

Михаил Митин, Дмитрий Соснин (г. Москва)

Газораспределительные клапаны с электромагнитным приводом.

Анализ работы электромагнита с возвратной пружиной по частному циклу перемагничивания

Аналитический обзор известных эвристических* конструкций газораспределительных клапанов с электромагнитным приводом (см. [3]) указывает на исключительное разнообразие их устройств и принципов действия. Однако общим является то, что во всех конструкциях таких клапанов используются электромагниты с возвратно-поступательным перемещением якоря. Это позволяет выбрать газораспределительный клапан с открывающим электромагнитом и с возвратной пружиной [1] в качестве расчетного прототипа (см. рис. 1).

Из чертежа ясно, что приводной механизм газораспределительного клапана является круглым смыкающимся электромагнитом с рабочим воздушным зазором. Он состоит из подвижного якоря 10, возвратной пружины 1, ярма 8 электромагнита, внутри которого установлена токопроводная катушка 9.

Якорь и ярмо выполнены из одинакового магнитомягкого ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой и образуют магнитопровод электромагнита. Источником энергии магнитного поля является катушка 9 при прохождении по ней электрического тока. В обесточенном состоянии магнитопровод разомкнут на величину воздушного зазора δ силой упругости возвратной пружины. При прохождении постоянного тока требуемой величины по виткам катушки происходит срабатывание электромагнита, т.е. якорь притягивается к ярму электромагнитной тяговой силой F_T , которая, работая против возвратной пружины 1, сжимает ее на величину хода ГР-клапана. При повторном обесточивании пружина возвращает якорь в исходное состояние.

Принцип действия смыкающегося электромагнита может быть рассмотрен с использованием петли гистерезиса (рис. 2) для ферромагнитного материала, из которого изготовлен магнитопровод [2].

Рабочая часть петли гистерезиса для магнитомягкой стали магнитопровода изображена на рис. 2б. Здесь же показаны все рабочие участки и точки, которыми описывается магнитное состояние материала магнитопровода за рабочий цикл электромагнита.

Если первичное намагничивание сердечника токопроводной катушки происходит в замкнутом магнитопроводе (рис. 2а) под действием возрастающего тока

i , то магнитное состояние не намагниченного сердечника изменяется по кривой первоначального намагничивания (ODCA) от точки «О» до полного насыщения в точке «А». Однако в смыкающемся электромагните исходным (обесточенным) состоянием является состояние, при котором магнитопровод разомкнут (рис. 2в). Поэтому кривая первоначального намагничивания

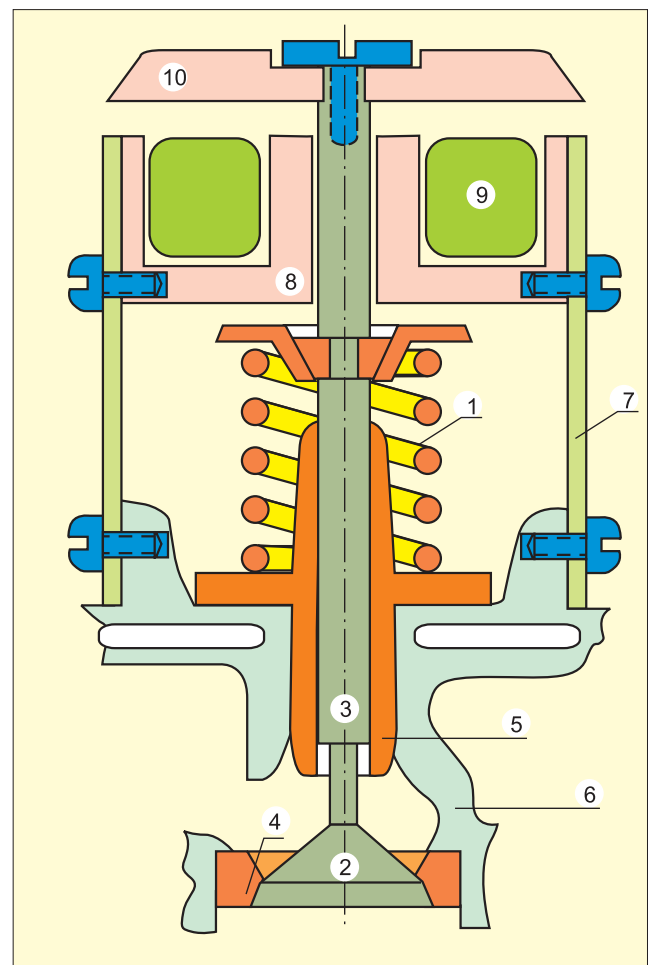


Рис. 1. Конструкция газораспределительного клапана с электромагнитом:

1 — возвратная запорная пружина; 2 — головка клапана; 3 — стержень клапана; 4 — посадочное гнездо (фаска); 5 — направляющая втулка; 6 — головка блока цилиндров (литье); 7 — корпус; 8 — ярмо электромагнита (неподвижная часть магнитопровода); 9 — токопроводная катушка электромагнита; 10 — якорь (подвижная часть) электромагнита. Направляющая втулка (5), образует вязкое сопротивление R_s трению и является опорой Z_1 ; 2-4 — запорный узел, является опорой Z_2 .

* Термином «известные эвристические конструкции» обозначаются такие технические устройства, описание которых опубликовано в авторских заявках на изобретения или в патентах, но которые, в силу незавершенности исследований и отсутствия оптимального решения, пока не находят практического применения. Обзор эвристических конструкций позволяет определить основное направление поисковых работ в данной области.

ния для сердечника пройдет несколько ниже и правее, чем образуется частная кривая намагничивания (ОЕСН), которая от точки С сливается с участком СА кривой ОДСА. В точке С (рис. 2г) электромагнитная сила притяжения F_3 становится равной силе F_n упругости возвратной пружины, и якорь R начинает притягиваться к ярму МП. В точке А (рис. 2д) произойдет полное смыкание якоря с ярмом, и магнитопровод станет короткозамкнутым.

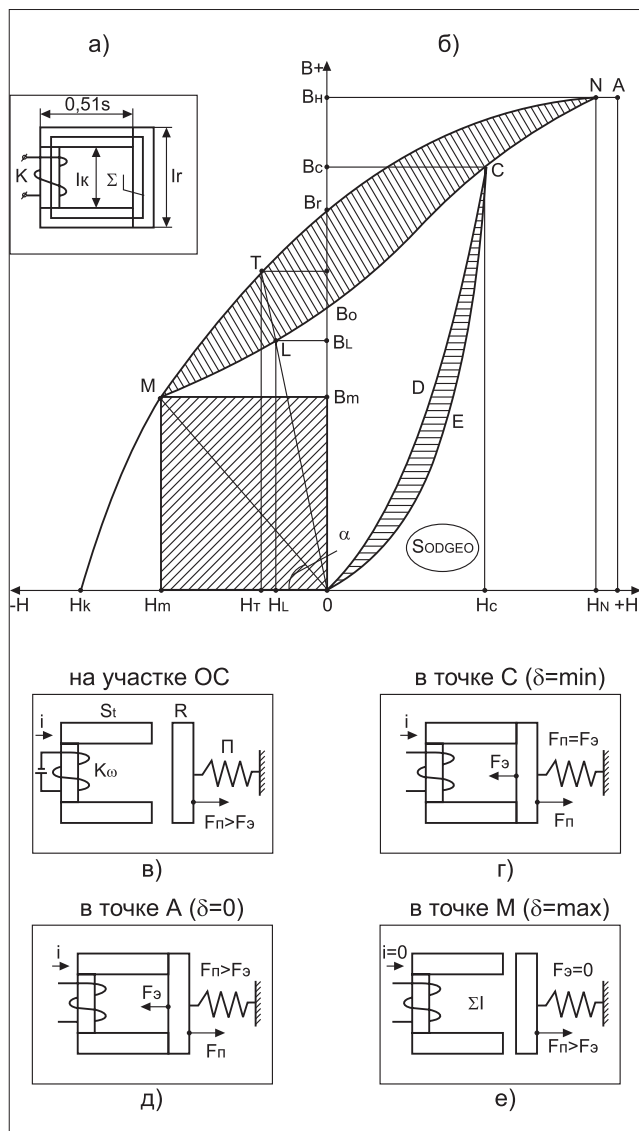


Рис. 2. Рабочая часть петли гистерезиса (Б) и цепи (А, В, Г, Д, Е) электромагнита постоянного тока

При выборе материала магнитопровода следует стремиться к тому, чтобы в точке N напряженность H_N была несколько меньше напряженности насыщения $+H$ материала магнитопровода ($H_N \leq +H$). Следует также заметить, что площадь $S_{ОДСЕО}$ между кривыми ОДС и ОЕС пропорциональна дополнительным затратам магнитной энергии на преодоление силы упругости возвратной пружины при первоначальном намагничивании сердечника S.

При уменьшении тока i в катушке К напряженность магнитного поля сначала уменьшается до нуля, и магнитное состояние магнитопровода переходит по петле гистерезиса в точку с остаточной индукцией B_r , которая меньше индукции B_c в точке С ($B_c > B_r$). Далее за точкой B_r в магнитомягком ферроматериале начинается процесс активного разрушения однонаправленности доменов, за счет чего магнитное состояние материала магнитопровода переходит в область отрицательной напряженности поля, и магнитная индукция магнитопровода продолжает уменьшаться по петле гистерезиса до состояния $V=B_T$ в точке Т. Здесь сила притяжения поля сравнивается с противодействующей силой пружины, и якорь начинает отходить от ярма. Ясно, что относительно оси В точка Т лежит ниже точки С. Когда магнитопровод полностью разомкнется (рис. 2е), его магнитное состояние окажется в точке М, координатами B_m и H_m которой определяется магнитное состояние и коэффициент размагничивания N магнитопровода, разомкнутого воздушным зазором δ на величину h хода клапана ($N = B_m/H_m$). Таким образом, точка М является исходной рабочей точкой магнитной цепи. Следует заметить, что положение точки М на петле гистерезиса, в которое перейдет магнитное состояние магнитопровода после его полного размыкания, окажется тем выше, чем меньше величина рабочего воздушного зазора, на которую размыкается магнитопровод. При обратном смыкании электромагнита под действием повторно включенного тока магнитное состояние магнитопровода из точки М не возвратится обратно в точку B_r , а пройдет по так называемой кривой возврата до точки B_0 (на рис. 2б участок MB_0). Точка B_0 характеризует остаточную намагниченность магнитопровода, с которой при повторной подаче постоянного тока в катушку К начнется новый цикл притяжения электромагнита. Далее магнитное состояние магнитопровода будет изменяться по частному циклу перемагничивания, проходя точки М, B_0 , С, N, B_r , Т, М. По площади, лежащей внутри кривой частного цикла перемагничивания, можно определить магнитную энергию, затраченную на его реализацию. Эта энергия, за вычетом потерь, проявляется в виде работы по возвратно-поступательному перемещению массы подвижной части электромагнитного привода и может быть оценена по энергетическому балансу, составленному для электромагнитного клапана ДВС.

Литература

1. Соснин Д.А. Электромагнитный привод газораспределительных клапанов в поршневом двигателе внутреннего сгорания. / В монографии Соснина Д.А. и Яковлева В.Ф. «Новейшие автомобильные электронные системы». М.: Солон-Прессс, 2005, 486 с.
2. Кифер И.И. Характеристики ферромагнитных сердечников. М.: Энергия, 1967.
3. Митин М.В., Соснин Д.А. Электромагнитный привод для газораспределительных клапанов ДВС. М.: НТЖ «Ремонт & Сервис», № 1, 2007.