

3. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 201063235. Программа для ЭВМ Horsepower Lab 1D для численного моделирования газообмена и рабочего процесса ДВС / А.А. Черноусов. М. : Роспатент, 2010. Зарег. 17.05.2010 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПУСКОВ-РАЗГОНОВ ДИЗЕЛЯ 4Ч 11/12,5 ДОБАВКОЙ ЛЕГКО ВОСПЛАМЕНЯЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ К ТОПЛИВУ

Патрахальцев Н.Н., Соловьёв Д.Е., Казаков С.А. (Российский университет дружбы народов)

Важнейшими режимами транспортных ДВС являются разгоны, в том числе разгон с места, сразу после пуска. Экстремальным режимом является пуск – разгон холодного дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха. Для оценки качества протекания неустановившихся режимов (НУР) разгонов предложены различные показатели [1]. Однако применимость их для случаев разгонов холодного дизеля в области низких частот вращения, начиная от пусковой, не подтверждена, а количественные показатели качества отсутствуют. Для повышения эффективности работы дизеля при НУР, известно применение метода регулирования рабочего процесса изменением физико – химических свойств топлива [2] (метода «физико – химического» регулирования – ФХР). Однако, информация, подтверждающая эффективность такого метода для низких, от пусковых, частот вращения при экстремально низких тепловых состояниях дизеля, практически отсутствует.

Целью работы являлась разработка и исследование метода повышения эффективности режимов пусков - разгонов, в том числе холодного дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха, в широком диапазоне частот вращения, начиная от пусковой, методом ФХР [3], добавкой к основному топливу легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ).

Целесообразность применения ЛВЖ в качестве добавки к дизельному топливу определяется как повышенной воспламеняемостью добавки, так и возможностью снижения дымности ОГ. Форсирование дизеля по мощности может быть достигнуто форсировкой по составу смеси до уровня, при котором достигается предел дымления.

Показатели качества протекания неустановившихся режимов работы (НУР) дизеля основаны на сравнении показателей при НУР и при установившихся режимах (УР), которые протекают при одинаковых частотах вращения и положениях регулирующего органа. К ним относятся следующие. Коэффициент загрузки двигателя по мощности (или моменту):

$$K_{зNe} = \bar{N}_{ец} / N_{ен}, \quad (1)$$

где $\bar{N}_{ец}$ — средняя за технологический цикл потребителя энергии мощность потребителя; $N_{ен}$ — номинальная мощность двигателя. Длительность переходного процесса разгона, иначе, время приёмности ($t_{np.}$).

Относительный выигрыш во времени выполнения операции:

$$\Delta t = 1 - (t_{np.} / t_{np.г.}), \quad (2)$$

где $t_{np.г.}$ - время приёмности генеральное, реальное, принятое за базу для последующих сравнений, определения эффективности методов совершенствования НУР и т. д.

Относительный показатель качества НУР по моменту (мощности и т.д.):

$$K_{M_e} = M_e^{нур} / M_e^{ур}. \quad (3)$$

Относительные степени отклонения показателей при НУР от УР.

$$\Delta K_{M_e} = \frac{M_e^{нур} - M_e^{ур}}{M_e^{ур}}. \quad (4)$$

Средние за переходный процесс (*n. n.*) относительные показатели.

$$P_{M_e} = \frac{\overline{M_{en}^{нур}}}{\overline{M_{en}^{ур}}} = \frac{\int_0^{t_n} M_{en}^{нур}(t) dt}{\int_0^{t_n} M_{en}^{ур}(t) dt}. \quad (5)$$

Относительное отклонение средних за *n.n.* показателей от соответствующих их значений по статической характеристике.

$$\Delta P_{M_e} = \frac{\overline{M_{en}^{нур}}}{\overline{M_{en}^{ур}}} - 1. \quad (6)$$

Для моделирования НУР при допущении квазистатического его протекания целесообразно воспользоваться методом представления внешних скоростных характеристик (ВСХ) двигателя в виде аппроксимирующих зависимостей, которые используются в уравнении динамического равновесия - движения системы двигатель – потребитель.

$$M_e = A + B \cdot n + C \cdot n^2 + D \cdot n^3 + E \cdot n^4. \quad (7)$$

Тогда, задавая шаг расчёта Dt , изменение частоты вращения вала при разгоне определим по соотношению:

$$n_i = n_{i-1} + \frac{\Delta t}{I} \cdot \frac{30}{\pi} \{ [A + B \cdot n_{i-1} + C \cdot (n_{i-1})^2 + D \cdot (n_{i-1})^3 + E \cdot (n_{i-1})^4] \}. \quad (8)$$

Для учёта *n.n.* в системах требуется экспериментальное определение динамических внешних скоростных характеристик (ДВСХ), т.е. на режимах разгонов. Имея ДВСХ дизеля, аппроксимируя их полиномиальными зависимостями, можно моделировать другие, близкие к используемым в расчёте, разгоны с последующей корректировкой результатов. Методика определения ДВСХ содержит статистическую обработку результатов экспериментальных многократных разгонов, определение достоверной характеристики разгона с заданным доверительным интервалом, обработку достоверной характеристики и проверку сходимости результатов счёта с экспериментом.

Возможность реализации метода ФХР при НУР появилась, по существу, с появлением систем топливоподачи с регулированием начального давления топлива (РНД) [6]. С помощью клапанов РНД различные добавки могут вводиться в линии высокого давления (ЛВД) топливных систем в максимальной близости к форсунке, где они смешиваются с основным топливом, а затем впрыскиваются штатной форсункой обычным порядком в виде смесей, растворов, эмульсий в цилиндры двигателя.

Исследования разгонов дизеля после пусков проведены в морозильной камере НТЦ Минского моторного завода в условиях пониженных (-20 °С) температур ок-

ружающей среды и без предварительной подготовки дизеля (т. е. холодного, причём, первые вспышки обеспечивались подачей ограниченного количества ЛВЖ на всасывании).

В работе исследовались разгоны холодного или горячего дизеля или дизеля с потребителем, но без нагрузки (т. е. при разных моментах инерции). Разгоны проводились в диапазонах частот от пусковой 100 мин^{-1} или от минимально устойчивой 700 мин^{-1} до 2200 мин^{-1} .

Показано, что приёмистость установки естественно снижается из-за повышенного момента инерции, а холодное состояние приводит к ещё более существенному росту времени приёмистости. Видно существенное снижение показателей качества НУР двигателя в холодном состоянии (рис. 1).

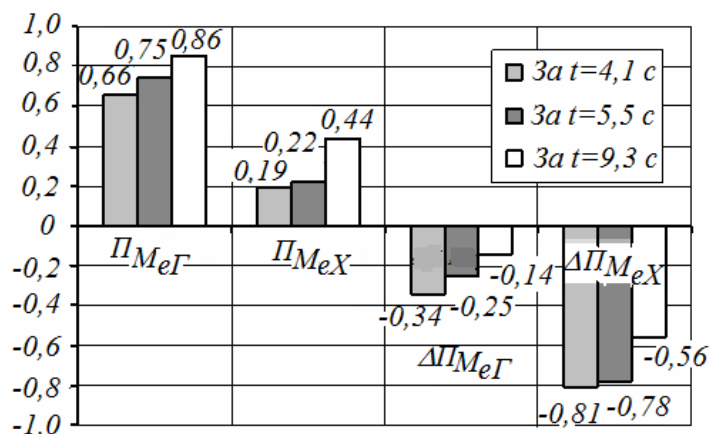


Рис. 1. Изменения средних (за время t разгона от 100 мин^{-1} плюс некоторое время работы при конечном УР) относительных показателей качества НУР (P_{Me}), а также изменения относительных отклонений (ΔP_{Me}) за *n.n.* разгонов горячего (Г) или холодного (Х) двигателей.

Изменение отклонений средних моментов достигает у холодного двигателя 80% в коротком разгоне и 60% - в более длительном, а следовательно более прогревом к концу разгона. Коэффициенты загрузки холодного двигателя в коротких разгонах снижаются до 20%, в то время как для горячего – лишь до 70%.

Таблица 1. Снижение (%%) коэффициента загрузки $K_{s,Me}$ горячего (Г) и холодного (Х) двигателя для разных t_{np} и разгонах от 100 мин^{-1}

	$t_{np} = 4,1 \text{ с.}$	$t_{np} = 5,5 \text{ с.}$	$t_{np} = 9,3 \text{ с.}$
Дв. Г	30	24	14
Дв. Х	81	77	57

При этом чем длительнее рассматриваемый режим, тем меньше снижение коэффициента загрузки. Так, увеличение времени приёмистости почти в два раза приводит к уменьшению потери коэффициента загрузки холодного двигателя с 80 до почти 60%. У горячего же двигателя эта потеря снижается в два раза. Показатели качества НУР по моменту близки к коэффициентам загрузки двигателя по моменту. Показатели качества по мощности могут существенно отличаться от коэффициентов загрузки по мощности из-за влияния текущей частоты вращения.

Таблица 2. Показатели качества и изменения относительных отклонений средних моментов при разгонах установки

Двигатель горячий (Г), холодный (Х), время работы $t = 12,5 \text{ с}$				
	$P_{Mycm} (\Gamma)$	$P_{Mycm} (X)$	$\Delta P_{Mycm} (\Gamma)$	$\Delta P_{Mycm} (X)$
от 100 мин^{-1}	0,86	0,47	-0,14	-0,53

Для оценки эффективности метода ФХР приведены результаты определения динамических внешних скоростных характеристик по достоверным экспериментальным разгонам (рис. 2).

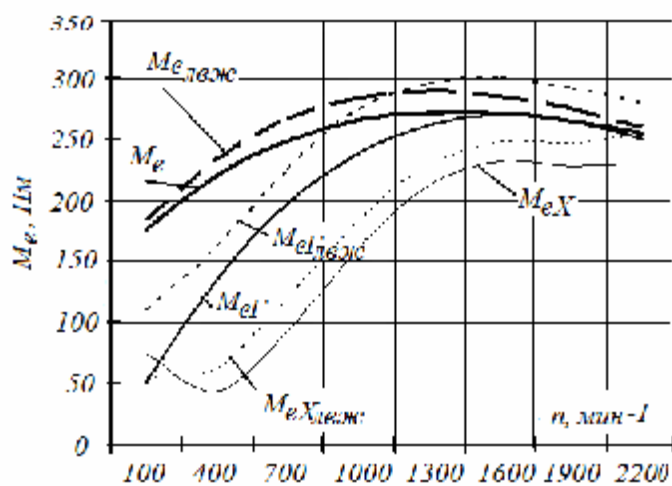


Рис. 2. Динамические ВСХ дизеля Д-240 (ДВСХ) в горячем (Γ), а также и холодном (X) состояниях и последующих разгонах и вводе ЛВЖ через РНД и сравнение их с ВСХ штатного дизеля (M_e) и ВСХ при подаче ЛВЖ через РНД ($M_{e,лвж}$): $M_{e,(\Gamma)}$ – крутящий момент горячего дизеля после обычного пуска и разгона, $M_{e,(X)}$ – крутящий момент дизеля в холодном пуске (после кратковременного ввода ЛВЖ на всасывании); $M_{e,(\Gamma)лвж}$ и $M_{e,(X)лвж}$ – соответственно крутящие моменты при разгонах горячего и холодного дизеля с подачей ЛВЖ через клапан РНД;

(во всех случаях разгонов и ВСХ рейка ТНВД имеет положение 100%).

Коэффициенты загрузки по мощности ($K_{з,Ne}$) при разгонах в диапазонах 700 – 2200 мин⁻¹ и 100 – 2200 мин⁻¹ при квазистатическом представлении НУР составляют соответственно 0,8 и 0,74, для горячего двигателя 0,76 и 0,6, а для холодного – 0,49 и 0,26. Добавка ЛВЖ повышает показатели качества НУР и коэффициенты загрузки. При этом коэффициент загрузки по мощности также значительно отличается от показателя качества такого НУР. Применение ФХР повышает показатели качества НУР горячего двигателя на 20- 40 % , а холодного – на 17 – 20 % при разгонах от 100 мин⁻¹. При более коротких разгонах от 700 мин⁻¹, эти цифры составляют 12 – 17 % и 12 – 16 % соответственно для горячего и холодного состояний.

В конечном итоге показано, что в среднем, условно, улучшение динамических качеств дизеля применением ФХР достигает для дизеля горячего 24 – 12,3 % и 17,8 – 13 % для холодного при разгонах от пусковой или минимальной частоты соответственно. Для установки эти цифры составляют соответственно 26,9 – 11,9 % и 15,6 – 15,1 %.

Таким образом, в исследовании показаны возможности повышения эффективности неустановившихся режимов (НУР) разгонов в широких диапазонах частот вращения и тепловых состояний дизеля 4Ч11/12,5 путём изменения физико - химических свойств топлива (метод «физико – химического регулирования» - ФХР) добавкой легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) к основному топливу. Метод реализуется вводом ЛВЖ вблизи форсунок через клапаны регулирования начального давления (РНД) во время выполнения режимов пусков - разгонов. При применении метода во время разгонов двигателя или установки с ним от минимальной частоты вращения до номинальной, выигрыши во времени приёмистости, в величинах средних за режим крутящих моментов и развиваемой мощности, коэффициентах загрузки дизеля по моменту и мощности составляют порядка 12 % для горячего и 13 – 15 % для холодного дизеля. Аналогичные выигрыши при реализации разгонов двигателя или установки от пусковой частоты вращения составляют 24 – 27 % для прогретого двигателя и 16 – 18 % для холодного.

Литература:

1. Костин А. К., Пугачёв Б. П., Кочинев Ю. Ю. Работа дизелей в условиях эксплуатации: Справочник. Под. Ред. А. К. Костина. – Л.: Машиностроением. Ленингр. отд., 1989. 284 с. С. 17–36.
2. Патрахальцев Н.Н., Соболев И.А., Казаков С.А. Совершенствование пусковых и динамических характеристик дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха // Двигателестроение. 2009, № 3 (237). С. 32 – 36.
3. Патрахальцев Н.Н., Соболев И.А., Силин Е.Л. Повышение динамических качеств дизеля изменением физико – химических свойств топлива // Автомобильная промышленность, 2008, № 7. С. 10 – 13.
4. Патрахальцев Н.Н., Санчес Л.В., Шкаликова В.П. О возможности расширения ресурса дизельных топлив и регулирования рабочего процесса дизеля изменением свойств топлива // ДВС. Республик. межвед. науч. - техн. сб. Харьков. Вища школа. 1988. Вып. 48. С. 73 – 79.
5. Патрахальцев Н. Н. Дизельные системы топливоподачи с регулированием начального давления // Двигателестроение. 1980, № 10. С. 33–37.

ПОКАЗАТЕЛЬ ПОЛИТРОПЫ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ В СУДОВОМ МАЛООБОРОТНОМ ДИЗЕЛЕ СО СРЕДНИМ ИНДИКАТОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ 20 БАР

Обозов А.А. (ЗАО УК «Брянский машиностроительный завод»), **Рогалев В.В.**, **Клочков А.В.** (Брянский государственный технический университет)

В настоящее время судовые малооборотные дизели типа ДКРН, выпускаемые на Брянском машиностроительном заводе по лицензии фирмы MAN- Diesel A/S, достигли высокого уровня среднего индикаторного давления – величины 20 бар. Двигатель 6S50MC-C (6ДКРН 50/200-14) на режиме спецификационной максимальной длительной мощности (СМДМ) имеет следующие параметры: эффективная мощность 9480 кВт при частоте вращения коленчатого вала 127 мин⁻¹; максимальное давление цикла 151 бар; давление надувочного воздуха 3,65 бар; среднее индикаторное давление 20,3 бар. Двигатель является крейцкопфным, сверхдлинноходовым (имеет отношение диаметра цилиндра к ходу поршня S/D = 4), характеризуется высоким значением максимального давления цикла и предельно высоким для одноступенчатых схем наддува давлением надувочного воздуха. Выполнение расчета рабочего процесса этого дизеля с использованием методики Гриневецкого–Мазинга при выборе рекомендуемых значений показателя политропы $n_{pol} = 1,32 \dots 1,39$ приводит к значительной погрешности в определении важнейших характеристик дизеля, сильно отличающихся от экспериментальных значений. На необходимость усовершенствования методики традиционного расчета рабочего цикла дизеля путем правильного описания процесса сжатия указывает ряд публикаций [2].

Исходной информацией при изучении термодинамических процессов в машинах является индикаторная диаграмма в координатах $p - v$ (давление – объём цилиндра). Известно, что небольшие отрезки любых кривых линий могут быть аналитически выражены уравнениями степенного вида [4]. В частности, всегда можно выбрать такое число n , при котором уравнение $pv^{n_{pol}} = const$ достаточно близко воспроизводит разнообразные встречающиеся в практике линии индикаторных диаграмм. Если вся заданная кривая не может быть выражена единым уравнением,