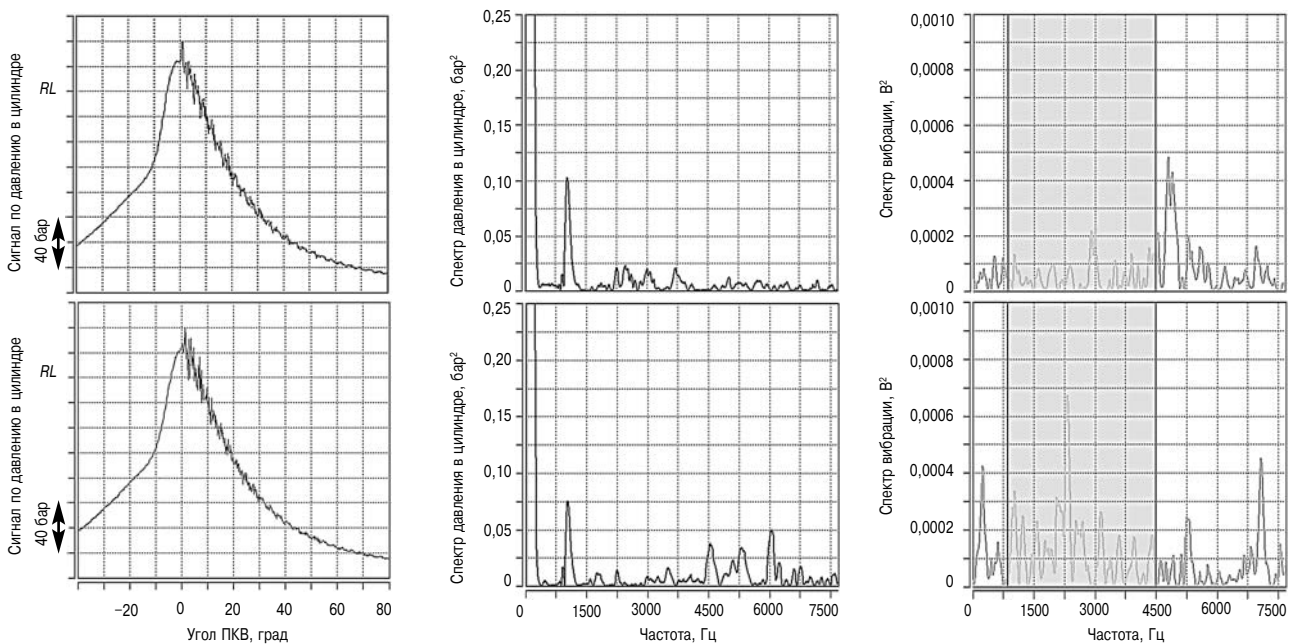


Рис. 9. Сигналы по давлению в цилиндре (слева), спектры давления в цилиндре (в середине) и вибрации (справа) для двух различных циклов с сильной вибрацией. На спектре вибрации выделена полоса фильтрации (850–4500 Гц)

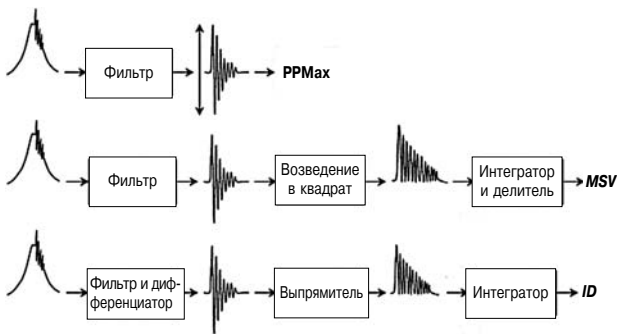


Рис. 10. Схема определения показателей вибрации: *PPMax* (сверху), *MSV* (посередине) и *ID* (снизу)

Показатель *MSV* представляет собой среднее значение энергии сигнала, выделяющегося на протяжении той части рабочего цикла, во время которой происходит детонация. Поэтому он хорошо коррелирует с усредненными значениями показателей, характеризующих воздействие аномального сгорания на прочность конструкции двигателя.

Показатель *ID* может быть определен следующим образом:

$$ID = \int dx_{b.p.f}; \quad (2)$$

$$ID = \int \left| \frac{dx_{b.p.f}}{dt} \right| dt, \quad (3)$$

где $x_{b.p.f}$ — сигнал по давлению или вибрации после фильтра.

Как видно из уравнения (2), показатель *ID* пропорционален числу и амплитуде пульсаций сигнала, и, следовательно, характеризует усталостные напряжения, вызываемые детонацией (для упрощения математической обработки сигнала при расчете *ID* обычно используют уравнение 3).

Выбор сектора поворота коленчатого вала для снятия фильтрованного сигнала

Правильный выбор сектора ПКВ позволяет увеличить соотношение сигнал–шум (*s/n*) при использовании не только акселерометров, но и датчиков давления, которые не столь чувствительны к фоновым шумам.

На рис. 10 показаны типичные кривые изменения давления и вибросигнала при наличии детонации. Высокочастотные пульсации давления, вызванные самовозгоранием, и соответствующие вибрации головки цилиндра возникают вскоре после прохождения верхней мертвой точки (ВМТ). Почти сразу достигая максимальной амплитуды, вибрация постепенно ослабевает, падая почти до нуля при достижении угла ПКВ порядка 90° после ВМТ.

Влияние выбранного сектора ПКВ на изменение показателей *ID* и *MSV* приведено на рис. 11. Результаты получены при двух разных

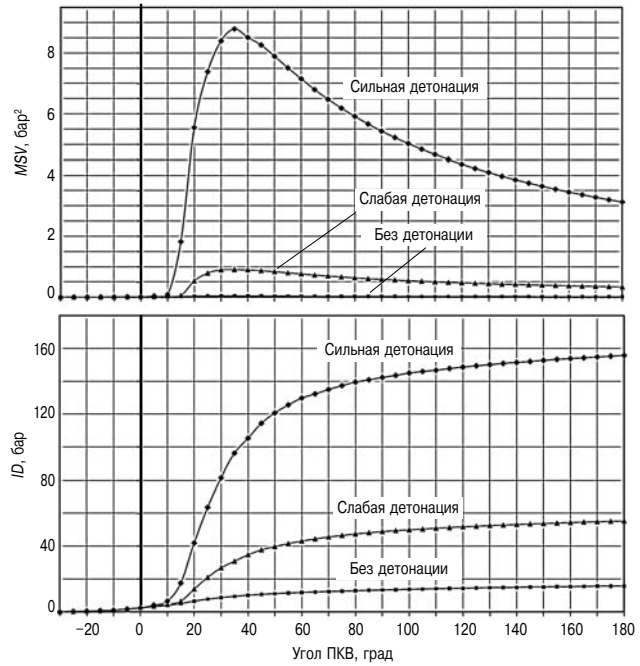


Рис. 11. Значения *MSV* (сверху) и *ID* (снизу) для типичного цикла с тяжелой детонацией: сравнение результатов, полученных с использованием различных значений сектора ПКВ

величинах секторов ПКВ для двух типов детонационных циклов (тяжелая и легкая детонация), а также для нормального цикла. Из приведенных данных следует, что для показателя *ID* оптимальным является сектор ПКВ 10–90° за ВМТ, а для показателя *MSV* — более короткий сектор 10–50° за ВМТ. При обработке сигнала акселерометра были получены аналогичные результаты. Поэтому для обоих сигналов были выбраны одинаковые значения сектора ПКВ. Это стало возможным, поскольку двигатель W50DF оборудован акселерометрами, установленными на каждом цилиндре, благодаря чему интерференция между детонационной вибрацией каждого цилиндра и механической вибрацией других цилиндров отсутствует (рис. 2).

Критерии определения детонационных рабочих циклов

Как отмечено в предыдущем разделе, после выбора оптимального метода обработки сигнала необходимо установить критерии определения детонационных рабочих циклов. Как показано на рис. 11, даже в нормальных рабочих циклах индекс детонации не равен нулю, поэтому реально подтвердить возникновение детонации можно только путем сравнения индекса детонации с некоторым пороговым значением. Однако надежность такого критерия зависит от точности выбора порогового значения, которое, с одной стороны, должно быть достаточно велико для предотвращения ложных обнаружений из-за фонового шума (например, из-за вибрации

головки другого цилиндра), с другой стороны, не должно быть настолько высоким, чтобы циклы со слабой детонацией могли оставаться незамеченными. Именно по этой причине методы, использующие постоянное пороговое значение, не получили распространения в автомобильных двигателях, где из-за большого диапазона изменения скорости и нагрузки разброс интенсивности фонового шума настолько велик, что выбрать нужное пороговое значение практически невозможно.

Ничто, однако, не мешает использовать данные методы в главных судовых двигателях и генераторных установках, где двигатели чаще всего работают при постоянной скорости, а в ряде случаев — и при практически постоянной нагрузке. К тому же в судовых двигателях каждый цилиндр обычно оборудован акселерометром, что позволяет резко снизить уровень фонового шума. Наконец, датчики давления, обычно применяемые в лабораторных исследованиях, к фоновому шуму практически нечувствительны, что в принципе позволяет их использовать и в серийных машинах. Однако калибровка порогового уровня может оказаться непростой задачей, поскольку из-за нестабильности процесса сгорания (даже при неизменных параметрах работы двигателя) вариации от цикла к циклу большинства физических параметров, на которых основаны показатели дето-

нации, оказываются достаточно велики.

В ряде исследований показано, что для выбора оптимального порогового уровня может быть использован статистический анализ. Данный метод основан на изучении спектра интенсивности детонации на следующих трех режимах:

- нормальная работа без детонации;
- начало детонации;
- сильная детонация.

Как показывает частотный анализ распределения интенсивности детонации по записи достаточного количества последовательных циклов, при отсутствии детонации (рис. 12 и 13, вверху) отношение X/X_m (где X — интенсивность детонации на протяжении определенного цикла, а X_m — величина интенсивности детонации, усредненная по достаточно большому количеству последовательных циклов) распределено в рассматриваемом диапазоне таким образом, что его максимальная амплитуда связана со средним значением X_m через коэффициент пропорциональности k . Этот коэффициент зависит от индекса детонации и может изменяться в диапазоне от 1,5 до 3, в зависимости от вида обрабатываемого сигнала и принятого показателя детонации. При достижении условий начала детонации (рис. 12 и 13, в середине) поведение всех рассматриваемых показателей детонации было одинаковым, т. е. разброс их резко возрос, а

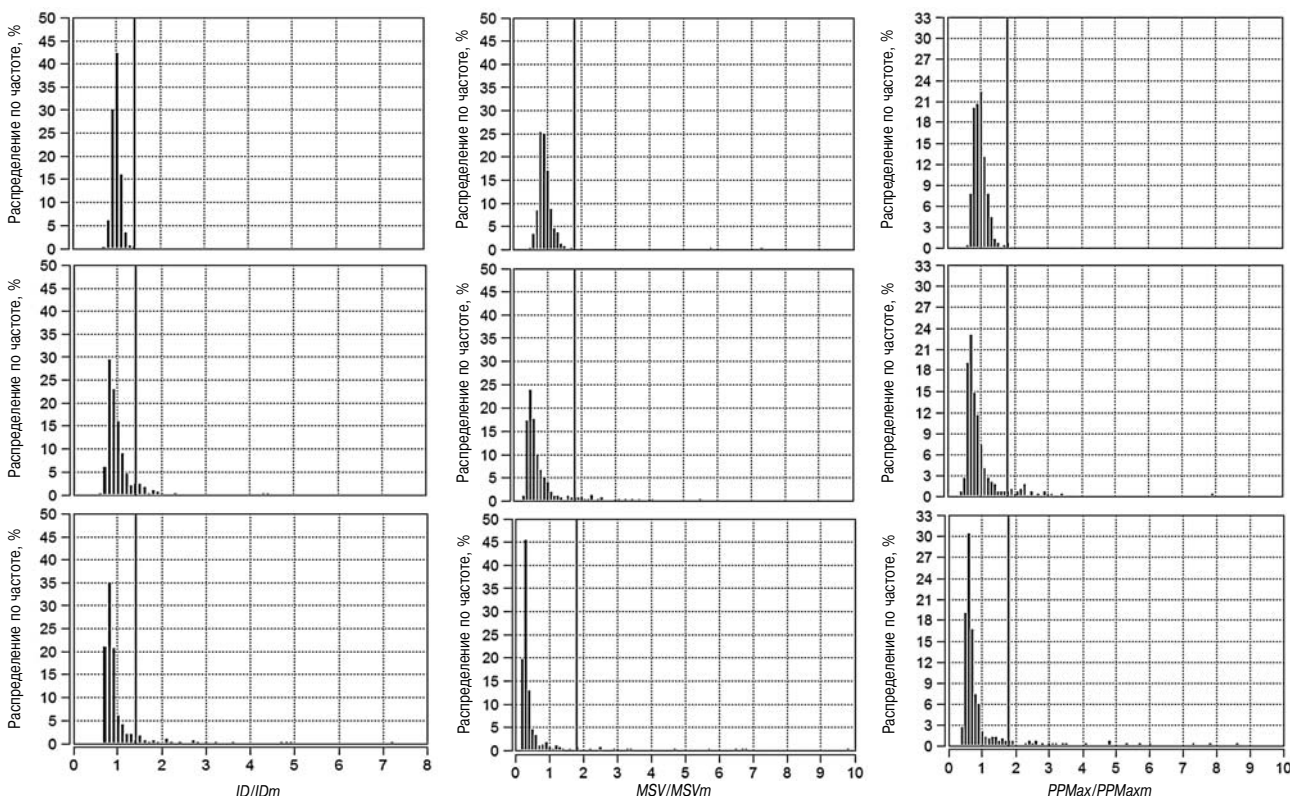


Рис. 12. Сравнение распределений относительных частот X/X_m в трех различных рабочих режимах (без детонации — сверху, начало детонация — посередине и сильная детонация — внизу), полученных с использованием показателей ID, MSV и PPMax (по сигналу давления)

для небольшой части (1–2 %) от общего числа исследуемых циклов наблюдался выход за пределы зоны вариаций kXm , зафиксированной в условиях нормального сгорания. Таким образом, все распределения частот получили небольшую положительную асимметрию, возрастающую по мере усиления детонации (рис. 12 и 13, внизу), а детонационные циклы можно отличить по тому, что они попадают в правую часть кривой распределения, за пределами порогового значения, определяемого зоной вариаций при нормальном сгорании, т. е. kXm . При сильной детонации диапазон вариаций всех распределений заметно увеличивается, при этом большое число циклов попадает в правую часть распределения. Стоит, однако, заметить, что значительный рост средней величины интенсивности детонации вызывает соответствующий рост пороговых значений для условий сильной детонации. Следовательно, если циклы, в которых интенсивность детонации выходит за пределы пороговых значений, могут быть однозначно определены как детонационные, то циклы, в которых интенсивность детонации находится в пределах пороговых значений kXm , не могут столь же однозначно считаться бездетонационными.

Это позволяет сформулировать следующий принцип идентификации детонационных циклов в реальном времени. Цикл двигателя может

быть определен как детонационный, если интенсивность детонации (X) на протяжении этого цикла выходит за пределы порогового значения kXm , где Xm — средняя величина интенсивности детонации предыдущих циклов, рассчитанная системой управления двигателем. Число предыдущих циклов, используемых для оценки порогового значения, будет зависеть от применения двигателя. Более широкий диапазон измерений (двести циклов) рекомендуется для двигатель-генераторов, работающих почти всегда с постоянной скоростью и нагрузкой. Для судовых силовых установок с винтом постоянного шага предпочтительнее использовать более узкий диапазон (порядка пятидесяти циклов), чтобы повысить быстродействие системы управления в переходных процессах по скорости или нагрузке.

Анализ полученных результатов

Для сравнения результатов, полученных разными методами (с использованием сигналов от датчиков давления в цилиндре или от акселерометров) и с помощью различных критериев (основанных как на постоянных пороговых значениях, так и в статистическом анализе) были выбраны несколько режимов работы двигателя. Исследовалась область рабочих режимов, показанная на рис. 14. При этом задавались режимы, характеризуемые постоянными значениями скорости и нагрузки, затем для каждого такого ре-

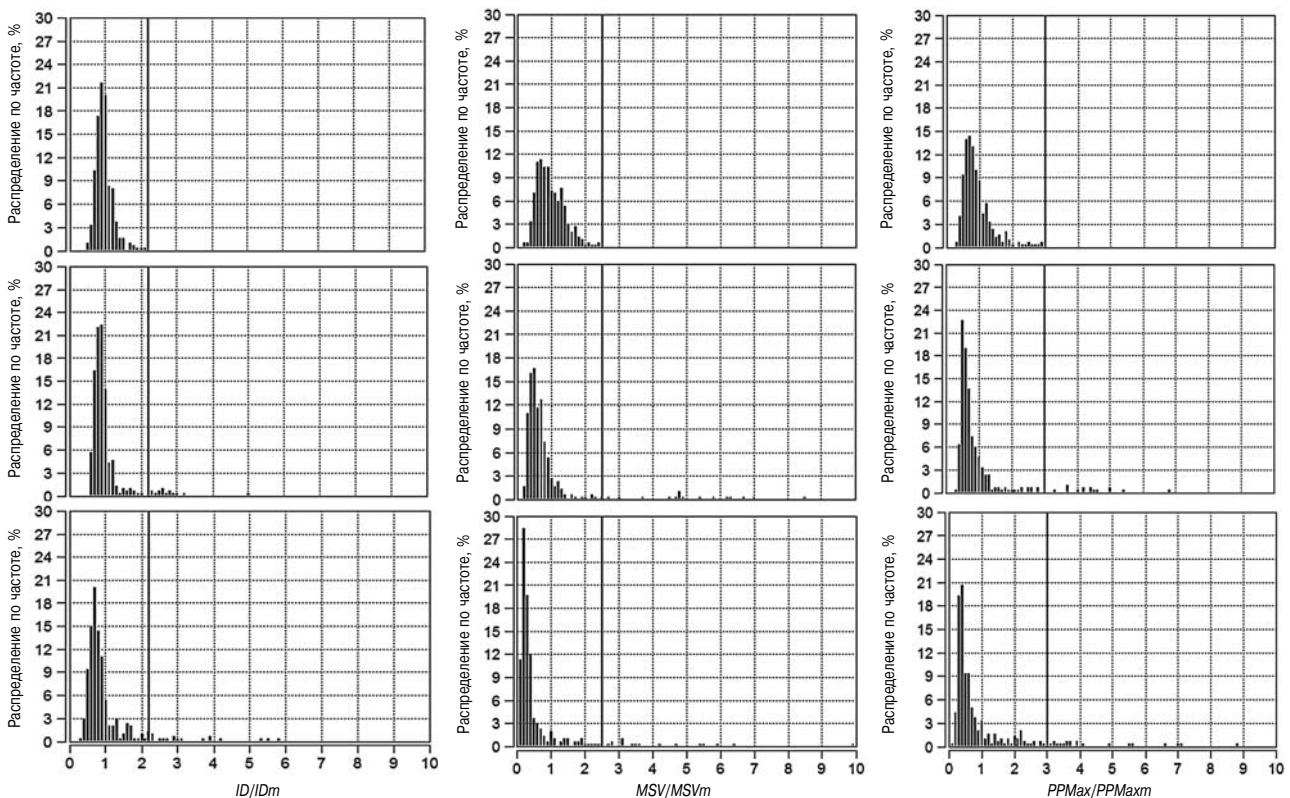


Рис. 13. Сравнение распределений относительных частот X/Xm в трех различных рабочих режимах (без детонации — сверху, начало детонации — посередине и сильная детонация — внизу), полученных с использованием показателей ID , MSV и $PPMах$ (по сигналу акселерометра)

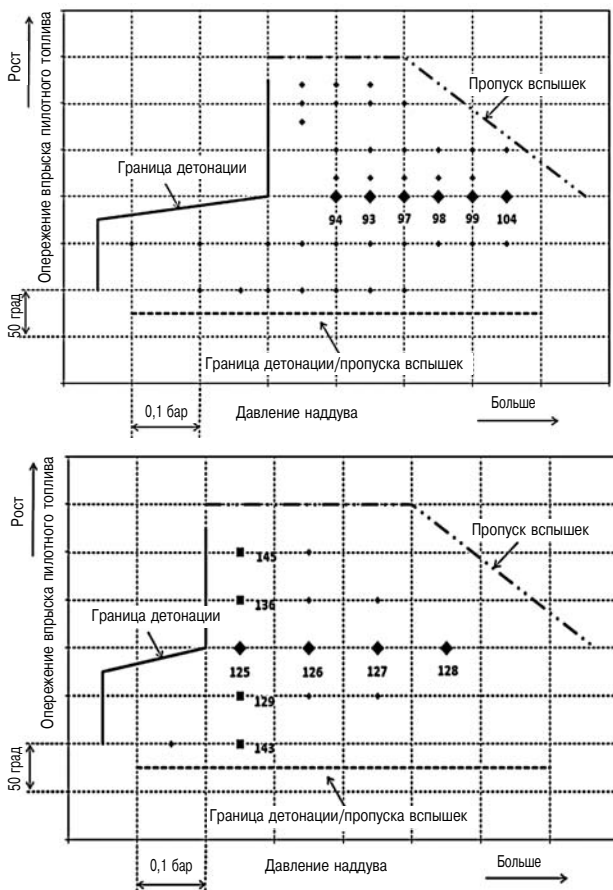


Рис. 14. Область рабочих режимов двигателя W50DF при различных значениях температуры воздуха на всасывании: 45 °С (вверху) и 40 °С (внизу)

жима изменялись следующие параметры: давление наддува, температура воздуха на всасывании и угол впрыска пилотного топлива. Всего было изучено более 60 режимов. Основные результаты приведены ниже. Если при постоянном значении угла впрыска пилотного топлива давление наддува растет, как, например, в точках 125–128 (см. рис. 14), коэффициент избытка воздуха увеличивается, т. е. происходит обеднение смеси. При этом риск возникновения детонации уменьшается, а средняя интенсивность детонации (при усреднении по более чем 300 рабочим циклам) по мере роста давления наддува снижается. Все показатели детонации демонстрируют одну и ту же тенденцию, без сколько-нибудь существенных отличий между результатами, полученными с помощью датчика давления и акселерометра. Аналогичные результаты были получены при изменении температуры воздуха на всасывании в точках 93, 94, 97, 98, 99 и 104. На рис. 16 показана кривая изменения показателя ID , полученная при измерении давления в цилиндре. Остальные показатели вели себя практически аналогично.

По критерию средней интенсивности детонации точки 94 (см. рис. 16) и 125 (см. рис. 15) мож-

но классифицировать как режимы с сильной детонацией, в то время как точки 126 и 93 могут быть охарактеризованы как режимы с начинающейся детонацией. Остальные режимы (точки 97–99, 104, 127 и 128) представляют собой примеры нормального (бездетонационного) сгорания. В точках 125, 129, 136, 143 и 145 было проанализировано влияние угла впрыска пилотного топлива на развитие детонации. Поскольку различные показатели детонации вели себя практически одинаково, на рис. 17 показана только кривая показателя ID , полученная с помощью измерения давления в цилиндре. Хотя можно было ожидать, что с увеличением угла опережения впрыска пилотного топлива склонность к детонации будет расти, фактически полученная кривая имеет колоколообразную форму. Это объясняется тем, что во время экспериментов штатная система управления и контроля WECS оставалась включенной (из соображений безопасности). Как видно из рис. 17, при увеличении угла опережения впрыска эта система ограничивала развитие детонации, снижая цикловую подачу газа и обедняя тем самым рабочую смесь. Вместе с тем, хотя при использовании усредненной интенсивности детонации все ее показатели вели себя практически одинаково, разброс значений индекса детонации по отдельным циклам был весьма значителен, что указывает на другие возможности метода, такие, как, например, обнаружение отдельных детонационных циклов в условиях начинающейся детонации, или установление корреляции между индексом детонации и ее интенсивностью.

Для каждой точки рабочего режима сигнал по давлению в цилиндре, усредненный по 300 циклам, сначала оценивался оператором визуально, после чего анализировался математически. При этом рассчитывалось количество энергии, содержащейся в несгоревшей части газозооной смеси в момент самовоспламенения. Затем выбирались пороговые значения индекса детонации, чтобы по ним можно было идентифицировать все рабочие циклы, которые оператор предварительно определил как детонационные.

В табл. 4 и 5 приведены результаты сравнения детонационных циклов, определенных с использованием различных показателей детонации по каждому критерию всеми рассмотренными выше методами. Данные расположены в порядке возрастания частоты детонационных циклов. В первом столбце этих таблиц находятся номера точек рабочих режимов, а во втором — число детонационных циклов, определенных оператором с помощью анализа кривых изменения давления в цилиндре. В следующем столбце для каждого показателя детонации приводится число дето-

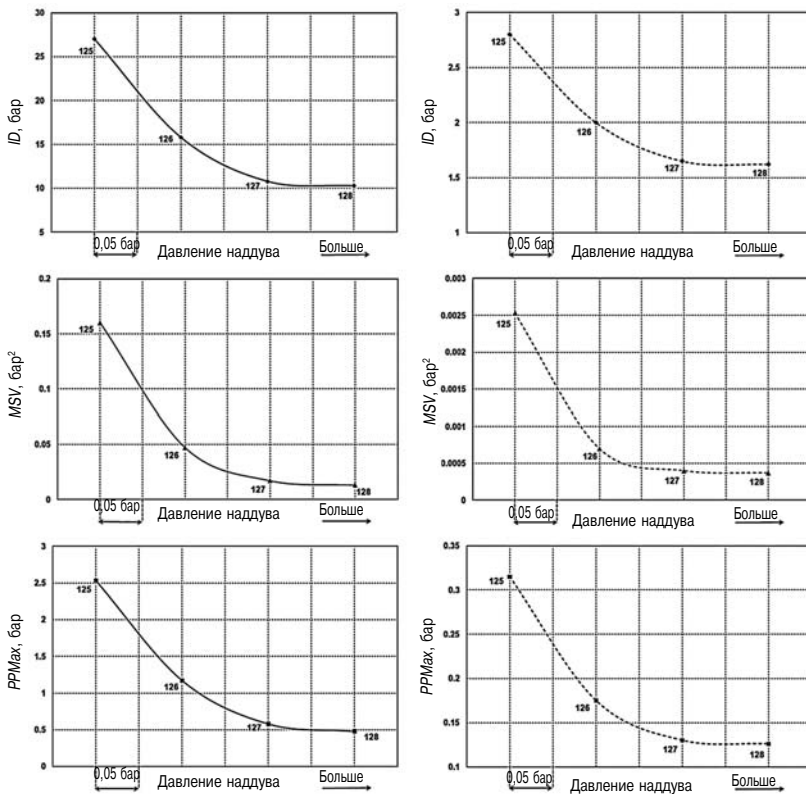


Рис. 15. Сравнение индексов детонации, полученных на основе сигналов давления (слева) и вибрации (справа): средние значения интенсивности детонации в зависимости от давления наддува (нагрузка 100 %, температура воздуха на всасывании 40 °С)

национных циклов, определенных с использованием сигналов давления в цилиндре и вибрации.

В табл. 4 приведены результаты, полученные с использованием постоянного порогового значения и двух различных видов сигналов. При использовании сигнала по давлению все показатели детонации оказались достаточно эффективными с точки зрения способности отличать детонационные циклы от нормальных. Наибольшую эффективность в этом смысле продемонстрировал показатель *ID*, показавший почти идеальное со-

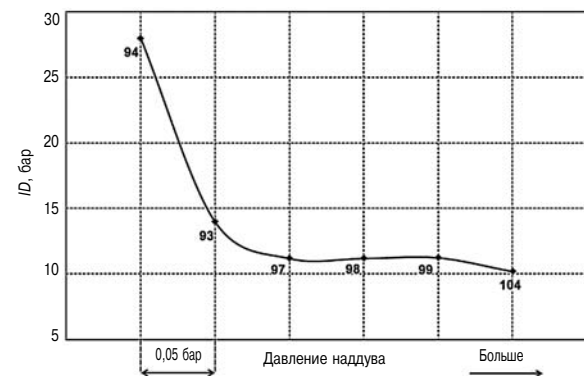


Рис. 16. Средние значения *ID* в функции от температуры воздуха в ресивере (нагрузка 100 %, температура воздуха на всасывании 45 °С)

впадение с результатами «эталонных» обнаружений, сделанных оператором. При использовании вибросигнала, напротив, ни один показатель удовлетворительных результатов не продемонстрировал. Все три показателя дали большое число ложных обнаружений, особенно в режимах, соответствующих началу детонации (например, точки 126 и 143), где расхождение между числом обнаруженных и фактических детонационных циклов превысило 50. Это объясняется, в первую очередь, влиянием передаточной функции двигателя. В указанных точках наблюдалось множество недетонационных циклов, для которых характерны слабые возмущения со специфическим частотным спектром. Эти возмущения усиливаются передаточной функцией двигателя, в результате чего уровень фонового шума превышает пороговое значение (рис. 18). Повышение порогового значения, может, очевидно, ослабить данный эффект, но при этом часть детонационных циклов будет пропускаться.

Статистический анализ дает совсем другую картину (табл. 5). В этом случае оказывается, что

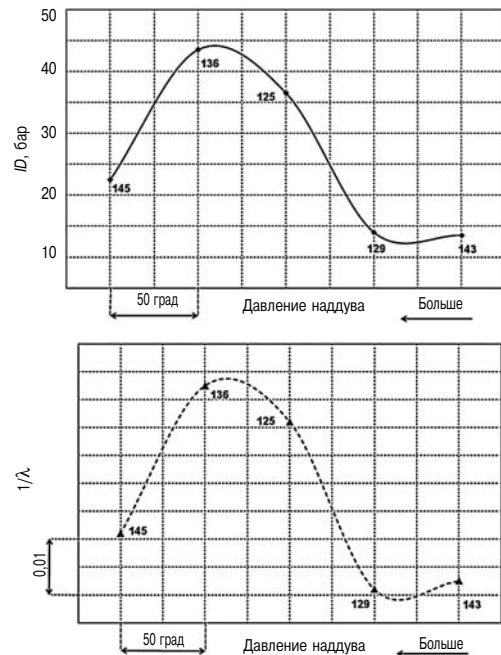


Рис. 17. Средние значения *ID* (сверху) и коэффициента избытка горючего (внизу) в функции от угла опережения впрыска пилотного топлива (нагрузка 100 %, температура воздуха на всасывании 40 °С)

Таблица 4

Сравнительное количество детонационных циклов, обнаруженных методом постоянного порогового значения с использованием различных показателей детонации и различных источников сигнала

Метод постоянного порогового значения															
Точка	Сигнал по давлению в цилиндре							Сигнал по вибрации							
	КС	ID	MSV	PPMax	КС	Δ	КС	Δ	КС	Δ	КС	Δ	КС	Δ	
97	0	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=
98	0	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=
99	0	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=
128	0	0	=	1	+1	1	+1	2	+2	3	+3	7	+7		
127	1	1	=	1	=	1	=	2	+1	3	+2	7	+6		
104	2	2	=	2	=	2	=	4	+2	5	+3	10	+8		
136	2	2	=	3	+1	3	+1	24	+22	41	+39	39	+37		
145	5	5	=	5	=	5	=	37	+32	53	+48	62	+57		
93	6	6	=	8	+2	9	+3	15	+9	17	+11	23	+17		
126	14	14	=	20	+6	18	+4	65	+51	80	+66	77	+63		
143	14	15	+1	16	+2	12	-2	95	+81	125	+111	103	+89		

Таблица 5

Сравнительное количество детонационных циклов, обнаруженных статистическим методом с использованием различных показателей детонации и различных источников сигнала

Частотное распределение интенсивности детонации															
Точка	Сигнал по давлению в цилиндре							Сигнал по вибрации							
	КС	ID	MSV	PPMax	КС	Δ	КС	Δ	КС	Δ	КС	Δ	КС	Δ	
97	0	1	+1	2	+2	2	+2	0	=	0	=	0	=	0	=
98	0	0	=	1	+1	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=
99	0	0	=	1	+1	0	=	0	=	0	=	0	=	0	=
128	0	1	+1	3	+3	2	+2	1	+1	1	+1	1	+1		
127	1	2	+1	4	+3	4	+3	2	+1	2	+1	1	=		
104	2	3	+1	5	+3	6	+4	3	+1	4	+1	4	+2		
136	2	9	+7	16	+14	9	+7	5	+3	11	+9	6	+4		
145	5	15	+10	18	+13	15	+10	19	+14	27	+22	22	+17		
93	6	11	+5	14	+8	16	+10	13	+7	14	+8	14	+8		
126	14	17	+3	23	+9	18	+4	23	+9	29	+15	22	+8		
143	14	15	+1	18	+4	16	+2	17	+3	24	+10	25	+11		

при использовании сигнала давления все упомянутые выше показатели дают худшие результаты по сравнению с методом постоянного порогового значения. При таком подходе, особенно при использовании показателей *MSV* и *PPMax*, число циклов, опознанных как детонационные, всегда превышает реальное число детонационных циклов, причем процент ложных обнаружений весьма значителен. В то же время использование показателя *ID* позволяет существенно снизить число ложных обнаружений. И наоборот, при использовании вибросигнала в качестве источника информации данный подход дает лучшие результаты по сравнению с методом постоянного порогового значения. В частности, при использовании показателя *ID* процент ложных обнаружений

весьма ограничен, а число циклов, определенных как детонационные, достаточно близко к числу реальных детонационных циклов. Что же касается показателей *MSV* и *PPMax*, то при их использовании число циклов, определенных как детонационные, значительно больше, чем реальное число детонационных циклов,

Наконец, следует отметить, что *ID* — это показатель, который всегда определяет детонационные циклы наиболее эффективно, независимо от вида информационного сигнала и выбранного критерия.

Классификация детонационных циклов

Правильный выбор методики обнаружения детонационных циклов позволит реально улучшить существующие способы контроля детонации. В настоящее время начало детонации чаще определяется по частоте детонационных циклов, нежели по интенсивности эффектов, связанных с аномальным сгоранием. Проведенное исследование выявило надежную корреляцию между значением *ID* и количеством самовоспламенившейся воздушно-топливной смеси, что позволило разделить детонационные циклы на две категории — слабая и сильная детонация.

В качестве примера на рис. 19 показаны значения *ID* и соответствующих количеств энергии, содержащейся в самовоспламенившейся воздушно-топливной смеси. Для различения слабой и сильной детонации использовались два значения порогового уровня. Результаты экспериментов (см. рис. 19) подтверждают возможность классификации детонационных циклов с достаточной точностью, разделяя их на категории в соответствии с интенсивностью детонации. Наконец, необходимо сказать о том, что возможность разделения детонационных циклов на две категории не является исключительной прерогативой метода постоянного порогового уровня. Такое разделение может быть достигнуто также с помощью статистического анализа, путем задания двух различных значений коэффициента *k*.

Заключение

Выполнено сравнение двух различных категорий методов обнаружения детонации, основанных на анализе давления в цилиндре двигателя и вибрации головки цилиндра. Экспериментальная часть исследования проводилась на двигателе типа Wartsila W50DF, при этом испытывались и сравнивались различные критерии и показатели детонации. Результаты выполненной работы могут быть кратко сформулированы следующим образом.

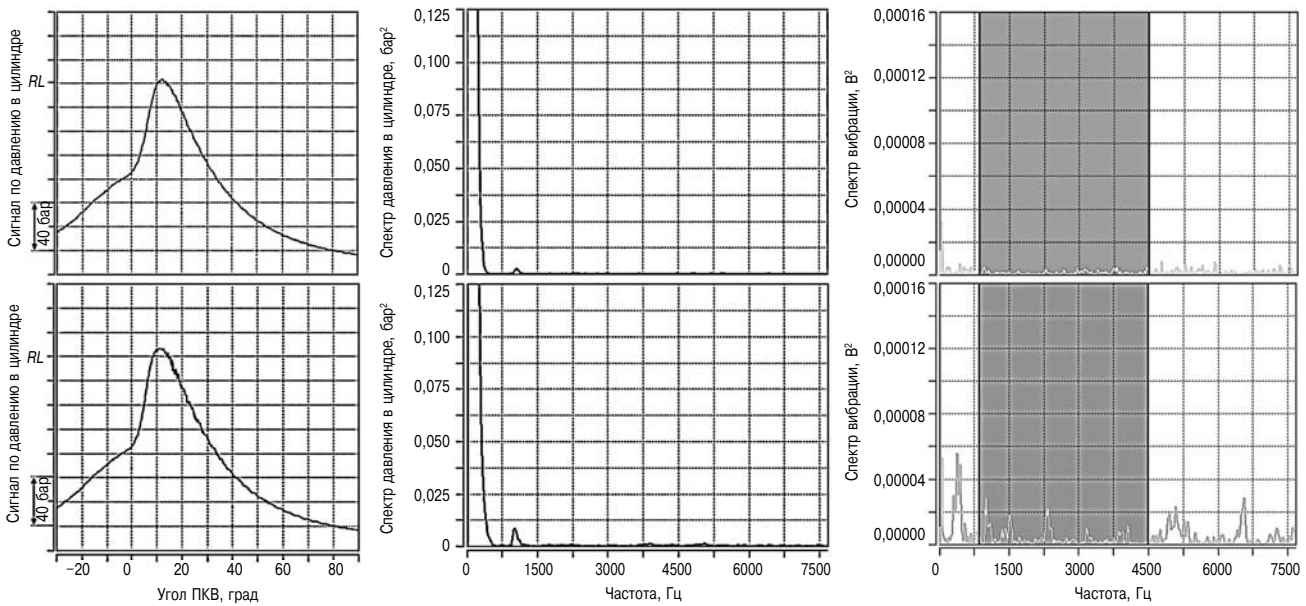


Рис. 18. Давление в цилиндре (слева), спектры давления в цилиндре (посредине) и вибрации (справа) бездетонационных циклов (сверху) и циклов, характерных слабыми пульсациями давления (снизу). На правой нижней диаграмме показана также полоса пропускания фильтра (850–4500 Гц)

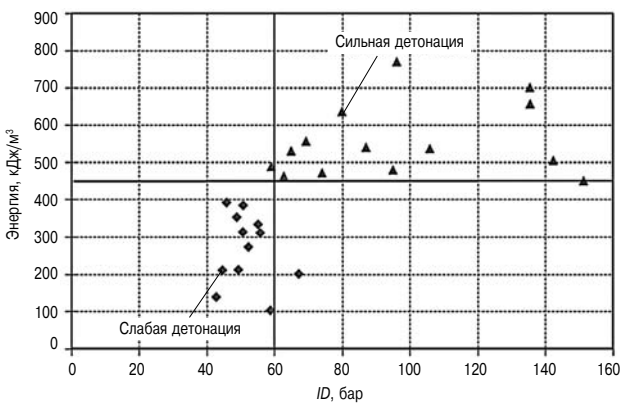


Рис. 19. Значения *ID* и соответствующие количества энергии, содержащейся в самовоспламенившейся смеси при сильной детонации

1. Выполнена проверка несколько показателей детонации, из которых показатель *ID*, пропорциональный числу и амплитуде импульсов давления или вибрации головки цилиндра, оказался наиболее эффективным с точки зрения обнаружения детонационных циклов, независимо от вида используемого сигнала и выбранных критериев.

2. Отмечена хорошая корреляция между значением *ID* и количеством самовоспламенившейся воздушно-топливной смеси, что позволило предложить классификацию детонационных циклов, разделив их на две категории по признаку интенсивности детонации, тем самым заложив

основу для разработки новых, более точных методов управления двигателем.

3. Установлено, что методы обнаружения детонации, основанные на использовании постоянного значения порогового уровня, отделяющего детонационные циклы от нормальных, дают достаточно надежные результаты только при использовании сигнала по давлению в цилиндре. Поскольку в настоящее время датчики давления в цилиндре устанавливаются только на опытных двигателях при проведении стендовых испытаний, область применения указанных методов, по-видимому, ограничена лабораторными образцами. Кроме того, влияние скорости двигателя на надежность этих методов применительно к судовым установкам с винтом фиксированного шага еще предстоит проверить.

4. Метод частотного распределения интенсивности детонации оказался достаточно удобным и эффективным при использовании сигналов как по давлению, так и по вибрации головки цилиндра, что открывает перед ним перспективы применения на серийных машинах. Более того, поскольку данный метод использует значения порогового уровня, определяемые на основании непрерывно обновляемой статистической выборки, его результаты не будут зависеть ни от скорости, ни от нагрузки двигателя. Следовательно, этот метод вполне подходит для судовых установок с винтом фиксированного шага.

УДК 621.431.74

Сорокин В.А. Разработка типоразмерных рядов судовых дизелей // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 3–8.**Ключевые слова:** среднеоборотные судовые дизели, технико-эксплуатационные характеристики, сравнительный анализ, типаж судовых дизелей.

Выполнен анализ и обоснована целесообразность разработки перспективного типажа судовых дизелей. Показано, что типоразмерные ряды составляют основу комплексного развития отрасли и играют существенную роль в развитии отечественного дизелестроения. Сформулированы основные принципы и предложена методика расчета типоразмерных рядов судовых среднеоборотных дизелей. Табл. 5. Библ. 3 назв.

УДК 621.431.73

Васильев А.В., Федоров Н.Н. Совершенствование обобщенной математической модели механизма газораспределения ДВС на основе вариативного представления клапанных пружин // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 9–14.**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, клапанные пружины, колебания витков, математическая модель, экспериментальное исследование, высокоскоростная киносъемка. Представлена методика расчета нагруженности пружин механизма газораспределения на примере двигателя ВАЗ. Разработана математическая модель динамики клапанного привода. Приведены результаты экспериментального исследования колебаний витков клапанных пружин с использованием высокоскоростной киносъемки. Ил. 7. Библ. 5 назв.

УДК 621.436

Белогуб А.В., Пылев В.А., Федоров А.Ю., Ночвин И.Л. Обеспечение заданного уровня теплонапряженности поршня при форсировании теплового дизеля // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 15–19.**Ключевые слова:** тепловозные дизели, форсировка, теплонапряженность поршня, термоизолирующие покрытия. Приведены результаты расчетных исследований по снижению теплонапряженности поршня за счет нанесения термоизолирующего корундового покрытия поверхности камеры сгорания, а также интенсификации теплоотвода от головки поршня. Показано, что предложенные конструктивные мероприятия позволяют форсировать дизель по мощности на 25 % при использовании материала базовой конструкции. Табл. 2. Ил. 5. Библ. 11 назв.

УДК 621.433

Лимонов А.К., Сеземин А.В. Совершенствование рабочего процесса газового двигателя с форкамерно-факельным зажиганием // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 20–23.**Ключевые слова:** газовый двигатель, рабочий процесс, форкамерно-факельное зажигание, оптимизация конструкции форкамеры.

Представлены результаты работ, направленные на повышение экономичности и надежности работы газового двигателя ОАО РУМО 8ГЧН22/28 с форкамерно-факельным зажиганием. Показано влияние конструктивных и регулировочных параметров форкамеры на энергетические параметры факела и характер протекания рабочего процесса. Разработаны рекомендации по организации эффективного малотоксичного процесса газового двигателя. Табл. 1. Ил. 2. Библ. 9 назв.

УДК 621.436

Шестаков Д.С., Плотников Л.В., Жилкин Б.П., Григорьев Н.И. Снижение пульсации потока во впускной системе поршневого ДВС с наддувом // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 24–27.**Ключевые слова:** поршневой ДВС, процесс впуска, турбонаддув, пульсации потока, совершенствование впускной системы. На одноцилиндровой модели двигателя с наддувом экспериментально измерены мгновенные значения скорости, статического давления и локального коэффициента теплоотдачи во впускном канале поршневого ДВС, работающего на разных скоростных режимах. Предложен способ снижения пульсаций потока во впускной системе за счет сброса избыточного

воздуха после турбокомпрессора. Показано, что стабилизация потока во впускной системе позволит улучшить условия работы цилиндров многоцилиндрового дизеля, снизить уровень шума, повысить моторесурс, а также увеличить КПД компрессора. Ил. 5. Библ. 8 назв.

УДК 622.684;621.436

Медведев В.А., Янчеленко В.А. Ультразвуковая диагностика работы топливной аппаратуры дизелей большегрузных карьерных самосвалов // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 28–30.**Ключевые слова:** большегрузные автосамосвалы, топливная аппаратура, ультразвуковой мониторинг, интеллектуальная система управления.

Рассмотрены вопросы ультразвукового мониторинга качества впрыска топлива в дизелях карьерных автосамосвалов. Данные бортовой диагностики используются для создания интеллектуальной системы управления, позволяющей выбирать оптимальные по экономичности режимы работы большегрузных автосамосвалов, выполняющих перевозки горной массы на открытых горных работах. Ил. 3. Библ. 2 назв.

УДК 621.431

Гумеров И.Ф., Хафизов Р.Х., Борисенков Е.Р., Гатауллин Н.А., Румянцев В.В. Повышение экологических показателей качества автомобильных дизелей КамАЗ — основное направление их развития // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 31–37.**Ключевые слова:** Правила ЕЭК ООН № 49-05, ESC — европейский стационарный испытательный цикл, ETC — европейский переходный испытательный цикл, снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Приведены результаты работ ОАО КамАЗ по созданию конкурентоспособной автомобильной техники, соответствующей международным требованиям по безопасности. Нормализация экологических показателей качества двигателей КамАЗ обеспечена за счет совершенствования рабочего процесса и использования системы очистки газов типа SCR. Проведены сертификационные стендовые испытания по циклам ESC, ETC Правил ЕЭК ООН № 49-05. Табл. 6. Ил. 6. Библ. 9 назв.

УДК 621.436.001

Патрахальцев Н.Н., Мельник И.С., Петруня И.А. Повышение экономичности режимов малых нагрузок судового дизеля, работающего на винт регулируемого шага // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 38–41.**Ключевые слова:** судовый дизель, режимы малых нагрузок, отключение цилиндров или циклов, изменение рабочего объема, повышение экономичности.

С использованием универсальных характеристик судового дизеля 12ДН23/30 (40ДМ) в координатах «удельная работа—частота вращения» выполнен анализ ожидаемого повышения экономичности дизеля, работающего на винт регулируемого шага. Повышение экономичности на малых нагрузках достигается за счет отключения части цилиндров. Показано, что снижение удельного эффективного расхода топлива на режимах малой нагрузки может достигать 18%. Ил. 3. Библ. 4 назв.

УДК 621.436

Ф. Милло, Г. Лаварино, А. Кафари. Детонация в газодизеле: сопоставление различных методов обнаружения и контроля (материалы конгресса SIMAS 2010) // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 42–53.**Ключевые слова:** газодизель, детонация, методы обнаружения и контроля.

В докладе описаны алгоритмы диагностики детонации по сигналу датчика давления в цилиндре и по сигналу датчиков вибрации. В обоих случаях возникновение детонации определяется как путем сравнения выбранного параметра с постоянным пороговым значением, так и с помощью метода статистического анализа. На основании теоретического анализа и экспериментов на двигателе типа Wartsila W50DF выполнено сравнение различных методов и определены оптимальные критерии обнаружения детонации и области применения каждого метода. Табл. 5. Ил. 19.

UDC 621.431.74

Sorokin V.A. Development of Marine Engine Ranges // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 3–8.

Keywords: medium speed marine diesel engines, performance, comparative analysis, dimensional ranges.

Based on preliminary analysis, the need for the development of marine engine dimensional ranges is substantiated. Dimensional ranges are demonstrated as a solid basis of industrial sector development. They play important role in progress of domestic engine building. Core principles of dimensional range calculation are formulated, and appropriate design procedure is offered. 3 ill., 5 tables, 3 ref.

UDC 621.431.73

Vasilyev A.V., Fedorov N.N. Improvement in Generalized Mathematical Model of Engine Valve Gear Based on Alternative Representation of Valve Springs // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 9–14.

Keywords: internal combustion engine, valve springs, spring coil vibration, mathematical model, experimental study, high-speed filming.

A method of valve spring strength analysis is presented, as applied to VAZ car engine. A mathematical model of valve gear dynamics is developed. The results are presented of spring coil tests for vibration with high-speed filming. 7 ill., 5 ref.

UDC 621.436

Belogub A.V., Pylev V.A., Fedorov A.Yu., Nochvin I.L. A Way to Raise Locomotive Engine Output Keeping Thermal Stresses in Engine Piston within Acceptable Limit // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 15–19.

Keywords: locomotive engines, boost, thermal stresses in piston, thermal insulating coatings.

The work in question was targeted at reduction of thermal stress in engine piston. This was achieved through application of corundum thermal insulating coating to combustion chamber surfaces, and intensification of heat removal from piston crown. The above measures enabled to enhance engine output by up to 25%, which required no changes in core construction materials. 2 ill., 5 tables, 11 ref.

UDC 621.433

Limonov A.K., Sezemin A.V. Improvement in Combustion Characteristics of Gas Engine with Pre-Chamber Flame Ignition // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 20–23.

Keywords: gas engine, combustion, pre-chamber flame ignition, optimization of pre-chamber geometry.

The article presents the results of investigation targeted at enhancement of fuel economy and reliability of RUMO gas engine type 8GCHN22/28 featuring pre-chamber flame ignition. Flame energy characteristics and combustion curves are shown as functions of pre-chamber geometry and settings. Recommendations are offered on organization of efficient low-emission combustion in gas engine.

3 ill., 2 tables, 9 ref.

UDC 621.436

Shestakov D.S., Plotnikov L.V., Zhilkin B.P., Grigoryev N.I. Mitigation of Air Flow Pulsation in Turbocharged Engine Suction System // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 24–27.

Keywords: reciprocating internal combustion engine, suction, turbocharging, flow fluctuation, suction system improvement.

Instantaneous values of air velocity, static pressure and local heat-transfer factor in suction channel a single-cylinder experimental electric speed were analyzed as functions of engine speed. A method is offered to mitigate flow pulsation in engine suction system through relief of excessive air pressure downstream of a turbocharger. Stabilization of air flow in suction

channel contributes into smoother operation of multi-cylinder engine, lower noise level, longer service life and higher compressor efficiency. 5 ill., 8 ref.

UDC 622.684;621.436

Medvedev V.A., Yanchenko V.A. Ultrasonic Monitoring of Fuel Injection System Operation in Heavy Duty Rock Haulers // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 28–30.

Keywords: heavy duty rock haulers, fuel injection system, ultrasonic monitoring, intelligent control system.

The article discusses some issues concerning fuel injection system ultrasonic monitoring in engines powering heavy duty rock haulers. Output data of the monitoring system are being used in design of intelligent control system, which enables optimization of engine operation modes in terms of fuel saving.

3 ill., 2 ref.

UDC 621.431

Gumerov I.F., Khafizov R.H., Borisenkov E.R., Gataullin N.A., Rumyantsev V.V. Improvement of Environmental Performance as a Core Line of KAMAZ Engine Development // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 31–37.

Keywords: UNECE Rules Nr. 49-05, ESC — European Stationary Test Cycle, ETC — European Transitional Test Cycle, lowering the emissions from diesel engines.

The results are presented of a research completed by JSC KamAZ targeted at the development of competitive on-road cars meeting international safety standards. The research was carried out in the framework of «Strategy of Russian Federation Automotive Industry Development for the Period up to Year 2020». Better environmental performance of KamAZ engines was achieved due to improvement in combustion arrangement and use of SCR technology. Engines in question passed certification stand tests using test cycles ESC and ETC according to UNECE Rules Nr. 49-05.

6 ill., 6 tables, 9 ref.

UDC 621.436.001

Patrakhaltsev N.N., Melnik I.S., Petroonya I.A. Improvement in Fuel Economy of Marine Propulsion Engine Driving Fixed Pitch Propeller During Low-Load Operation // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 38–41.

Keywords: marine propulsion engine, low-load operation, switching off cylinders/cycles, fuel economy, displacement control. Expected improvement in fuel economy of marine engine type 12DN23/30 (40DM) was evaluated using «specific work vs. speed» curves. Engine fuel economy under low loads may be improved through switching off part of cylinders. Fuel consumption under low loads may thus be reduced by up to 18%. 3 ill., 4 ref.

UDC 621.436

Federico Millo, Gabriele Lavarino, Alberto Cafari. Knock in Dual Fuel Engines: A Comparison Between Different Techniques for Detection and Control. CIMAC 2010 // Dvigatelistroyeniye. — 2013. — № 1. — P. 42–53.

Keywords: dual fuel engines, knock, techniques for detection and control.

The paper presents knock detection algorithms based on signals from cylinder pressure and vibration sensors. In both cases knock cycles are identified based on comparison of the individual cycle knock indicator level with a constant threshold or on a statistical approach. In this work two different categories of knock- detection methods, based both on frequency domain manipulations of the cylinder pressure signal and on cylinder head vibration analysis, were extensively compared through an experimental investigation carried out on a Wärtsilä W50DF engine. 5 tables, 19 ill.

Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предприятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии на CD (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге. Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. За достоверность набора формул несет ответственность автор. При использовании в наборе специальных шрифтов последние прилагаются в электронном виде. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутоновые изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электронные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисовочными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисовочных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации заверстаны автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Публикация в журнале учитывается ВАК в качестве печатного научного труда.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

Редакция журнала