

ПРИВОД КЛАПАНОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВНЫХ ДВС НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В. Н. Балабин



**БАЛАБИН
Валентин
Николаевич**

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). Специалист в области приводов клапанов газораспределения транспортных двигателей внутреннего сгорания. Автор 3 монографий, 90 научных публикаций, 36 авторских свидетельств и патентов.

Введение

Примерно половина российских железных дорог общего пользования обслуживается тепловозной тягой в магистральном и маневровом вывозном режимах.

В последнее время в России и за рубежом ведутся исследования, посвященные транспортным двигателям внутреннего сгорания (ДВС), оснащенным регулируемым приводом клапанов газораспределения. Такая модернизация значительно улучшает эксплуатационные и технико-экономические показатели двигателей.

Так локомотивный ДВС (ЛДВС) с регулируемым приводом клапанов имеет расход топлива на 8–12% меньший по сравнению с традиционным дизелем при той же эффективной мощности.

Ранее такое направление развития двигателей сдерживалось недостаточным развитием технологий силовых дискретных приводов.

Электромагнитный привод клапанов газораспределения

Одним из привлекательных вариантов считается применение электромагнитного привода клапанов газораспределения (ЭМПК), однако результаты проведенных стендовых испытаний ДВС типов ЧН 12/14, ЧН 21/21 и ЧН 26/26 в МИИТе в 70-х годах XX в., а также исследования технологии EVVT Калифорнийской научно-исследовательской компании [1] показали, что традиционные силовые электромагниты соленоидного типа не подходят в качестве двигателей клапанов газораспределения.

Экспериментальные образцы, выполненные по патентам США № 6249418 «Система управления электромагнитным приводом клапанов головки цилиндров»; № 6341767 «Контроль за движением клапана в двигателе»; № 6300733 «Система определения и контроля положения электромагнита привода клапана и его работа без дрейфа»; № 6550745 «Плоский электромагнит привода» не показали достаточную надежность работы. Главным барьером в широком применении технологии EVVT и аналогичных ей является неадекватное управление движением клапана, заканчивающееся жесткой посадкой с соответствующим отрицательным воздействием на седло и сопутствующим повышенным шумом. Испытания показали, что клапан и его привод повреждались намного раньше двигателя, который к моменту начала испытаний уже

имел значительный износ. Клапан газораспределения с традиционным электромагнитным управлением работает в очень узком временном интервале, поэтому требуется применять следящий привод с обратной связью и постоянным контролем всей траекторией его движения.

Хотя ЭМПК является заманчивым техническим решением, широкое использование электромагнитов традиционной конструкции представляется проблематичным. Главное препятствие – высокая стоимость и необходимость постоянного охлаждения электромагнитов.

Известно, что управляемый привод клапанов ДВС должен выполнять функции традиционного привода газораспределения, поэтому на него распространяются те же требования [2]:

- посадка клапанов на седло должна выполняться мягко, без удара, чему сопутствует снижение шума и увеличение ресурса привода;
- в механизме привода клапанов должны отсутствовать зазоры, искажающие моменты срабатывания и закон движения клапана;
- желательна максимальная унификация деталей привода с деталями механизмов газораспределения серийно выпускаемых двигателей;
- габаритно-присоединительные размеры привода не должны увеличивать габариты двигателя;
- необходимая сила прижатия клапана (250–300 Н) должна гарантировать хорошую теплопередачу клапан–седло, что особенно важно для выпускного клапана.

Для возможности применения на локомотивном ДВС типа Д49 привод клапанов газораспределения должен удовлетворять дополнительно следующим условиям:

- подъем (посадка) впускного клапана не более 116° поворота коленчатого вала или, при номинальной частоте вращения коленчатого вала в 1000 мин^{-1} , время подъема (посадки) не более 19,3 мс;
- подъем (посадка) выпускного клапана не более 134° поворота коленчатого вала при 1000 мин^{-1} , время подъема (посадки) не более 22,3 мс;
- скорость в момент посадки клапана должна быть не выше 0,5–0,6 м/с;
- максимальный ход клапана 22 мм.

Проведенные стендовые испытания на ДВС типов ЧН 12/14, ЧН 21/21 и ЧН 26/26 показали, что несмотря на достаточно убедительные преимущества перед другими типами немеханических приводов электромагнитный привод

не получил широкого распространения из-за таких крупных недостатков, как необходимость мощных источников питания электромагнитов, большие электрические потери, установка узлов демпфирования в конечных точках перемещения клапана, большие габариты и масса электромагнитов (электромагнит для привода одного выпускного клапана дизеля типа ЧН 26/26 имеет массу около 16 кг). В процессе работы силового электромагнита для него требуется система охлаждения [3].

Импульсный линейный двигатель привода клапанов газораспределения

В МИИТе создан макетный образец импульсного линейного двигателя (ИЛД) для привода клапанов газораспределения любых ЛДВС.

ИЛД – это электрическая машина постоянного тока, содержащая статор с двумя обмотками и линейно перемещающийся якорь. В отличие от традиционного электромагнита линейный двигатель легко реверсируется аналогично обычной машине постоянного тока и позволяет изменять усилие в зависимости от хода клапана газораспределения.

Такой вид привода улучшает энергетические и экологические показатели ЛДВС при любых режимах работы, позволяет без малейших затруднений реверсировать двигатель, осуществлять декомпрессию при пуске, конвертировать ЛДВС в поршневой компрессор [4, 5] и др.

Принципиальная конструкция ИЛД включает два основных узла: блок формирования импульсов и исполнительный силовой привод. Блок управления выполняется в виде микропроцессора и предназначен для получения сигналов определенной продолжительности, формы, величины и частоты, зависящих от режима работы двигателя.

Для точного регулирования усилия и недопущения удара клапана при достижении крайних положений двигатель необходимо питать импульсами постоянного напряжения. Система управления работает циклически, задавая длительность импульсов, сопоставимую с положением клапанов по углу поворота коленчатого вала двигателя.

Линейный двигатель рассчитывается на питающее напряжение 110 В постоянного тока, так как такое напряжение вырабатывает стартер-генератор тепловоза. Мгновенное значение силы тока для приведения клапана в движение составляет 1000 А, однако среднее значение

звано тем, что катушки якоря перемещаются под другие полюса статоров.

Габаритные размеры ИЛД должны позволять размещение двух таких двигателей на крышке цилиндра. Ориентировочные габаритные размеры можно оценить, рассмотрев конструкцию макетного образца, созданного в МИИТе.

Схема ИЛД для привода клапанов газораспределения показана на рис. 2, а общий вид макета – на рис. 3. Конструкция позволяет исследовать характеристики ИЛД постоянного тока и выбрать способы управления.

Основными частями ИЛД являются основание 1 и закрепленные на нем опоры 2. Направляющие якоря 3 входят во втулки опор. На якоре размещены катушки 4. К основанию крепятся статоры 6, для надежного закрепления которых установлена распорная пластина 5. Детали привода клапанов присоединяются к штоку 7 якоря. Для предотвращения сильных ударов якоря об опоры устанавливаются демпферы.

Сердечники якоря и статоров набраны из пластин электротехнической стали. Для надежного скрепления крайние пластины пакетов вырезаны из листов стали толщиной 2 мм. Сердечникам статоров придана форма со скошенными углами для направления магнитных силовых линий к якорю.

Пакет пластин стягивается болтами. Пазы для укладки катушек прорезаются на фрезерном станке в собранном пакете. Шаг пазов у статоров и якорей выполнен разным, чтобы не происходило разрыва магнитной цепи при движении якоря и не возникали пульсации силы на штоке.

У макетного двигателя направляющие сделаны из стержней круглого сечения, поэтому с одной стороны установлены два стержня, чтобы

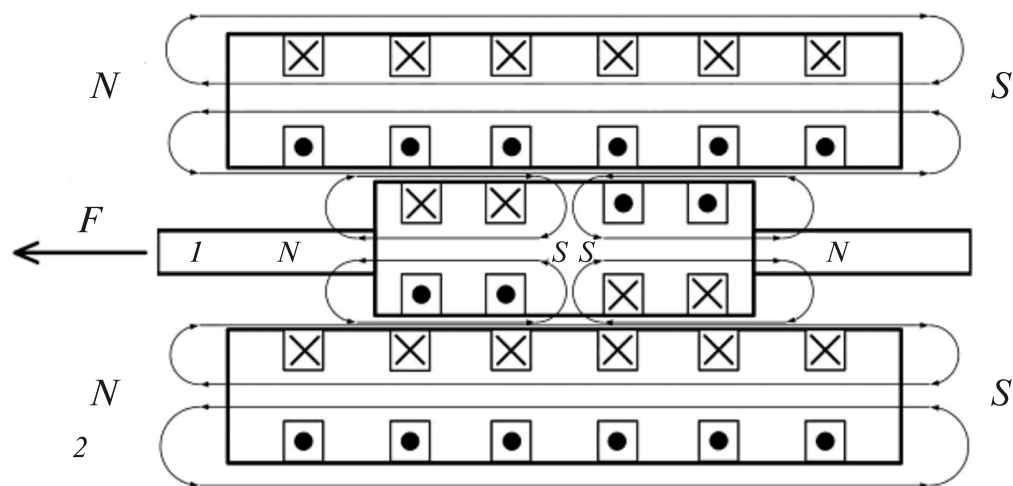


Рис. 1. Схема расположения обмоток ИЛД

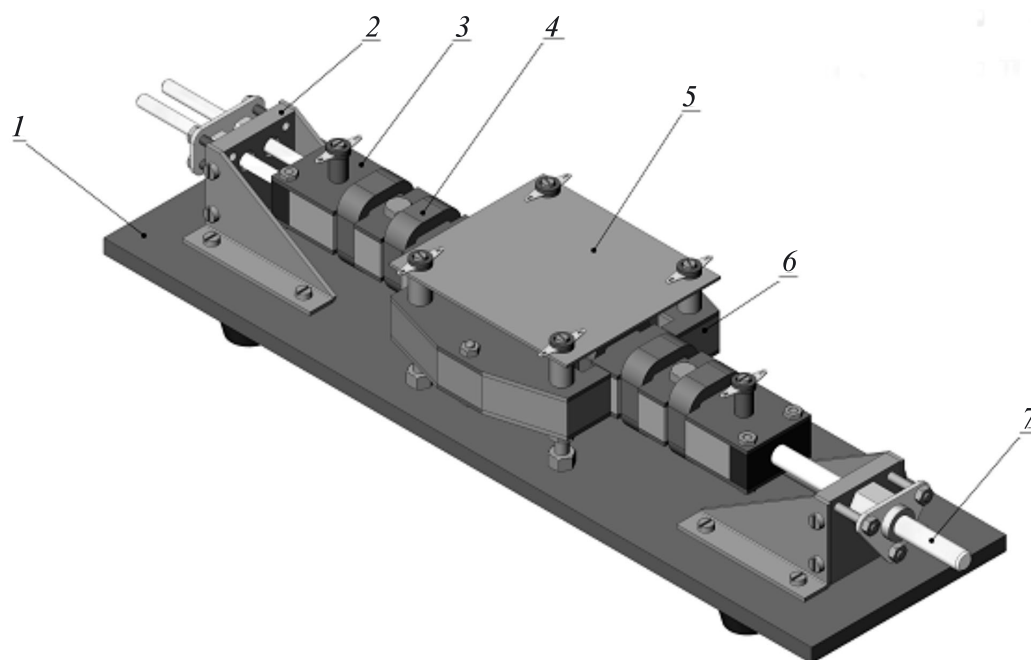


Рис. 2. Схема ИЛД для привода клапана газораспределения локомотивного ДВС

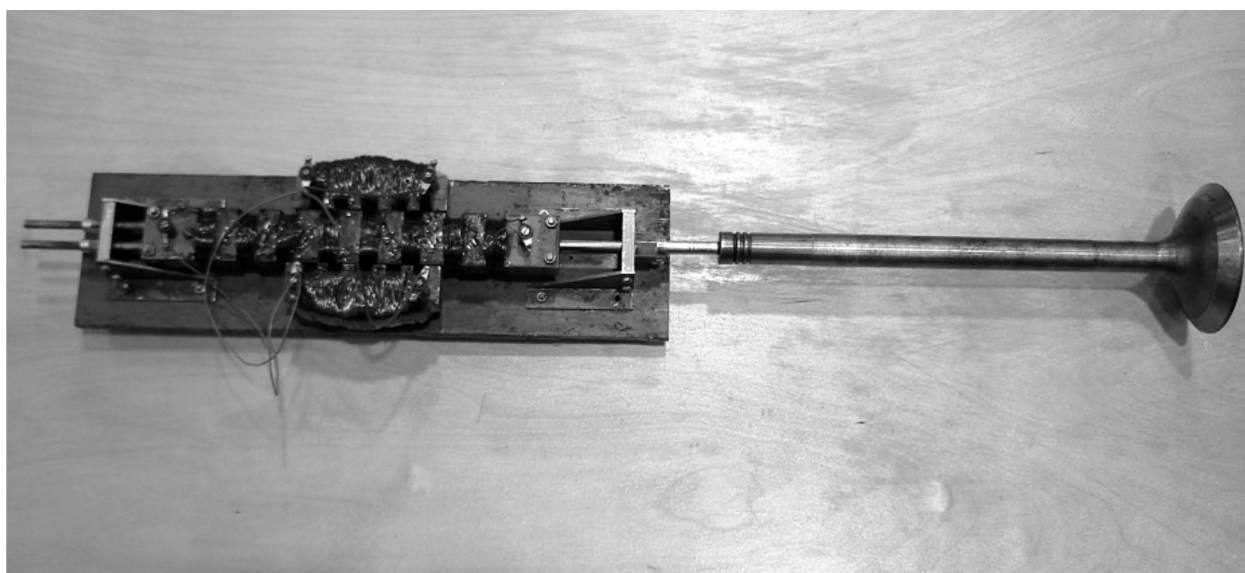


Рис. 3. Общий вид макета ИЛД привода клапана газораспределения

не допустить поворота якоря вокруг продольной оси под действием электромагнитных сил.

Для обеспечения согласованной работы катушек якоря первая половина катушек наматывается в одну сторону, вторая – в обратную. Катушки якоря соединяются последовательно.

Катушки статоров наматываются в одну сторону и также последовательно соединяются.

Чтобы обеспечить достаточную экономичность привода, необходимо сделать воздушный зазор между якорем и статором наименьшим. Конструкция должна иметь воздушный зазор не более 1 мм с каждой стороны якоря. Регу-

лировка зазора возможна перемещением опор в корпусе привода.

Габаритные размеры макетного ИЛД соответствуют габаритным размерам привода ЛДВС типа ЧН 26/26.

Штоки ИЛД соединяются непосредственно со штангами привода клапанов. Это можно осуществить шаровым соединением штока и штанги, либо стандартным для ЛДВС способом.

ИЛД необходимо расположить на полке, укрепленной на лотке над клапанным механизмом. Углы наклона штанг к рычагам при этом остаются сопоставимыми с прежними, так как концы штанг, отключенные от кулачкового

привода, поднимаются вверх к штокам ИЛД, и закон движения клапанов не будет искажен.

Рычаг привода впускного клапана может быть модернизирован введением дополнительного крепления для штанги при перестановке ее на ИЛД.

Механизмы привода клапанов смежных цилиндров (правого и левого) закрываются общей крышкой, которая может быть изготовлена штамповкой из листового металла.

Для дизелей типа ЧН 26/26 ход якоря ИЛД составляет 18–30 мм, что позволяет производить точную регулировку всей кинематической системы.

При конструировании ИЛД для привода клапанов газораспределения приходится учитывать следующие особенности:

- необходима тщательная изоляция проводников от корпусных деталей, желательно применять многослойную изоляцию, так как на обмотки действуют значительные электромагнитные силы, стремящиеся их разорвать;

- требуется обеспечить прочность крепления полюсов, так как именно они создают электромагнитную силу большой величины;

- якорь должен обладать устойчивостью в магнитном поле воздушного зазора, так как даже незначительное поперечное смещение якоря приводит к его «прилипанию» к статору и отказу электродвигателя.

Можно сделать вывод, что разработанная конструкция электромагнитного привода клапанов с линейным электродвигателем без особых затруднений может быть реализована на всех основных типах четырехтактных ЛДВС.

Оценка стоимости ИЛД проводилась по ценам материалов, широко применяемых на железнодо-

рожном транспорте. Так, суммарная стоимость ИЛД для двигателя 16ЧН 26/26 тепловоза 2ТЭ116 составляет 34200 руб. по ценам начала 2008 г.

Срок окупаемости капитальных затрат, рассчитанный по методу единичных расходных ставок, составляет 1,2 года.

Заключение

Выполненные исследования свидетельствуют о возможности широкого внедрения альтернативного привода клапанов газораспределения на локомотивных ДВС.

Рассмотренный в работе импульсный линейный двигатель создает перспективную основу для совершенствования привода клапанов газораспределения локомотивных ДВС.

Список литературы

1. Magnesense. Electromagnetic Engine Valves [Электронный ресурс] / Magnesense LLC. – Gorham, ME, cop. 2005. – Режим доступа: <http://www.magnesense.com/index.html>
2. Балабин В.Н. Электромагнитный привод клапанов газораспределения транспортных дизелей нового поколения // Тяжелое машиностроение. 2007. № 7. С. 22–27.
3. Балабин В.Н. Альтернативные немеханические системы газораспределения для дизелей // Мир транспорта. 2004. № 2. С. 52–57.
4. Пат. России № 2042849. Способ конвертирования двигателя внутреннего сгорания транспортного средства в пневматический компрессор / В.Н. Балабин, В.А. Манохин, В.З. Зюбанов // Бюл. № 24, 1995.
5. Балабин В.Н., Манохин В.А. Использование тепловозного дизеля в качестве компрессора // Железнодорожный транспорт. 1992. № 3. С. 47–49.