

УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Мартынов С.В., Ткач Ю.И.
ОНМА

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА СУДОВОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

Современные судовые дизели требуют значительного улучшения качества смесеобразования, сгорания и снижения вредного воздействия уходящих газов на окружающую среду. Следовательно, необходимо совершенствование топливной аппаратуры, которое заключается в повышении и возможности регулирования давления впрыскивания в зависимости от режима дизеля, управления характеристикой впрыскивания, организации многофазного впрыскивания, внедрении электронного управления процессом топливоподачи. Реализовать эти требования позволяет применение аккумуляторных топливных систем с электронным управлением [1].

Перспективным является подход, обеспечивающий использование аккумуляторной системы в виде дополнительного модуля в сочетании с базовой системой топливоподачи - БСТ. Созданная на базе топливной аппаратуры судового среднеоборотного дизеля такая гибридная система впрыскивания топлива (ГСВТ) первоначально испытана в «статическом» режиме (без запуска БСТ) [2]. Целью дальнейших опытов, представленных в данной работе, было исследование гидродинамических процессов в ГСВТ в реальных условиях использования объединенной системы: БСТ и аккумуляторного модуля (АМ).

Планом эксперимента на данном (начальном) этапе предусматривалось получение скоростной характеристики ГСВТ. В качестве номинального назначен режим с частотой вращения распредвала $n_p = 250$ об/мин при выходе рейки ТНВД $m = 20$ мм. В реальных условиях опытов диапазон $n_p = 53 - 252$ об/мин.

Маркировка снятых осциллограмм принята: 1, 2, 3, 4 – ГСВТ со скоростями съёмки $V_c = 0,5, 0,25, 0,5$ и $1,0$ м/с соответственно. Каждому опыту соответствуют свои постоянные обороты распредвала безмоторного стенда (БМС): 1 – 103 об/мин и 2, 3, 4 – 53, 179, 252 об/мин соответственно.

Система оборудована опико-электронным датчиком вращения типа ВЕ-178, выдающим 2500 импульсов на 1 оборот вала, и опорной меткой начала отсчета (МНО) для каждого оборота вала.

Соединение БСТ и АМ производится путем открытия золотникового клапана при помощи компьютерного управления. АМ включает в себя ТНВД, аккумулятор большого объема, аккумулятор малого объема и соединительные трубки ВД (рис. 1). На входе в штатную систему ТП установлен золотниковый и невозвратный клапан. Угол начала подачи управляющего сигнала или угол включения $\varphi'_{\text{вкл}} = 60^\circ$ п.р.в. от МНО и угол удержания $\varphi'_{\text{уд}} = 20^\circ$ п.р.в.; давление заправки пружины форсунки 115 бар; давление топлива в аккумуляторе 125 бар. Тарировка датчиков давления осуществлялась для каждой серии опытов.

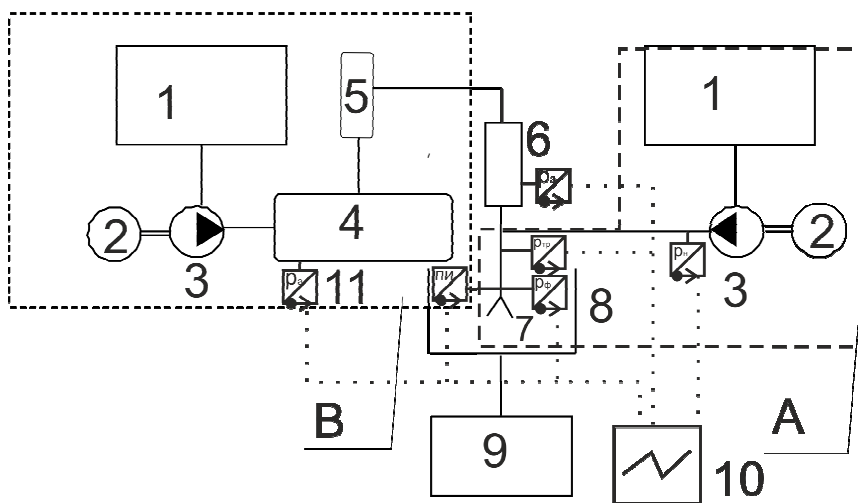


Рис. 1. Комбинированная система впрыскивания топлива:

А – БСТ базовая система топливоподачи; В – система топливоподачи с АМ; 1 – Топливный бак; 2 – привод ТНВД; 3 – ТНВД; 4 – АМ большого объема; 5 – АМ малого объема; 6 – управляющий клапан-золотник (УК); 7 – форсунка; 8 – топливный резервуар; 9 – резервуар сбора топлива; 10 – осциллограф; 11 – датчики давления и ПИ.

На рис. 2 представлена осциллограмма 1 ГСВТ, где параметры, описывающие работу АМ обозначены штрихом «'», а величины без специальных меток – количественные характеристики БСТ. Параметры, характеризующие работу ГСВТ, были приняты следующие:

i'_z — количество подъемов иглы форсунки; z'_d — процентная доля подъема иглы от максимального при основном впрыскивании; $\varphi'_{\text{впр}}$, $\varphi_{\text{впр}}$ — общий угол впрыскивания по кривой ПИ при включении аккумулятора модуля и штатной системы ТП соответственно; φ'_ϕ — длительность колебания давления на кривой p_ϕ при подаче управляющего сигнала на золотник; $\varphi'_{\text{зд}}$ — угол задержки изменения давления в золотнике после подачи управляющего импульса, характеризует момент открытия золотника; $\varphi'_{\text{зпи}}$ — угол задержки подъема иглы после подачи управляющего импульса; φ'_κ — угол поворота распределителя между двумя пиками - период времени по углу поворота между двумя колебаниями - подъемами иглы; $\varphi'_{\text{уд}}$ — угол удержания; $\Delta p'_{\text{акк}}$ — величина изменения давления в аккумуляторе; $\Delta p'_{\text{зол ср}}$ — усредненная величина изменения давления в золотнике при работе управляющего клапана; $\Delta p'_{\text{зол нач}}$ — первоначальное изменение давления в золотнике при открытии золотникового клапана; $\Delta p'_{\text{зол max}}$ — максимальное значение изменения давления в золотнике, возникающее при запирании форсунки, Δp_ϕ ; $\Delta p_{\text{тр}}$, $\Delta p_{\text{н}}$ и $\Delta p'_\phi$, $\Delta p'_{\text{тр}}$, $\Delta p'_\text{н}$ — амплитуды изменения давления форсунки, трубопровода и насоса при основном впрыскивании и при срабатывании золотника соответственно; $+\Delta p_\phi$, $+\Delta p_{\text{тр}}$, $+\Delta p_{\text{н}}$ и $+\Delta p'_\phi$, $+\Delta p'_{\text{тр}}$, $+\Delta p'_\text{н}$ — возрастание давления форсунки, трубопровода и насоса относительно линии остаточного давления при основном впрыскивании и при работе золотника соответственно; $-\Delta p_\phi$, $-\Delta p_{\text{тр}}$, $-\Delta p_{\text{н}}$ и $-\Delta p'_\phi$, $-\Delta p'_{\text{тр}}$, $-\Delta p'_\text{н}$ — падение давления форсунки, трубопровода и насоса относительно линии остаточного давления при основном впрыскивании и работе золотника соответственно.

Наряду с записью на бумагу было проведено компьютерное осциллографирование давления в форсунке, что позволило более качественно оценить параметры и характер изменения величины в зависимости от частоты вращения n_p распределителя.

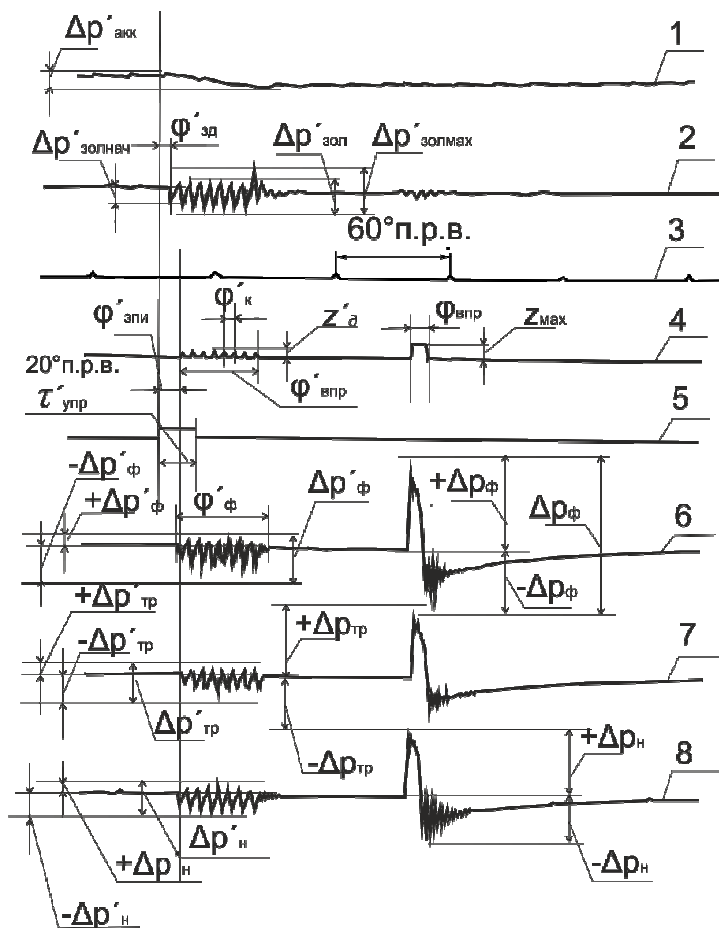


Рис. 2. Осциллограмма ГСВТ при $n_p = 103$ об/мин :

1 — давление в аккумуляторе $p_{акк}$, 2 — давление у золотника $p_{зол}$, 3 — угловая отметка 60° п.р.в. φ_{60} , 4 — подъем иглы форсунки ПИ, 5 — управляющий сигнал Упр, 6 — давление форсунки $p_{ф}$, 7 — давление в трубопроводе $p_{тр}$, 8 — давление штатного ТНВД $p_{н}$.

Комплексно рассмотрев осциллограммы можно сказать, что на осциллограммах удалось зафиксировать изменение давления в аккумуляторе, чего нельзя было качественно оценить из более ранних осциллограмм, исследование ГСВТ в статике [2], где характер изменения давления был волновой с малой амплитудой. Здесь же можно увидеть, что при минимальных оборотах давление в аккумуляторе

падает на $\Delta p_{\text{акк}} = 11$ бар и с ростом частоты вращения, это значение уменьшается до 6 бар на всех режимах. Характер изменения этой величины представлен в графическом виде на рис. 3. При подаче управляющего сигнала (рис. 2) это величина снижается вплоть до посадки иглы, и далее растет до подачи следующего управляющего сигнала.

Изменение давления в элементах ГСВТ соответствует закону перемещения иглы. Так, при подаче управляющего сигнала золотник открывается с некоторой задержкой. Момент открытия золотникового клапана соответствует началу изменения давления в элементах ГСВТ.

При открытии управляющего клапана давление в золотнике резко падает на величину $\Delta p'_{\text{зол нач}}$, вероятно, в результате заполнения топливом БСТ – т.к. на осциллограмме не видны изменения в элементах штатной системы при падении давления у золотника. После чего давление в золотнике начинает расти. Момент повышения давления в золотнике соответствует моменту повышения давления в элементах БСТ. Когда давление в подыгольчатой полости превышает величину затяжки пружины, игла начинает движение с углом задержки впрыскивания $\varphi_{\text{зпи}}$, который растет с увеличением числа оборотов.

Так, при максимальных оборотах игла начинает подъем с задержкой в $\varphi'_{\text{зпи}} = 41^\circ$ п.р.в., а давление в золотнике снижается при $\varphi'_{\text{зд}} = 26,6^\circ$ п.р.в. При этом давление в БСТ падает, пружина пересиливает давление топлива в подыгольчатой полости и игла садится на посадочное место. Затем процесс повторяется. Величина подъема иглы z'_0 на всех осциллограммах составляет 40%. При подъеме иглы давление в АМ снижается, что более заметно при низких частотах вращения распрעדвала, осциллограмма 2 при $n = 53$ об/мин. Длительность впрыскивания $\varphi'_{\text{впр}}$ также возрастает с оборотами. Количество подъемов иглы i'_z уменьшается при увеличении n , а длительность колебаний φ'_k увеличивается при тех же условиях. Зависимость этих значений от числа оборотов, наряду с другими параметрами, приведены на рис. 3.

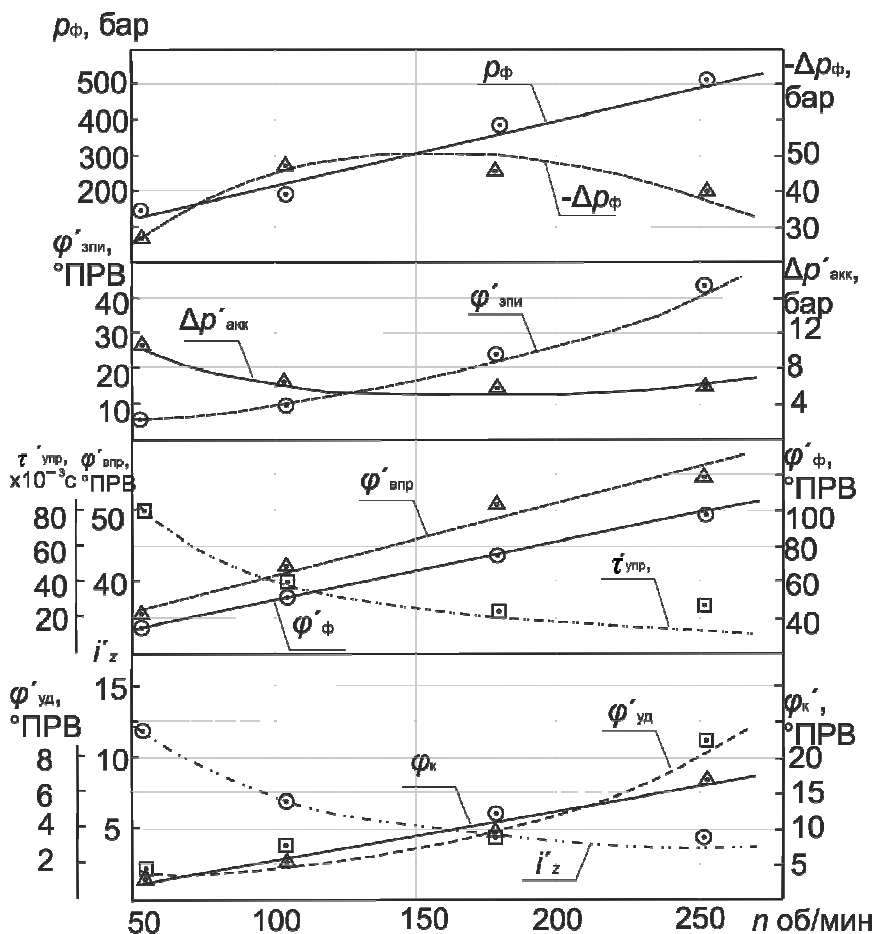


Рис. 3. График зависимостей параметров топливоподачи ГСВТ от частоты вращения распределителя : $m = 20$, $p_0 = 115$ бар, $p_{\text{акк}} = 125$ бар

По осциллограмме 1 видно, что после последнего подъема иглы на кривой давления в золотнике имеется характерное колебание амплитуда которого $\Delta p'_{\text{зол max}}$ выше среднего значения, и является признаком гидроудара в системе. Это говорит о запираии системы со стороны АМ. На кривой p_f начинается короткий период затухания колебаний с большим коэффициентом затухания. Так период изменения давления форсунки $\varphi'_{\text{ф}}$ более длительный по сравнению с $\varphi'_{\text{впр}}$,

из-за меньшей задержки $\varphi'_{зд}$ и затухающих колебаний после посадки иглы на седло распылителя.

При работе штатной системы ГП, подъем иглы осуществляется до упора, что отличается от ТП при открытии золотника. Приняв значение ПИ при основном впрыскивании за 100 %, определяем, что игла при срабатывании золотника поднимается на 40% на всех режимах. Характер изменения максимального давления впрыскивания от оборотов отображен на графике.

При посадке иглы давление БСТ падает ниже остаточного $-\Delta p_{ф}$. После посадки иглы характер изменения давления в форсунке, трубопроводе и у насоса имеет волновой характер с затуханием. После прекращения колебаний давление в системе растет вплоть до подачи на золотник управляющего сигнала. По всей видимости, такое изменение давления в БСТ происходит из-за того, что золотник пропускает топливо из аккумулятора системы (АМ), наполняя ее.

Выводы.

Исследовано взаимодействие АМ и БСТ на различных режимах скоростной характеристики при неизменных параметрах управления соединительным золотником.

При открытии золотника впрыскивание топлива имеет дробный характер с частичным подъемом иглы, составляющим около 0,4 от полного хода.

Угол задержки открытия золотника $\varphi'_{зд}$ является функцией частоты вращения. В частности, после подачи управляющего эта величина составила $26,6^\circ$ п.р.в. при максимальных оборотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фонов Владимир Владимирович. Компоненты перспективных топливных систем аккумуляторного типа с электронным управлением для транспортных дизелей: Дис. канд. техн. наук: 05.04.02: Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана 2004.- 198 с

2. Половинка Э.М., Мартынов С.В., Москалец А.Р. – Развитие систем топливоподачи судовых дизелей с. 49 – 57. Матеріали науково-технічної конференції “ Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт”, 21.03.2012 – 23.03. 2012. Частина I. – Одеса: ОНМА, 2012.–177с.