

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПРИВОД КЛАПАНОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

В. Н. БАЛАБИН, В. Н. ВАСИЛЬЕВ

Московский государственный университет путей сообщения

Транспортные двигатели большую часть времени работают на ненормальных режимах, и в этих условиях механический привод клапанов (МПК) газораспределения не обеспечивает требуемых фаз газораспределения (ФГР). Многочисленная патентная литература и ряд выполненных исследований свидетельствуют, что изменением ФГР можно значительно улучшить технико-экономические показатели двигателя, расширить ассортимент используемых топлив, снизить жесткость работы двигателя и, что самое главное, токсичность выпускных газов.

Гибкое управление ФГР клапанов является основой обеспечения оптимального условия протекания процессов очистки и наполнения цилиндров двигателя.

Основной закон регулирования ФГР звучит следующим образом: при увеличении нагрузочного и скоростного режимов работы транспортного двигателя все фазы газораспределения должны увеличиваться.

Проведенные в МИИТе исследования позволяют установить целесообразность применения альтернативного немеханического привода клапанов в локомотивных энергетических установках нового поколения.

Основные виды альтернативного привода: пневматический, гидравлический, гидромеханический, электромагнитный и электрогидравлический. Реальное распространение могут иметь три вида привода: гидравлический, электромагнитный и электрогидравлический.

Применение электромагнитного привода клапанов (ЭМК) нашло практическое применение, начиная с конца 80-х годов. Особо большое число патентных публикаций принадлежит Японии и США. Основные преимущества:

- обеспечение широких диапазонов регулирования ФГР;
- высокое быстродействие;
- удобство контроля работы привода;
- большая надежность элементов электронной системы управления и электропривода и возможность при необходимости установки дублирующих схем формирования управляющих сигналов.

Исполнительным узлом являются электромагниты, которые могут воздействовать на промежуточное звено, соединенное с клапаном, или непосредственно на клапан.

ЭМК позволяет получить оптимальные энергетические и экологические показатели дизеля при любых режимах работы, без дополнительных затруднений реверсировать дизель, осуществлять декомпрессию при пуске и режим противовращения (аналог контрпара в паровых машинах), использовать дизель в качестве поршневого компрессора. Однако массогабаритные показатели ЭМК тепловозного дизеля оказались неудовлетворительными: электромагнит для привода одного выпускного клапана дизеля типа ЧН 26/26 имеет массу свыше 16 кг, причем сердечник и обмотка весят примерно одинаково. К этому значению следует добавить массу демпфера, креплений и кожуха. КПД ЭМК получается не выше 50 %. Только на отдельных режимах работы двигателя в оптимальном варианте КПД может достигнуть 65 %. Средняя потребляемая мощность на привод составляет приблизительно 1 кВт/клапан при частоте вращения коленчатого вала в 1000 мин⁻¹. Электромагниты необходимо интенсивно принудительно охлаждать.

Хотя ЭМК является заманчивым техническим решением, его широкое применение в таком традиционном виде, как силовой соленоид, представляется нецелесообразным. Возможно, есть области, где его преимущества возобладают над недостатками, например судовые дизели, являющиеся тихоходными, реверсивными и не имеющими ограничений по массе и габаритам. Все же необходимость охлаждения электромагнитов, а главное — высокая стоимость, вызывают сомнения в практической ценности идеи ЭМК.

При электрогидравлическом приводе клапанов (ЭГПК) обобщаются достоинства гидравлического и электромагнитного способов управления по требуемому быстродействию и возможности регулирования ФГР (или закона движения) клапанов. Исследование работы ЭГПК проводилось в МИИТе на модельной одно-, и двухклапанной установках, а также на моторном стенде с дизелем Д21А (2Ч10,5/12), один цилиндр которого был оборудован ЭГПК. Работа клапанов с ЭГПК сравнивалась со штатным механическим приводом второго цилиндра. Проведены длительные ресурсные испытания на безмоторных стендах тепловозных дизелей типов ЧН21/21 и ЧН26/26.

Применение ЭГПК для ЛЭУ различной компоновки, быстроходности, характеристикам клапанных пружин и широким диапазоном изменения масс подвижных частей силовых гидроцилиндров привода клапанов требует выбора параметров привода индивидуально для каждого типа двигателя. Целесообразна проработка вариантов расчетным путем, что значительно сокращает материальные затраты на проведение экспериментальных работ. Значительные затраты энергии на привод насосов, создающих высокое давление в ГА и компенсирующих расход жидкости, приводит к необходимости использования ЭГПК именно на мощных ЛЭУ. Кроме того, расчетным путем подтверждается эффективность привода при работе ЛЭУ на переменных режимах.

Анализируя затраты мощности на привод следует отметить, что при ЭГПК мощность на привод характеризуется только мощностью насосов высокого давления, подающих рабочую жидкость в аккумулятор.

По основным параметрам дизели ЧН 26/26 находятся на уровне лучших зарубежных аналогов, а в некоторых случаях превосходят их. Внедрение новых решений по системам воздухообеспечения, топливной аппаратуре, цилиндро-поршневым группам обеспечили современные показатели этих дизелей по ресурсу, надёжности, расходу топлива и масла, экологическим показателям.

Выбор параметров ЭГПК проводим для наиболее распространенной модели 16ЧН 26/26. Применение этого типа привода позволяет стабилизировать величину коэффициента избытка воздуха, причем наибольший эффект получается уменьшением ФГР (возможны варианты вплоть до запаздывания открытия и опережения закрытия впускного клапана относительно соответствующих мертвых точек) и максимального подъема клапана. Уменьшение подъема клапанов наиболее желательно на холостом ходу и при запуске дизеля. Достоинством применения ЭГПК клапанов на дизеле типа ЧН 26/26 является упрощение компоновки привода в блоке и крышках цилиндров, так как в этом случае отсутствуют компенсаторы зазоров, штанги, облегчается доступ к крышке и клапанам. Высота кожуха крышки цилиндров уменьшается на 80–110 мм. Для дизелей типа ЧН 26/26 появляется возможность центрального расположения форсунки.

Выполненная компоновка привода для дизеля 16ЧН 26/26 позволила выбрать насосы с суммарной потребляемой мощностью 34–41 кВт в зависимости от рабочего давления и расхода жидкости (для дизеля 16ЧН 26/26 рабочее давление составляет 16–20 МПа) и расход жидкости на привод ~5,0 м³/ч). Мощность, затраченная на привод клапанов при штатном приводе дизеля 16ЧН 26/26, подсчитанная по кинематической схеме, составляет 18–22 кВт, что меньше, чем при ЭГПК, на 16–19 кВт.

При размещении гидравлического оборудования вместо распределительного вала во всю длину дизеля в лотке вместо кулачкового вала расположен гидравлический аккумулятор высокого давления. От аккумулятора получают питание приводы клапанов всех цилиндров. Вместо колонки крепления коромысел выпускных клапанов установлена стойка гидроцилиндров. От общего гидравлического аккумулятора осуществляться питание форсунок с электрическим управлением.

Привод двух одноименных клапанов от одного силового гидроцилиндра может потребовать применения более вязкой рабочей жидкости при одновременном снижении рабочего давления до 10–12 МПа и увеличения Ду регулирующей и защитной аппаратуры, а также всех шлангов и арматуры.

Для оценки времени срабатывания ЭГПК дизеля ЧН26/26, использующего в качестве рабочей жидкости масла, были проведены расчеты привода с учетом сжимаемости рабочей жидкости. В частности, рассчитаны параметры для масел типа МС-20, АМГ-10 и трансформаторного при различных температурах. Охватывался широкий диапазон изменения плотности – от 835,6 до 892,5 кг/м³ и кинематической вязкости – от $8,48 \cdot 10^{-6}$ до $1,12 \cdot 10^{-6}$ м²/с, соответственно при изменении температур от +20 до +60 °С. Выполненные расчеты показали, что расхождения во времени срабатывания привода на маслах и дизельном топливе не превышает 8 %. Таким образом, имеется возможность выбирать параметры гидромеханической части привода для рабочей жидкости – дизельного топлива, а результаты обобщить и для масел.

Расход жидкости на привод клапанов при частоте вращения коленчатого вала в 1000 мин^{-1} составляет $92,2 \text{ л/мин}$. Потери на привод насоса ЭГПК для дизеля типа 1А-5Д49 составляет $2,9 \%$ от общей эффективной цилиндровой мощности, а для 2А-5Д49 – соответственно $2,1 \%$.

Исследования показали, что при работе ЭГПК на дизелях типа ЧН 26/26 нет необходимости в установке клапанных пружин такой же жесткости, как при МПК, так как в этом случае нет опасности разрыва кинематической цепи привода при закрытии клапана. Расчеты показали, что скорости посадки клапана с ЭГПК превышают допустимые скорости для этого класса двигателей. Выбор характеристик устройств, предназначенных для снижения скорости посадки и регулирования величины хода клапана можно производить после определения необходимых периодов открытия и закрытия с учетом совместного движения клапанов и поршня, а также выбранной системы наддува. Для оценки возможности уменьшения скорости посадки и регулирования хода клапанов выполнены расчеты функционирования привода впускного клапана дизеля ЧН 26/26, гидромеханическая система которого имела демпфер и дроссель. Максимальная величина хода клапана с ЭГПК составляет $23,9 \text{ мм}$, скорость посадки – $0,34 \text{ м/с}$. Средняя величина проходного сечения клапана составляет 5442 мм^2 , что на $22,4 \%$ больше, чем при МПК. Большие значения «угол-сечение» клапанов газораспределения обуславливают повышение эффективности работы двигателя на режимах, близких к номинальному, из-за увеличения коэффициента наполнения и снижения среднего давления насосных ходов. Увеличение эффективности работы связано с возрастанием индикаторного и механического КПД двигателя.

В целом, экономия топлива в год на секцию тепловоза с дизелем 16ЧН 26/26, оборудованным ЭГПК, составит $30\text{--}40 \text{ т}$.

Конструктивная проработка ЭГПК на крышке цилиндра дизеля ЧН26/26 показана на рисунке 1.

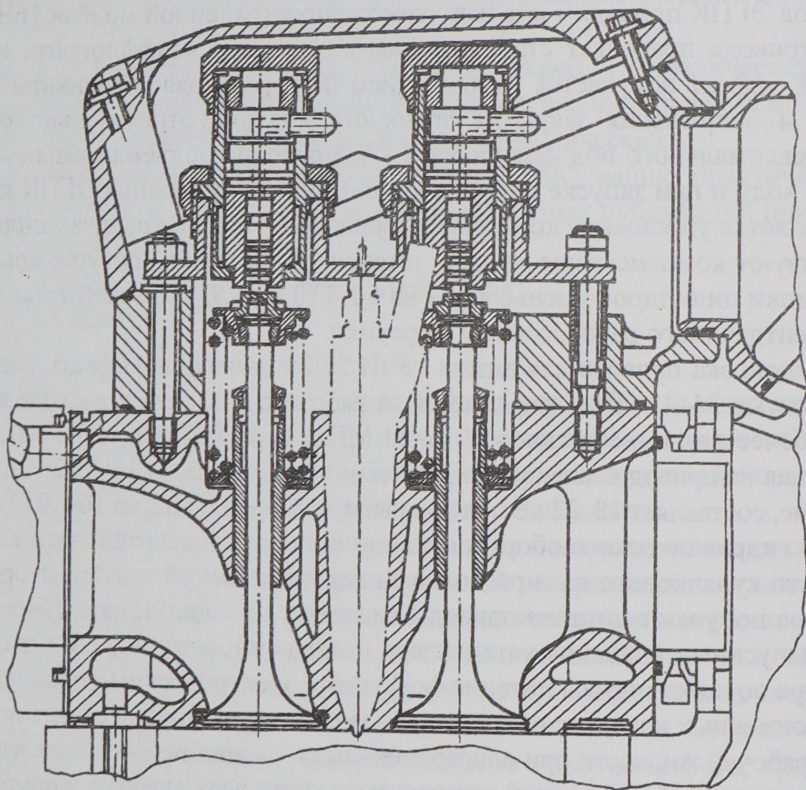


Рисунок 1 – Схема установки СГЦ на цилиндровой крышке дизеля ЧН26/26 (Д49)

В дальнейшем планируется провести комплексные испытания ЭГПК на тепловозных дизелях типов ЧН31,8/33, ЧН31/36, ЧН18/20, ЧН15/18 и ДН23/30.

По данной проблеме получено 12 авторских свидетельств и патентов. Неоднократно работа награждалась на отраслевых выставках и выставках, проводимых под эгидой ВВЦ (ВДНХ).