

УДК 621.43

<https://doi.org/10.26160/2541-9579-2019-5-3-6>

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ И ХАРАКТЕРА МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДИЗЕЛЯ 4ЧН 10,5/12 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА, КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ

Путинцев С.В., Студзицкий П.В.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва

Ключевые слова: дизель, механические потери, среднее давление трения, независимые факторы, моторное масло, вязкость, температура моторного масла, маловязкие моторные масла.

Аннотация. Обосновано применение ранее выведенной универсальной эмпирической зависимости для расчета среднего давления трения, позволяющей учитывать влияние на этот параметр расширенного числа независимых переменных. Представлены и проанализированы полученные графические зависимости величины среднего давления трения дизеля 4ЧН 10,5/12 (Д-145ТВ, ВМТЗ) от основных показателей смазочного материала, конструкции и режима работы. Особое внимание при исследовании уделено характеру изменения механических потерь в условиях повышенных температур смазочного материала и применения маловязких моторных масел.

DESIGN ESTIMATION OF THE LEVEL AND CHARACTER OF DIESEL 4CHN 10.5/12 MECHANICAL LOSSES WHEN CHANGING THE INDICATORS OF LUBRICATING MATERIAL, DESIGN AND OPERATING MODE

Putintsev S.V., Studzitsky P.V.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords: diesel engine, mechanical losses, average friction pressure, independent factors, engine oil, viscosity, engine oil temperature, low viscosity engine oils.

Abstract. The article considers the substantiated applications of the previously derived universal empirical dependence for calculating the average friction pressure, which allows to take into account the effect of an expanded number of independent variables on this parameter. The obtained relationships between the average friction pressure of a diesel engine 4CHN 10.5/12 (D-145TV, VMTZ) and the main indicators of the lubricant, design and operation mode are presented and analyzed. Special attention is paid to the nature of changes in mechanical losses under conditions of elevated lubricant temperatures and the use of low-viscosity motor oils.

Одним из перспективных направлений решения актуальной в настоящее время задачи повышения энергетической эффективности быстроходных дизелей является снижение энергетических затрат при работе двигателя, весомую долю среди которых составляют потери на трение в смазываемых узлах и агрегатах ДВС.

Энергетическая эффективность двигателя оценивается эффективными показателями рабочего процесса, при расчете которых необходимо располагать сведениями о величине механических потерь [1]:

$$p_e = p_i + p_{нх} - p_m;$$

$$\eta_e = \eta_i \eta_m;$$

$$g_e = \frac{G_T}{(N_i - N_m)};$$

где p_i – среднее индикаторное давление; $p_{нх}$ – среднее давление насосных ходов; p_m – среднее давление механических потерь; η_e – эффективный КПД; η_i – индикаторный КПД; η_m – механический КПД; g_e – удельный эффективный расход топлива; G_T – часовой расход топлива; N_i – индикаторная мощность; N_m – мощность механических потерь.

В работах [2, 3] представлены результаты, позволяющие выполнять уточненную оценку величины механических потерь в современных быстроходных четырехтактных поршневых двигателях внутреннего сгорания широкого мощностного ряда. В частности, в исследовании [3] была получена эмпирическая зависимость для расчета среднего условного давления трения в быстроходных четырехтактных дизелях, включающая в качестве независимых переменных расширенное число факторов, содержащее не только традиционно используемые показатели скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя, но и температуру его моторного масла, исходную вязкость последнего, а также суммарную силу упругости поршневых колец:

$$p_m = 3,032 + 0,0591c_{II} + 0,0063p_i + 0,006k + 0,0189\nu_{100} - 0,04354t_M - 0,0002151t_M^2, \quad (1)$$

где p_m – среднее давление трения, бар; c_{II} – средняя скорость поршня, м/с; p_i – среднее индикаторное давление, бар; k – суммарная сила упругости комплекта поршневых колец, Н; ν_{100} – кинематическая вязкость моторного масла при температуре 100 °С, сСт; t_M – температура моторного масла, °С.

Формула (1) позволяет производить расчет давления трения с погрешностью не более 9,7 %, что является достаточно высоким уровнем точности для моделирования параметров трения. Давление механических потерь на трение было выбрано в качестве независимой переменной, так как в отличие от мощности механических потерь, данный показатель (давление трения) лишен существенной нелинейности по отношению к средней скорости поршня, а также избавлен от влияния на механические потери литрового объема двигателя.

В работе [3] на основе анализа формулы (1) был оценен "весовой" вклад каждого из пяти независимых факторов в численный уровень механических потерь, а именно (в порядке убывания вклада):

$$t_M; \nu_{100}; c_{II}; p_i; k. \quad (2)$$

Последовательность (2) показывает определяющую роль температуры и исходной вязкости моторного масла в формировании механических потерь на трение в современных поршневых двигателях. Несмотря на имеющуюся информацию о перспективности технически оправданного высокотемпературного охлаждения [4], сопровождающегося неизбежным ростом температуры моторного масла, и применения маловязких моторных масел для повышения энергосбережения в ДВС [5], многие стороны этого подхода к решению проблемы повышения энергетической эффективности двигателей остаются пока малоизученными.

Цель данной работы состояла в оценке влияния на уровень и характер изменения механических потерь быстроходного четырехтактного дизеля каждого из пяти независимых факторов, входящих в число аргументов формулы (1), в расширенной области их изменения, охватывающей, в частности, значения высоких температур и низких исходных вязкостей смазочного материала, свойственных маловязким моторным маслам.

В качестве объекта при выполнении расчетов механических потерь был выбран универсальный быстроходный форсированный наддувом четырехтактный дизель с жидкостным охлаждением 4ЧН 10,5/12 (Д-145ТВ ВМТЗ), работающий на маловязких моторных маслах классов SAE 0W-8...0W-20, в расширенном (в сторону увеличения положительных значений) диапазоне температур масла от 20°C до 180°C.

Достижение поставленной цели реализовывали путем проведения численных однофакторных экспериментов с использованием формулы (1). При выполнении расчетов для каждого из пяти переменных факторов, значения остальных четырех "замораживали" (оставляли на постоянном уровне), соответствующем среднему значению его области изменения - таблица 1. Жирным шрифтом в таблице 1 выделены значения, соответствующие середине диапазона областей изменения независимых факторов.

Результатом выполненных расчетов стали графические зависимости изменения среднего давления трения объекта исследования от основных аргументов, входящих в формулу (1): рисунок 1 - рисунок 5.

Анализ представленных результатов на вышеприведенных рисунках дает основание считать, что из всех пяти исследованных факторов наиболее сильное по величине и при этом нелинейное по характеру влияние на среднее давление трения оказывает температура моторного масла, меньшее по величине и практически линейное влияние на механические потери обнаруживаются у исходной вязкости моторного масла и средней скорости поршня. Влияние на среднее давление трения суммарной силы упругости поршневых колец и, в особенности, среднего индикаторного давления следует отнести к незначительному: как можно видеть из рисунка 4 и рисунка 5, при относительном увеличении значений указанных аргументов на 15 % относительное изменение функции в первом случае составило всего 1,8 % а во втором случае 0,7 %.

Табл. 1. Области изменения независимых переменных (факторов) для расчетов по формуле (1) применительно к условиям работы дизеля 4ЧН 10,5/12

№ значения	Независимый фактор				
	$t_M, ^\circ\text{C}$	$\nu_{100}, \text{cСт}$	$c_{II}, \text{м/с}$	$p_i, \text{бар}$	$k, \text{Н}$
1	20	3,0	4	10,6	29
2	40	3,5	5	10,8	30
3	60	4,0	6	11,0	31
4	80	4,5	7	11,2	32
5	100	5,0	8	11,4	33
6	120	5,5	9	11,6	34
7	140	6,0	10	11,8	35
8	160	6,5	11	12,0	36
9	180	7,0	12	12,2	37

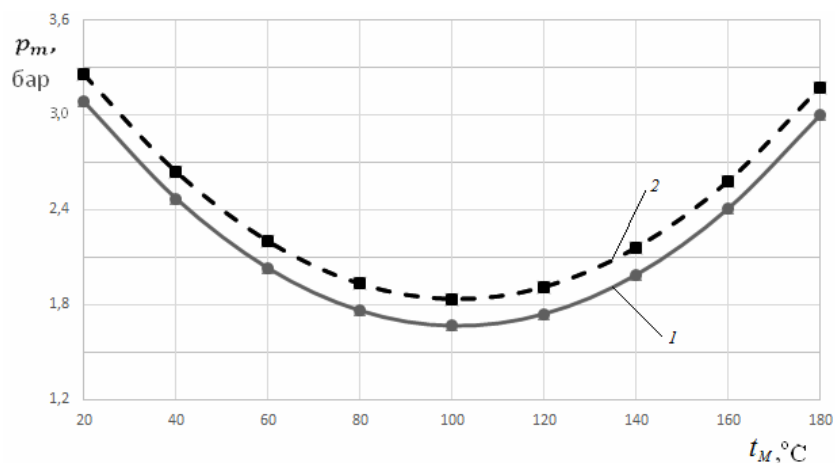


Рис. 1. Зависимость среднего давления трения от температуры моторного масла для маловязкого (1) $v_{100} = 5$ сСт и обычного (2) $v_{100} = 14$ сСт моторных масел

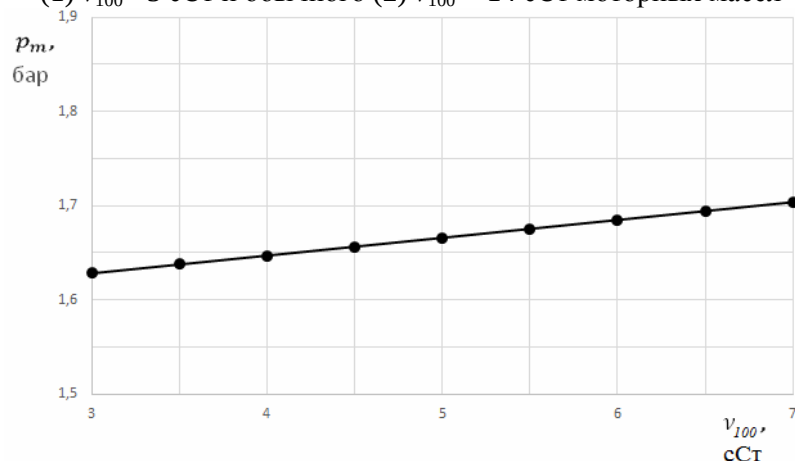


Рис. 2. Зависимость среднего давления трения от исходной вязкости моторного масла

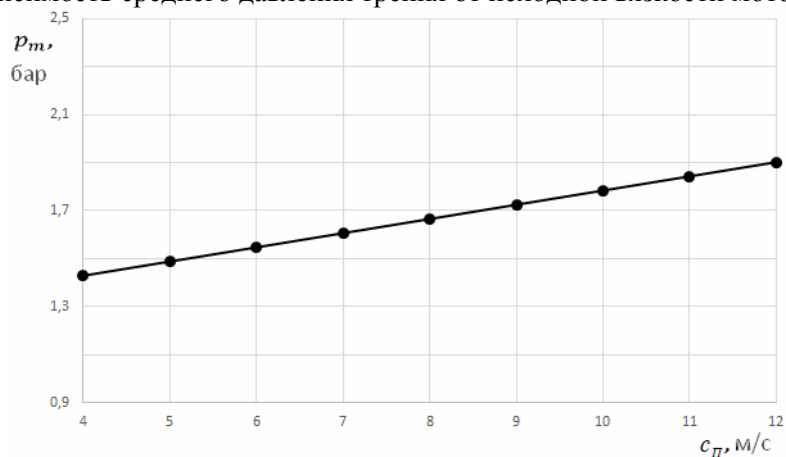


Рис. 3. Зависимость среднего давления трения от средней скорости поршня

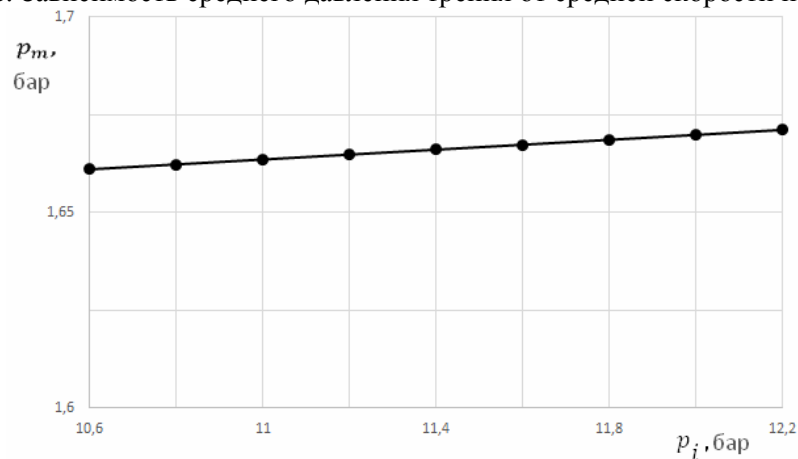


Рис. 4. Зависимость среднего давления трения от среднего индикаторного давления

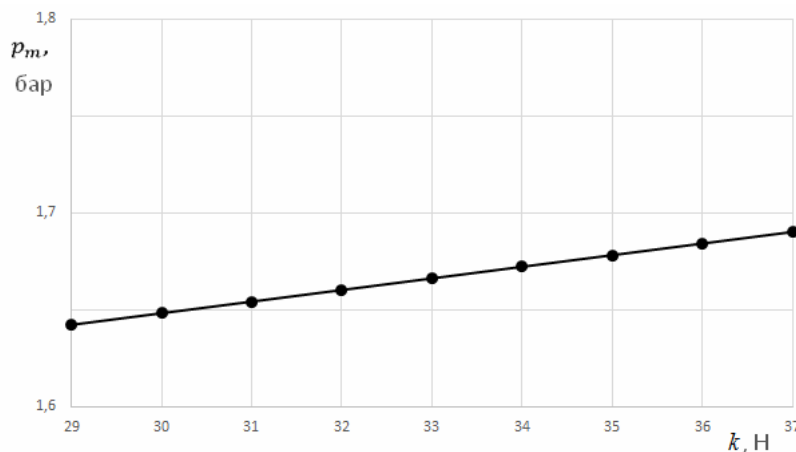


Рис. 5. Зависимость среднего давления трения от суммарной силы упругости поршневых колец

Результаты, представленные на рисунке 1, показывают, что, независимо от значения исходной вязкости моторного масла ν_{100} , функция среднего давления трения p_m на отрезке изменения аргумента (температуры масла t_m) от 20°C до 180°C проходит через минимум, лежащий в окрестности значений аргумента примерно от 90°C до 110°C.

Сопоставление кривых на рисунке 1 свидетельствует о том, что в совокупности с повышенным температурным режимом работы ДВС, приводящим к росту температуры смазочного материала t_m , применение маловязких моторных масел способствует эффективному снижению механических потерь. Так, если принять, что работа смазываемых деталей ДВС на обычном моторном масле осуществляется при температуре масла 80°C, то, согласно результатам, на рисунке 1, переход на использование маловязкого моторного масла, работающего при повышенной до 100 °C температуре моторного масла, может при прочих равных условиях обеспечить снижение среднего давления трения p_m с 1,93бар до 1,69бар (на 12 %).

Такой уровень относительного снижения механических потерь на основе расчета по зависимости топливной экономичности от механических потерь, представленной в работе [6], дает прогнозируемое снижение удельного эффективного расхода топлива на 5,4%, что является значимой величиной при стандартном – согласно ГОСТ 14846-81 – экспериментальном определении этого параметра.

По результатам расчетного моделирования механических потерь с помощью универсальной эмпирической зависимости было доказано, что в совокупности с повышением температурного режима работы ДВС, применение маловязких моторных масел может обеспечить существенное (на 12%) снижение потерь на трение и соответствующее этому снижению значимое (на 5,4%) повышение топливной экономичности быстроходного дизеля типа 4ЧН 10,5/12.

Список литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов по спец. Двигатели внутреннего сгорания / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
2. Путинцев С.В., Кулешов А.С., Агеев А.Г. Оценка механических потерь современных поршневых двигателей // Двигателестроение. – 2013. – № 2 (252). – С. 15-20.
3. Путинцев С.В., Кулешов А.С., Агеев А.Г. Эмпирическая зависимость для исследования механических потерь в четырехтактных дизелях // Двигателестроение. – 2014. – № 3. – С. 3-7.
4. Путилин А.В., Драгомиров С.Г., Поверинов И.А. Направление развития систем жидкостного охлаждения современных автомобильных двигателей // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2003. – С. 278-282.
5. Anna Murašina. Uutele mootoritele uued õlid // Tehnikamaailm. – 2017. – № 3. – 58-59 p.
6. Путинцев С.В. Введение в трибологию поршневых двигателей: учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 183 с.

Сведения об авторах:

Путинцев Сергей Викторович – д.т.н., профессор кафедры "Поршневые двигатели" МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Студзицкий Павел Владимирович – магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.