

УДК 621.436: 621.43.019.2

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЧАСТИ ЦИЛИНДРОВ ПРИ РАБОТЕ НА РЕЖИМАХ ХОЛОСТОГО ХОДА

Гоц А.Н., Гуськов В.Ф., Темнов А.М.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, e-mail: hotz@mail.ru

Проведен анализ ранее выполненных исследований по улучшению топливной экономичности транспортных дизелей на режимах холостого хода с отключением части цилиндров различными способами: путем прекращения подачи топлива в них с одновременным закрытием впускных и выпускных клапанов или без закрытия клапанов. Показано, что, в отличие от двигателей с принудительным воспламенением, где система отключения цилиндров успешно нашла применение, для дизелей требуются дополнительные исследования, поскольку приведенные в литературе результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований противоречивы. Предлагаемые расчетные методики основаны на использовании экспериментальных характеристик, эмпирических зависимостей и других опытных данных, справедливых только для конкретных дизелей и режимов их работы. Кроме того, в основном выполняется расчетная оценка топливной экономичности для частичных режимов работы дизеля с отключением его цилиндров прекращением подачи топлива без экспериментального подтверждения. Поэтому результаты расчетных исследований, приведенных в одних работах, качественно отличаются от результатов экспериментальных исследований, приведенных в других работах. Предложена методика, основанная на опытных данных нагрузочной характеристики полноразмерного дизеля, для расчета индикаторного КПД и часового расхода топлива при его работе на режимах холостого хода с отключением части цилиндров разными способами. Представлены результаты экспериментальных и расчетных исследований изменения топливной экономичности дизеля 4СН10,5/12 на частичных режимах и холостых ходах при отключении части цилиндров путем прекращения подачи топлива с одновременным закрытием впускных и выпускных клапанов, а также без оказания воздействия на их привод. Показано, что улучшение топливной экономичности дизеля 4СН10,5/12 при отключении части цилиндров на частичных режимах и холостых ходах зависит от способа отключения цилиндров.

Ключевые слова: цилиндр, отключение, топливная экономичность, частичные режимы, холостой ход, избыток воздуха, индикаторный коэффициент полезного действия

REDUCING FUEL CONSUMPTION OF DIESELS BY DISCONNECTING PART OF THE CYLINDERS WHEN OPERATING IN MODES IDLE SPEED

Gots A.N., Guskov V.F., Temnov A.M.

Vladimir State University name Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: hotz@mail.ru

The analysis of previously performed studies on improving the fuel efficiency of transport diesels at idle with disconnecting part of the cylinders in various ways: by stopping the fuel supply to them with the simultaneous closing of the intake and exhaust valves or without closing the valves. It is shown that in engines with forced ignition successfully use the method of cylinder disconnection. For diesels, additional research is required, when the cylinders are switched off, since the results of theoretical and experimental studies presented in publications contradict each other. The calculation methods are based on the use of experimental characteristics, empirical dependencies and other experimental data that are valid only for specific diesels and for known operating modes. In addition, the calculation of fuel efficiency is mainly performed for partial modes of operation of the diesel engine with the shutdown of its cylinders by stopping the fuel supply without experimental confirmation. Therefore, the results of computational studies given in some works differ qualitatively from the results of experimental studies given in other works. A method based on experimental data on the load characteristics of a full-size diesel engine is proposed for calculating the indicator efficiency and hourly fuel consumption when it is running at idle with the cylinder part disconnected in various ways. The analysis of the results of calculated and experimental studies of changes in fuel consumption of diesel 4СН10,5/12 at idle when disconnecting part of the cylinders by stopping the fuel supply with simultaneous closing of the intake and exhaust valves, as well as without affecting their drive. It is shown that the improvement of fuel efficiency of diesel 4СН10, 5/12 when switching off part of the cylinders in partial modes and idling depends on the method of switching off the cylinders.

Keywords: cylinder, shutdown, fuel efficiency, partial modes, idling, excess air, indicator efficiency

В условиях эксплуатации транспортных двигатели, а также дизели сельскохозяйственных машин при выполнении транспортных операций длительное время работают на режимах холостого хода. Установлено [1–3], что при эксплуатации на режимах холостого хода работают (в процентах от общего рабочего времени): транспортные дизели автомобилей – 15–30%; дизели сельскохозяйственных машин – 4–29%; зерноу-

борочные комбайны – 5–16%. Тем не менее расход топлива дизеля при работе на режиме холостого хода составляет соответственно от 7 до 17% от суммарного расхода топлива. На режимах холостого хода работа расходуется на преодоление механических потерь в дизеле. Для этого требуются малые цикловые подачи топлива, впрыскивание которых в цилиндр осуществляется при пониженных давлениях, обуславливающих ухудшение

процессов смесеобразования и сгорания и, как следствие, снижение индикаторного КПД при высоких значениях коэффициента избытка воздуха [4–6]. Для повышения цикловой подачи топлива и улучшения процесса смесеобразования при работе двигателей на режимах частичных нагрузок или холостого хода рекомендуется в [7–9] организовать работу дизеля таким образом, чтобы можно было отключать подачу топлива при уменьшении нагрузки и увеличивать подачу топлива при ускорении [10–12]. В тепловозных дизелях при работе на режиме холостого хода отключают часть секций топливного насоса. Получил развитие способ отключения части цилиндров, который впервые был реализован в 1981 г. на двигателях с принудительным воспламенением автомобилей Cadillac [13]. Возможными способами отключения цилиндра является прекращение подачи в него топлива с одновременным закрытием органов газораспределения или без него.

Способ отключения части цилиндров успешно реализован на многих современных двигателях с принудительным воспламенением, поскольку он позволяет уменьшить не только потери, связанные с дросселированием свежего заряда, и тепловые потери в стенку цилиндра, но и насосные потери, а также обеспечивает условия функционирования лямбда-зонда электронного блока управления. Так, 4-цилиндровый двигатель TSI объемом 1,4 л и эффективной мощностью 103 кВт, входящий в серию двигателей EA211 фирмы Volkswagen, оснащен оригинальной системой АСТ (active cylinder technology) отключения половины цилиндров, обеспечивающей снижение расхода топлива двигателем в цикле NEFZ на 0,4 л на 100 км пробега [14].

Указанная система осуществляет не только прекращение топливopодачи во 2-й и 3-й цилиндры и закрытие в них впускных и выпускных клапанов в диапазоне частот вращения коленчатого вала 1250–4000 мин⁻¹ при ограничении крутящего момента двигателя до 85 Н·м, но и исключает искрообразование между электродами свечи зажигания в этих цилиндрах.

На транспортных дизелях и дизелях сельскохозяйственной техники метод отключения цилиндров еще не нашел практического применения из-за сложности его конструктивного оформления в системе топливopодачи и механизма газораспределения. Однако результаты выполненных исследований [2–4] указывают на целесообразность его использования.

Так как указанные способы различаются сложностью реализации, целесообразно

для обоснованного выбора одного из них выполнить сравнительную оценку топливной экономичности дизеля на режимах холостого хода полноразмерного, а также когда прекращается подача топлива в часть цилиндров с одновременным закрытием впускных и выпускных клапанов или ограничиться только прекращением подачи топлива.

В работах [10–12] предлагается расчетно-экспериментальная методика по оценке топливной экономичности при отключении части цилиндров на основе экспериментальной универсальной (комбинированной, многопараметровой) характеристики полноразмерного двигателя для конкретного режима его работы. Эта методика получила широкое применение для расчета изменения удельного эффективного расхода топлива при отключении части цилиндров прекращением подачи топлива не только в автомобильных и тракторных дизелях [8–10], но и в четырехтактных бензиновых и газовых двигателях с принудительным воспламенением [11–13] на частичных режимах их работы. Следует отметить, что результаты расчетных исследований [10] для дизеля 2С10.5/12 по этой методике противоречат результатам экспериментальных исследований [7]. Применительно к режимам холостого хода универсальную характеристику, представляемую изолиниями эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива [7, 8], использовать для оценки топливной экономичности часовой расход топлива при отключении части цилиндров дизеля не представляется возможным.

В работах [4–6] предложена методика определения расхода топлива дизеля на режимах холостого хода при отключении части цилиндров, основанная на допущении о неизменности механических потерь с отключением его цилиндров простым прекращением в них подачи топлива при неизменном значении частоты вращения коленчатого вала. В этом случае среднее индикаторное давление в работающих цилиндрах увеличивается прямо пропорционально отношению числа цилиндров дизеля к числу цилиндров с подачей топлива. Для расчетной оценки топливной экономичности рекомендуется [5, 6] использовать параболическую зависимость относительной величины индикаторного КПД в функции относительного среднего индикаторного давления. Коэффициентами в такой зависимости являются опытные значения максимального и минимального (на режиме холостого хода) индикаторного КПД. В выводах авторы [5–7] отмечают, что при отсутствии максимума относительного индикаторного

КПД в указанной зависимости невозможно улучшить топливную экономичность дизеля в результате отключения некоторых цилиндров путем прекращения в них подачи топлива. В этой связи следует отметить работы [3, 4], в которых установлено, что снижение часового расхода топлива двигателем при отключении части цилиндров путем прекращения подачи топлива с одновременным закрытием органов газораспределения на режимах холостого хода происходит не только из-за роста индикаторного КПД, но и из-за снижения механических потерь.

Предлагаемая в [3, 4] методика, как и в работах [5–7], базируется на эмпирической зависимости индикаторного КПД в функции среднего индикаторного давления, получаемой аппроксимацией опытных данных по результатам испытаний полноразмерного двигателя. Однако подобные зависимости являются формальными, справедливыми для конкретных двигателей и режимов их работы, поскольку известно, что индикаторный КПД определяется прежде всего коэффициентом избытка воздуха, а среднее индикаторное давление – отношением индикаторного КПД к коэффициенту избытка воздуха.

Цель исследования: оценить топливную экономичность дизеля на режимах холостого хода с отключением части цилиндров различными способами.

Материалы и методы исследования

На основе анализа исследований по изменению показателей топливной экономичности при отключении части цилиндров разными способами на режимах холостого хода выполнить аналитический расчет и сравнить расчетные данные с экспериментальными результатами.

Обзор проведенных исследований по топливной экономичности дизелей при отключении части цилиндров показал:

- расчетные и экспериментальные исследования выполнялись для известных дизелей при существенных ограничениях по режимам их работы; некоторые результаты расчетных исследований не подтверждены результатами моторных испытаний;

- основой для использования разработанных методик являются экспериментальные характеристики, эмпирические зависимости и другие опытные данные, справедливые для конкретных дизелей и режимов их работы.

В целях уменьшения трудоемкости и повышения достоверности результатов расчетных исследований по оценке топливной экономичности дизелей с отключением части цилиндров разными способами необ-

ходимо разработать методику, основанную на использовании минимального объема результатов испытаний полноразмерного двигателя, при следующих допущениях:

- механические потери определяются только частотой вращения коленчатого вала;
- неравномерность индикаторной удельной работы цикла по цилиндрам с топливоподачей отсутствует;

- распределение свежего заряда по цилиндрам независимо от наличия в них топливоподачи при закрытии органов газораспределения или без него является равномерным;

- степень наполнения цилиндра свежим зарядом (цикловой подачи) не зависит от нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала (коэффициент наполнения $\eta_v = \text{const}$).

Из первого допущения следует, что работа механических потерь двигателя с отключенными цилиндрами, равная сумме работ механических потерь цилиндров с топливоподачей и отключенных цилиндров, формализуется уравнением

$$P_{m,i-z} V_h (i-z) = p_{m,i} V_h (i-z) + p_{m,i} V_h z k_m, \quad (1)$$

где $p_{m,i}$ и $p_{m,i-z}$ – средние давления механических потерь полноразмерного двигателя с числом цилиндров i и двигателя с частично отключенными цилиндрами в количестве z ; V_h – рабочий объем цилиндра; k_m – коэффициент снижения механических потерь в отключенном цилиндре.

В общем случае механические потери, приходящиеся на один цилиндр, уменьшаются при его отключении из-за снижения мощности на привод топливного насоса и органов газораспределения и отсутствия насосных ходов в связи с закрытием впускных и выпускных клапанов. Принимая, что суммарная доля указанных потерь составляет δ_m [14] в мощности механических потерь, коэффициент k_m будет равен

$$k_m = 1 - \delta_m. \quad (2)$$

Тогда среднее давление механических потерь двигателя с отключенными цилиндрами в количестве z с учетом (1) и (2) равно

$$P_{m,i-z} = p_{m,i} \left(\frac{i - z \delta_m}{i - z} \right). \quad (3)$$

Из второго допущения, а также равенства работ индикаторных и механических потерь при постоянной частоте вращения коленчатого вала, справедливого для режимов холостого хода двигателя, с учетом (3) получим следующую зависимость относительного изменения средних индикаторных

давлений двигателя для полноразмерного и с отключенными z цилиндрами:

$$\frac{p_{i,i-z}}{p_{i,i}} = \frac{i - z\delta_m}{i - z}, \quad (4)$$

где $p_{i,i}$ и $p_{i,i-z}$ – средние индикаторные давления двигателей: полноразмерного и с отключенными z цилиндрами.

Для частного случая, соответствующего отключению части цилиндров только прекращением подачи топлива, из (4) при $\delta_m = 0$ следует

$$\frac{p_{i,i-z}}{p_{i,i}} = \frac{i}{i - z}. \quad (5)$$

С целью установления взаимосвязи между изменениями среднего индикаторного давления и индикаторным КПД двигателя при отключении некоторых цилиндров рассмотрим известную формулу для среднего индикаторного давления p_i

$$p_i = \frac{H_u \eta_i \eta_v \rho_0}{l_0 \alpha}, \quad (6)$$

где H_u – низшая теплота сгорания топлива; η_i – индикаторный КПД; η_v – коэффициент наполнения; ρ_0 – плотность воздуха на впуске; l_0 – теоретически необходимое количество воздуха, достаточное для полного сгорания 1 кг топлива и рассчитанное по стехиометрическим отношениям; α – коэффициент избытка воздуха.

С учетом формулы (6), третьего и четвертого допущений и условия $\rho_0 = \text{const}$ получим, что относительное изменение среднего индикаторного давления с уменьшением количества цилиндров с топливоподачей определяется относительным изменением отношения индикаторного КПД η_i к коэффициенту избытка воздуха α :

$$\frac{p_{i,i-z}}{p_{i,i}} = \frac{(\eta_{i,i-z} / \alpha_{i-z})}{(\eta_{i,i} / \alpha_i)}, \quad (7)$$

где α_i и α_{i-z} – коэффициенты избытка воздуха полноразмерного двигателя (с количеством цилиндров i) и двигателя с отключенными цилиндрами (с количеством цилиндров $i - z$) соответственно.

Согласно опытной зависимости η_i/α от коэффициента избытка воздуха, установленной по результатам испытаний дизеля 4Ч10,5/12, относительное изменение отношения η_i/α при изменении нагрузки и частоты вращения коленчатого вала, а следовательно, и относительное изменение среднего индикаторного давления при

отключении части цилиндров, аппроксимируется функцией

$$\frac{p_{i,i-z}}{p_{i,i}} = \frac{\alpha_i^{1-\frac{1}{\alpha_i}}}{\alpha_{i-z}^{\frac{1}{\alpha_{i-z}}}}. \quad (8)$$

Используя (7) и (8) при известных значениях α_i и α_{i-z} , определяется как

$$\frac{\eta_{i,i-z}}{\eta_{i,i}} = \frac{\frac{1}{\alpha_{i-z}^{\alpha_{i-z}}}}{\alpha_i^{\frac{1}{\alpha_i}}}. \quad (9)$$

Относительное изменение часового расхода топлива рассчитывается по формуле

$$\frac{G_{t,i-z}}{G_{t,i}} = \frac{\eta_{i,i}}{\eta_{i,i-z}} \left(1 - \frac{z\delta_m}{i} \right). \quad (10)$$

Для частного случая, соответствующего отключению части цилиндров только прекращением подачи топлива при $\delta_m = 0$ из (9) следует

$$\frac{G_{t,i-z}}{G_{t,i}} = \frac{\eta_{i,i}}{\eta_{i,i-z}}. \quad (11)$$

Совместное решение уравнений (4) или (5), (8), (9), (10) или (11) позволяет выполнить оценку топливной экономичности дизеля по величине относительного изменения часового расхода при отключении части цилиндров разными способами на режимах холостого хода для известных величин η_i , α_i , δ_m .

Экспериментальные исследования топливной экономичности дизеля при прекращении подачи топлива в часть цилиндров проводились в лаборатории двигателей кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки» ВлГУ.

При стендовых испытаниях дизеля 4Ч10,5/12 воздушного охлаждения были сняты нагрузочные характеристики для частот вращения коленчатого вала $n = 1100, 1300, 1500 \text{ мин}^{-1}$ в диапазоне эффективной мощности 0–12 кВт для полноразмерного дизеля, а также при отключении одного и двух цилиндров. При стендовых испытаниях также определялись механические потери методом прокручивания коленчатого вала.

Прекращение подачи топлива в отключаемые цилиндры обеспечивалось отсоединением нагнетательного трубопровода от форсунки и соединением его с мерной ёмкостью для определения расхода топлива весовым способом.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам экспериментальных исследований можно сделать вывод, что увеличение количества отключенных цилиндров путем прекращения подачи топлива в исследуемом диапазоне частот вращения и нагрузок обуславливает повышение удельного эффективного расхода топлива g_e (формулы (9) и (10)). Это происходит из-за снижения коэффициента избытка воздуха и соответствующего уменьшения индикаторного КПД. При этом расход воздуха G_v дизелем не зависит от количества отключенных цилиндров для $n = \text{const}$ (рис. 1, кривая 4).

Изменение индикаторного КПД на режимах холостого хода $\eta_{i,z}/\eta_{i,i}$ в зависимости от количества отключенных цилиндров z прекращением подачи топлива приведено на рис. 2, из которого следует, что увеличение количества отключенных цилиндров z приводит к повышению индикаторного КПД из-за улучшения распыливания топлива в связи с ростом цикловой подачи топлива.

Формирование исходных данных для сравнительной расчетной оценки показателей топливной экономичности дизеля на режимах холостого хода при отключении части цилиндров разными способами осуществлялось по нагрузочным характеристикам полноразмерного двигателя. Определение среднего давления механических потерь для расчета индикаторных показателей выполнялось по зависимости, полученной аппроксимацией опытных данных $p_{m,i} = 0,111 + 0,0158 c_p$, где c_p – средняя скорость поршня.

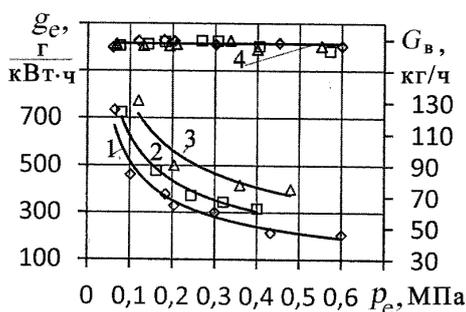


Рис. 1. Нагрузочная характеристика дизеля 4C10,5/12 при частоте вращения коленчатого вала $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$:
1 – полноразмерный дизель; 2 – отключен один цилиндр ($z = 1$); 3 – $z = 2$;
4 – расход воздуха G_v , кг/ч

На рис. 3 представлено изменение отношения η/α от α , которое с достаточной точностью в диапазонах $\alpha = 1,4 \dots 7$ и $n = 1100 \dots 1500 \text{ мин}^{-1}$ описывается вышеприведенной зависимостью (9).

Выбор коэффициента снижения механических потерь $k_m = 1 - \delta_m$ в отключаемом цилиндре производился на основании распределения механических потерь по составляющим дизеля 4C 10,5/12 [14], приведенным в табл. 1. Там же указаны экспериментальные данные по механическим потерям, определенным методом прокручивания коленчатого вала.

Расчетное изменение относительного часового расхода топлива дизелем при отключении части цилиндров разными способами приведено на рис. 4. Полученные результаты свидетельствуют о значительном снижении расхода топлива при отключении двух цилиндров дизеля 4C 10,5/12 прекращением подачи в них топлива с одновременным закрытием органов газораспределения на режимах холостого хода.

Анализ данных в таблице показывает, что в дизеле 4C 10,5/12 затраты индикаторной мощности на газообмен (насосные потери) являются достаточно высокими и их относительная величина составляет 13–15% от общих механических потерь.

По данным [3, 4] для дизеля Д-240 относительная величина насосных потерь составляет 14%. Учитывая способ прекращения подачи топлива в отключаемые цилиндры, например, с помощью специальных устройств [4, 10], и относительно незначительные потери на привод топливного насоса, можно пренебречь их влиянием на механические потери при отключении части цилиндров.

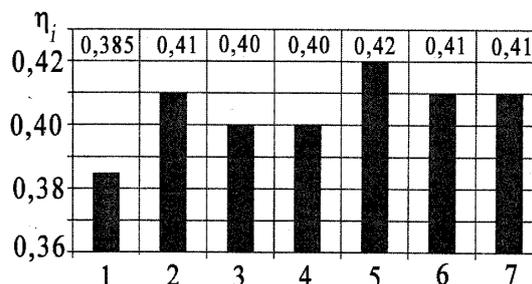


Рис. 2. Изменение индикаторного КПД дизеля при частоте вращения коленчатого вала $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ на режиме холостого хода:
1 – полноразмерный дизель, эксперимент; 2 – отключен один цилиндр ($z = 1$), эксперимент, $\delta_m = 0$; 3 – $z = 1$, расчет, $\delta_m = 0$; 4 – $z = 1$, расчет $\delta_m = 0,14$; 5 – $z = 2$, эксперимент, $\delta_m = 0$; 6 – $z = 2$, расчет $\delta_m = 0$; 7 – $z = 2$, расчет $\delta_m = 0,14$

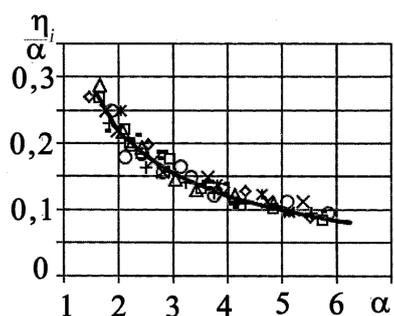


Рис. 3. Зависимость η/α от коэффициента избытка воздуха дизеля 4Ч10,5/12 в диапазоне частот вращения коленчатого вала 1100...1500 мин⁻¹: □ — $n = 1100$ мин⁻¹; Δ — $n = 1100$ мин⁻¹ ($z = 1$ — отключен 1 цилиндр); ○ — $n = 1100$ мин⁻¹ ($z = 2$); × — $n = 1300$ мин⁻¹; — — $n = 1300$ мин⁻¹ ($z = 1$); + — $n = 1300$ мин⁻¹ ($z = 2$); Ж — $n = 1500$ мин⁻¹; — — $n = 1500$ мин⁻¹ ($z = 1$); ◇ — $n = 1500$ мин⁻¹ ($z = 2$)

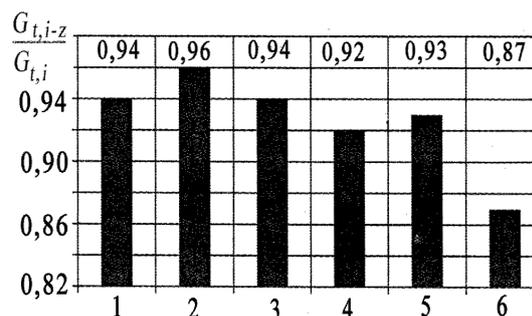


Рис. 4. Относительное изменение часового расхода топлива при частоте вращения коленчатого вала $n = 1500$ мин⁻¹ на режиме холостого хода при отключении части цилиндров: 1 — отключен один цилиндр $z = 1$, эксперимент, $\delta_m = 0$; 2 — $z = 1$, расчет, $\delta_m = 0$; 3 — $z = 1$, расчет, $\delta_m = 0,14$; 4 — $z = 1$, расчет, $\delta_m = 0$; 5 — $z = 2$, расчет, $\delta_m = 0$; 6 — $z = 2$, расчет, $\delta_m = 0,14$

Механические потери в тракторном дизеле 4Ч10,5/12 [14]

| Потери | Механические потери в кВт при частотах вращения, мин ⁻¹ | | | Механические потери в % при частотах вращения, мин ⁻¹ | | |
|-------------------------------------|--|-------|------|--|------|------|
| | 2000 | 1600 | 1100 | 2000 | 1600 | 1100 |
| На трение в: | | | | | | |
| цилиндро-поршневой группе; | 6,4 | 4,0 | 3,5 | 39 | 40 | 47 |
| кривошипно-шатунном механизме | 4,2 | 2,0 | 1,0 | 24 | 20 | 13,5 |
| Насосные | 2,4 | 1,5 | 1,0 | 14 | 15 | 13,5 |
| На привод: | | | | | | |
| механизма газораспределения; | 1,7 | 1,0 | 0,60 | 11 | 10 | 8 |
| насосов масляного и топливного; | 1,6 | 1,2 | 1,15 | 9 | 12 | 16 |
| вентилятора и генератора | 0,5 | 0,38 | 0,15 | 3 | 3 | 2 |
| Общие | 16,8 | 10,03 | 7,4 | 100 | 100 | 100 |
| Общие (по экспериментальным данным) | 16,5 | 10 | 6,9 | | | |

Последнее относится также и к снижению механических потерь на привод механизма газораспределения, обусловленного отсутствием привода органов газораспределения в отключенных цилиндрах. Поэтому в расчетах было принято $\delta_m = 0,14$.

Сравнение результатов расчетных и экспериментальных исследований (рис. 2) показывает их удовлетворительную сходимость, а также отсутствие заметного влияния способа отключения цилиндров на изменение индикаторного КПД дизеля при его работе на режимах холостого хода.

Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенная методика оценки топливной экономичности дизеля с отключением некоторых цилиндров на режимах холостого хода основана на опытных данных,

определяемых из штатной нагрузочной характеристики полноразмерного двигателя.

2. Оценку изменения индикаторных показателей транспортных дизелей на частичных режимах и холостых ходах, в том числе и с отключением части цилиндров, целесообразно осуществлять по опытной зависимости отношения η/α индикаторного КПД к коэффициенту избытка воздуха в функции коэффициента избытка воздуха α .

3. Установлено, что для дизеля 4Ч10,5/12 прекращение подачи топлива в часть цилиндров в количестве до $z = 2$ в диапазоне частот вращения коленчатого вала $n = 1100...1500$ мин⁻¹ и нагрузок $N_e = 2...12$ кВт ухудшает, а на холостых ходах незначительно улучшает топливную экономичность.

4. Определено, что на режимах холостого хода способ отключения части цилиндров дизеля 4Ч 10,5/12 в диапа-

зоне частот вращения коленчатого вала $n = 1100 \dots 1500$ мин⁻¹ не оказывает заметного влияния на изменение индикаторного КПД. Наибольшее возможное снижение часового расхода топлива на указанных режимах обеспечивается при отключении части цилиндров прекращением подачи топлива с одновременным закрытием впускных и выпускных клапанов за счет уменьшения мощности механических потерь и составляет при отключении двух цилиндров около 13 %.

Список литературы

1. Уханов Д.А. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторной техники совершенствованием работы двигателей на холостом ходу: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Саратов, 2009. 32 с.
2. Отрадных А.В. Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей сельскохозяйственного назначения в режиме холостого хода: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2007. 16 с.
3. Суркин В.И., Федосеев С.Ю. Определение параметров работы двигателя ТТА при отключении части его цилиндров // Вестник ЧГАА. 2012. Т. 61. С. 91–95.
4. Федосеев С.Ю. Повышение топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата отключением части цилиндров двигателя: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2015. 23 с.
5. Драгунов Г.Д., Медведев А.Н. Метод оценки эффективности отключения цилиндров автомобильного дизеля // Двигателестроение. 2007. № 4. С. 20–22.
6. Медведев А.Н. Повышение топливной экономичности автомобильных дизелей отключением части цилиндров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2008. 16 с.
7. Хусаинов В.Н. Обоснование методики и разработка технических средств для исследования эффективности конвертации дизелей на регулирование режимов работы пропуском рабочих ходов поршней: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург-Пушкин, 2010. 20 с.
8. Страшнов С.В. Регулирование дизеля 6С11/12,5 изменением числа работающих цилиндров или циклов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2017. 18 с.
9. Аношина Т.С. Повышение экономических и экологических качеств транспортного дизеля при работе на режимах малых нагрузок и холостых ходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2014. 18 с.
10. Камышников Р.О. Повышение эксплуатационных качеств автотракторных дизелей регулированием их активных рабочих объемов на режимах малых нагрузок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2017. 16 с.
11. Савастенко Э.А. Регулирование двигателя с искровым зажиганием изменением его рабочего объема: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016. 15 с.
12. Лотфуллин Ш.Р. Повышение энергоэффективности и экологичности автомобильного газового двигателя изменением его активного объема: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2019. 16 с.
13. Volkswagen Technical Site. [Электронный ресурс]. URL: <http://volkswagen> (дата обращения: 20.05.2020).
14. Путинцев С.В. Механические потери в поршневых двигателях. Специальные главы конструирования, расчета и испытаний. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 288 с.