

# ФОРМИРОВАНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ФОРСУНКОЙ С МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ

Д.Г. Шеметов, О.В. Дробышев, М.Э. Брякотин

*В работе рассматривается электрогидравлическая форсунка (ЭГФ) с мультипликатором давления как элемент наиболее перспективной аккумуляторной топливной системы дизелей. Основное внимание уделено элементам конструкции ЭГФ, обеспечивающих ступенчатую характеристику впрыска.*

Ужесточение законодательных экологических требований, предъявляемых к дизелям, ограничение по уровню эмиссии отработавших газов и уровню шума работы, наряду с обеспечением более низкого расхода топлива, заставило моторостроителей разрабатывать новые системы топливоподачи.

В результате чего к топливным системам (ТС) предъявляются ряд требований:

- 1) минимальная стоимость, масса, высокая технологичность ТС;
- 2) стабильность показателей подачи топлива в течение срока эксплуатации;
- 3) удобство обслуживания;
- 4) обеспечение максимального ресурса в пределах ресурса двигателя;
- 5) обеспечение заданного давления и характеристики впрыскивания, их управление в соответствии с режимами работы дизеля;
- 6) управление цикловой подачей и углом опережения впрыска топлива в зависимости от частоты, нагрузки дизеля и др.;
- 7) недопустимость подвпрыскивания и подтекания топлива;
- 8) минимальная неравномерность подачи топлива по цилиндрам;
- 9) минимальный собственный уровень шума и уменьшение уровня шума двигателя;
- 10) обеспечение устойчивых минимальных подач на режимах малых нагрузок, холостого хода.

Более подробное рассмотрение круга задач и пути их решения для топливной аппаратуры описаны в трудах Грехова Л.В. [1].

Аккумуляторные топливные системы получили наибольшее признание в силу своих возможностей и приспособляемости к дизелям.

Основное преимущество аккумуляторной системы (АС) заключается в том, что процессы создания энергии впрыска и дозирования в ней топлива разделены во времени и в отличие от традиционных способов топливоподачи не оказывают неблагоприят-

ного воздействия друг на друга. Аккумуляторная система позволяет управлять давлением впрыска и обеспечить оптимальное значение этой величины на всех режимах работы дизеля.

Существенное влияние на показатели дизеля оказывают законы подачи топлива (характеристика впрыска) и давления впрыска. Закон подачи топлива влияет на процессы сгорания. Жесткость процесса сгорания зависит от первоначальной фазы характеристики впрыска и периода задержки воспламенения. Основным требованием для жесткости процесса сгорания является необходимость, чтобы к моменту начала воспламенения топлива в цилиндре дизеля находилось как можно меньше горючей смеси. Допустимая минимальная доза впрыскиваемого топлива определяется из условий устойчивого горения, а также жесткости процесса сгорания.

Форма характеристики впрыска выбирается от условий работы дизельного двигателя. Существуют разные законы топливоподачи: треугольный, прямоугольный, трапециевидный, двухступенчатый и многоуровневый. Ступенчатое впрыскивание топлива (рис. 1) обеспечивает снижение как скорости нарастания давления в фазе горения, так и максимального давления цикла. В результате уменьшается уровень шума сгорания, особенно в диапазоне малых значений частоты вращения и нагрузки. По мере повышения частоты вращения эффект от ступенчатого впрыскивания топлива снижается. В верхнем диапазоне частоты вращения излучение шума дизеля с неразделенной камерой сгорания не вызывает значительных проблем, так как вследствие наддува и отчасти ступенчатого впрыскивания топлива достигается относительно невысокий уровень скорости нарастания давления.

Параметры распыливания в зависимости от ступенчатой характеристики впрыскивания хорошо изложены в трудах Астахова И.В. [2].

## ФОРМИРОВАНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ФОРСУНКОЙ С МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ

На рисунке 2 изображена аккумуляторная система электрогидравлической форсунки (ЭГФ) с мультипликатором давления. Особенностью данной конструкции является двухходовая игла распылителя управляемая гидравликой рис.3.

Данная форсунка позволяет организовать предвпрыск и ступенчатую характеристику впрыска (рис. 4 и 7).

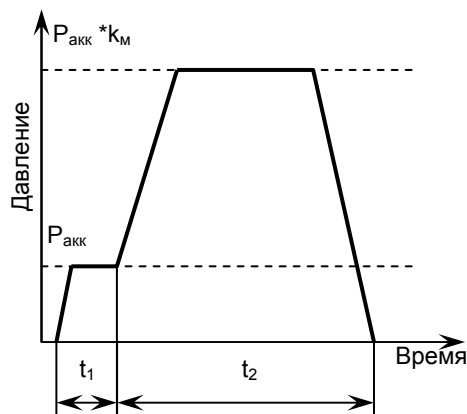


Рис. 1. Ступенчатая характеристика впрыскивания

Вариант этой конструкции ЭГФ прорабатывается и анализируется в конструкторском бюро «СКБ АЗПИ».

Немаловажным фактором является стабильная запальная порция в двухстадийном горении топлива, что в свою очередь обеспечивается в данной конструкции.

Если рассмотреть такую же схему, только с одноходовой иглой, то процесс создания стабильной и устойчивой запальной порции становится невыполнимой задачей. На нестабильность и неуправляемость маленькой порции впрыска оказывают слишком большое количество подвижных элементов, к тому же для организации малого количества запальной порции не требуется полный ход иглы распылителя (максимальное проходное сечение распылителя).

Управление данной форсункой осуществляется электронным блоком управления (ЭБУ), который подаёт управляющие сигналы на электромагнит форсунки и регулятор давления насоса высокого давления ТНВД. Данная аккумуляторная система в малой степени зависит от скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя.

В период работы ЭГФ по функциональности и уровню давления разграничены топливные каналы.

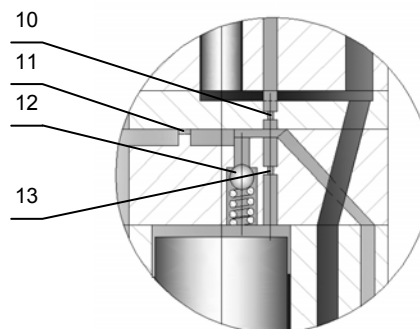
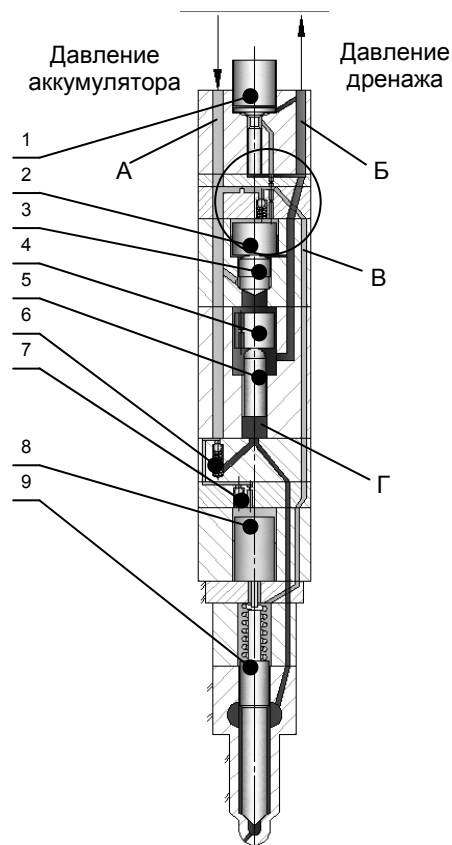


Рис. 2. Схема электрогидравлической форсунки с мультипликатором давления: 1 – электромагнитный клапан; 2 – мультипликатор запертого клапана гидроуправления; 3 – клапан гидроуправления; 4 – поршень мультипликатора; 5 – плунжер мультипликатора; 6 – шариковый клапан мультипликатора; 7 – шариковый клапан мультипликатора гидрозапирания иглы; 8 – поршень мультипликатора гидрозапирания иглы; 9 – игла распылителя; 10 – дренажный жиклёр полости управления; 11 – наполнительный жиклёр полости управления; 12 – шариковый клапан клапана гидроуправления; 13 – жиклёр клапана гидроуправления

На рис. 2 изображены четыре топливных канала: топливный канал «А» – аккумуляторное давление (среднее давление); топливный канал «Б» – давление дренажа (низкое да-

ление); топливный канал «В» – полость управления (ПУ); топливный канал «Г» – мультиплицированное давление (высокое давление). Перед началом работы ЭГФ в топливных каналах: А, В и Г - аккумуляторное давление.

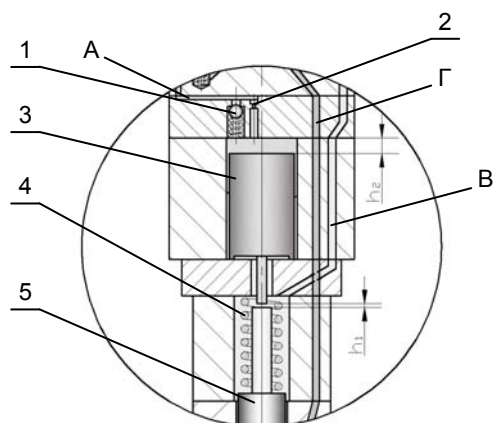


Рис. 3. Гидромеханическое запираение иглы: А – линия аккумуляторного давления; В – полость управляемая ЭМК; Г – полость мультипликаторного давления; 1 – шариковый клапан; 2 – жиклёр; 3 – поршень гидрозапирающей иглы; 4 – запирающая пружина иглы; 5 – игла распылителя

После подачи сигнала на электромагнит с ЭБУ, якорь клапана 1, преодолевая усилие пружины, открывает проходное сечение между полостью управления и дренажом. Давление полости управления понижается. Лимитирование потока из полости управления осуществляется за счёт дренажного жиклёра 10, а не за счёт клапана 1. Как показывает практика, электромагнитные клапаны (ЭМК) перемещаются очень нестабильно, вследствие упругих ударов (отскоков) и волновых колебаний давлений дренажной системы (рис. 5). ПУ соединена с хвостовиком иглы распылителя. Сила, запирающая иглу, равна аккумуляторному давлению умноженная на площадь прецизионного диаметра иглы распылителя плюс усилие пружины. В течение снижения давления в ПУ, снижается суммарное запирающее усилие иглы. А так как в кармане распылителя в данный момент аккумуляторное давление, игла из-за дифференциальной площадки начинает открываться, преодолевая при этом усилие пружины. Впрыскивание при этом начинается от аккумуляторного давления.

В первоначальный момент над поршнем гидрозапирающей 3 (рис. 3), а так же и под ним (в полости хвостовика иглы 5) аккумуляторное давление. Из этого следует, что мульти-

пликатор работает только в тот период, когда в полости хвостовика иглы давление меньше, чем в полости над поршнем 3.

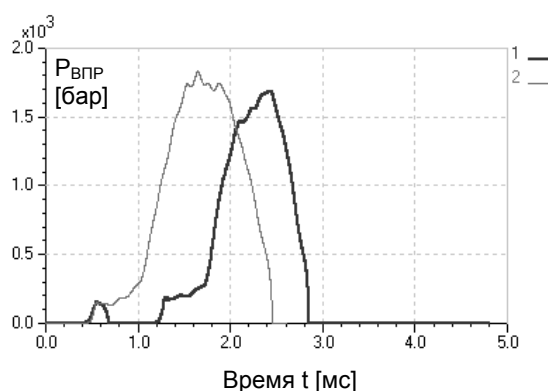


Рис. 4. Давление впрыска ЭГФ

Игла доходит до упора (поршня мультипликатора запирающей иглы 3 (рис. 3), ход при этом составляет  $h_1=0,03\text{мм}$ , т.е. не полное открытие проходного сечения распылителя, т.к. усилие мультипликатора гидрозапирающей на много выше, чем открывающее усилие иглы. Первичный ход выбирается из условий давления, количества и быстродействия предвпрыска или ступенчатости впрыска.

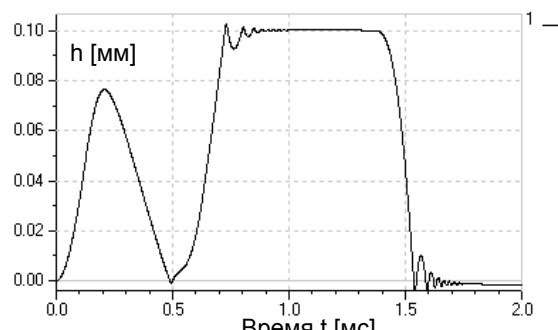


Рис. 5. Перемещение электромагнитного клапана для характеристики впрыскивания с предвпрыском

Полость управления также соединена с мультипликатором запирающей клапана гидроуправления 2 через жиклёр 13 и шариковым клапаном 12 (рис.1). Функцией жиклёра является задержать период срабатывания клапана гидроуправления (КГУ), а шарикового клапана – в момент закрытия ЭМК максимально быстро нарастить давление над КГУ, минуя при этом ограничитель расхода (жиклёр 13).

КГУ начинает открываться с некоторой временной задержкой относительно иглы распылителя. Открывается проходное сече-

## ФОРМИРОВАНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ФОРСУНКОЙ С МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ

ние КГУ и давление из линии аккумуляторного давления наполняет полость над поршнем мультипликатора 4 рис.1. Из-за разности давлений над и под поршнем, а также разности площадей поршня 4 и плунжера 5, давление под плунжером умножается на величину геометрической мультипликации  $k_M$  (рис.3). Мультиплицированное давление действует на шариковый клапан 6 и тем самым разграничивает линию аккумуляторного давления.

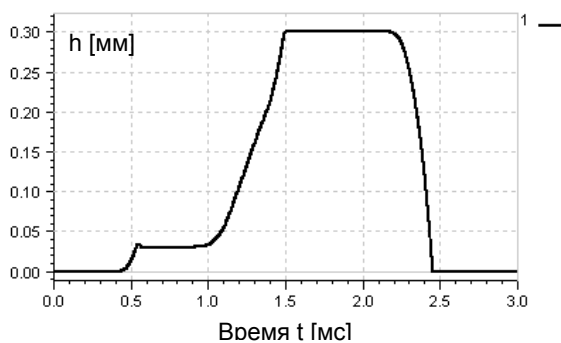


Рис. 6. Перемещение иглы распылителя

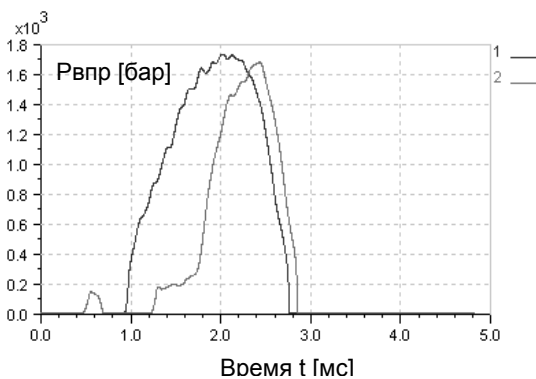


Рис. 7. Давления впрыска ЭГФ

К моменту нарастания мультиплицированного давления, через распылитель, происходит непрерывное впрыскивание из-за того, что игла открыта на ход  $h_1$ . Когда высо-

кое давление достигнет кармана распылителя, открывающее усилие иглы возрастёт и преодолевая силу поршня гидрозапора, игла откроется на полный ход, равный 0,3 мм рис 4. Характеристика впрыскивания при этом представлена на рис. 4 номер линии 2.

Поршень гидрозапирания иглы имеет жиклёр и шариковый клапан 7 соединённые параллельно к линии аккумуляторного давления, выполняющие функцию гасителя колебаний.

Кратковременно полное или частичное открытие электромагнитного клапана позволяет организовать предвпрыск. Уровень понижения давления в полости управления достаточен для того, чтобы игла дошла до первого упора, но для открытия КГУ – он недостаточен. При этом мультипликатор давления не работает. Варьируя интервалом между предвпрыском и основным впрыском можно добиться «включаемости» и «выключаемости» ступенчатости у основной дозы впрыскиваемого топлива (рис 5). Этот эффект достигается за счёт колебательных процессов происходящих в ЭГФ. Конечно это не показатель стабильной работы, потому что процесс перехода от «ступенчатой» к «не ступенчатой» характеристики впрыскивания будет сопровождаться разной цикловой подачей топлива.

Рассмотренная электрогидравлическая форсунка пока ещё требует тщательного изучения и математического анализа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
2. Астахов И.В., Трусов В.И., Хачиян А.С. Подача и распыливание топлива в дизелях. – М.: Машиностроение, 1971. – 359 с.