

# РЕЛЕ С ПЛОСКОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

*Н.И. Пивоварчик*

*105082, Россия, г. Москва, Переведенский пер., д. 13, стр. 7  
ООО «НТЦ Информационные Технологии»*

*Показано, что для реализации функционирования реле железнодорожной автоматики, обеспечивающих безопасность движения поездов, необходимо применять прогрессивные конструктивные и технологические решения: плоскую магнитную систему и изготавливать детали магнитопровода реле методом прессования из порошков.*

*It was demonstrated that for realization of functioning relays of railway automatics, which provide the safety of train operation, it is necessary to use progressive structural and technological solutions: a planar magnetic system and to produce the components of magnetic conductor of relays by method of powder pressing.*

В мире существует два направления развития реле, которые применяются в системах железнодорожной автоматики, обеспечивающих безопасность движения поездов:

- **первое** – не требующее дополнительного схемного контроля (проверки) действия реле с серебряно-угольными замыкающими (фронтowymi) контактами и с серебряными (чисто металлическими) размыкающими (тыловыми) и переключающими (общими) контактами. Реле этого вида широко используются в России, странах бывшего СССР, США, Англии.

- **второе** – с двухпрерывными (мостиковыми) контактными узлами, осуществляющими двойной разрыв электрических цепей, т.е. их замыкание и размыкание производится соответственно при замыкании (размыкании) металлическим стержнем, связанным с якорем через изолирующую деталь, двух последовательно расположенных в этих цепях серебряных контактов, закрепленных на контактных пластинах. Эти реле требуют дополнительной проверки их работы в схемах СЦБ.

Следует отметить, что в соответствии с рекомендациями МСЖД [1] (Россия является членом этой организации) к первому направлению относятся реле вида N, которые характеризуются:

- применением несвариваемых фронтowych контактов;
- надежным отпаданием якоря под действием веса, либо веса якоря плюс дополнительного усилия, создаваемого возвратной пружиной, с одновременным размыканием фронтowych контактов при размыкании цепи обмотки;
- использованием конструктивных способов предупреждения неправильной работы контактной системы (например, одновременного замыкания фронтowych и тыловых контактов).

Наиболее применяемые в мировой практике конструкции реле каждого из направлений:

- Реле типа PN-150 фирмы WABCO (США) относится к **первому направлению**. В этом реле якорь возвращается в исходное положение под действием веса.

- Ко **второму направлению** относятся реле, выпускаемые фирмами ряда стран, например, реле К-50 фирмы «Сименс» (Германия) - рис. 1, и реле типа JRF 310-440 фирмы «Эрикссон» (Швеция).



Рис. 1. Реле типа К-50 фирмы «Сименс»

В них для возврата якоря используется возвратная спиральная пружина и упругость контактных пружин. Контроль отпадания якоря и соответствующего размыкания фронтальных контактов осуществляется схемным путем. Системы железнодорожной автоматики, обеспечивающие безопасность движения поездов, построенные на этих реле, требуют дополнительного количества других реле, необходимых для проверки функционирования основных реле, т.е. проверки соответствия положения контактов состоянию реле. Это значительно усложняет системы. Использование серебряных (или композитов на основе серебра) замыкающих (фронтальных) контактов оправдывается весьма редкими случаями их сваривания на практике.

Реле типа JRF 310-440 фирмы «Эрикссон» имеет малый вес, хорошую компоновку, легко собирается, имеет хороший доступ к контактам и их обзор. Хороший обзор контактов позволяет персоналу, обслуживающему систему железнодорожной автоматики, быстрее находить неполадки в работе систем по положению контактов и состоянию реле (под током, без тока).

К реле железнодорожной автоматики, обеспечивающим безопасность движения поездов, предъявляются особые требования в части реализации надежного функционирования. Надежное (безопасное) функционирование, как отмечалось в рекомендациях МСЖД для реле вида N, в основном обеспечивается конструкцией реле и отдельных его узлов. Надежное отпадание якоря реле в значительной степени зависит и от качества материала, из которого изготавливается магнитопровод реле. Чем ниже коэрцитивная сила и остаточная индукция материала, тем надежнее будет отпускание реле. Чем ниже коэффициент старения материала, тем реле будет иметь более стабильные параметры по срабатыванию и отпусканию.

В конструкциях отечественных реле типов НМШ, РЭЛ и Н [2] применяются магнитные системы клапанного типа (рис. 2 и 3). В клапанных электромагнитах имеется два нерабочих зазора: один – в месте крепления сердечника к ярму, другой – в месте вращения якоря реле. Для того чтобы обеспечить минимальные потери магнитного потока в этих зазорах в некоторых конструкциях реле железнодорожной автоматики, например, в реле типа НМШ [2], приняты специальные меры: увеличена площадь поперечного сечения сердечника, и производится зачистка поверхностей стыка соединения сердечника и ярма, зачистка плоскости ярма в месте вращения якоря.

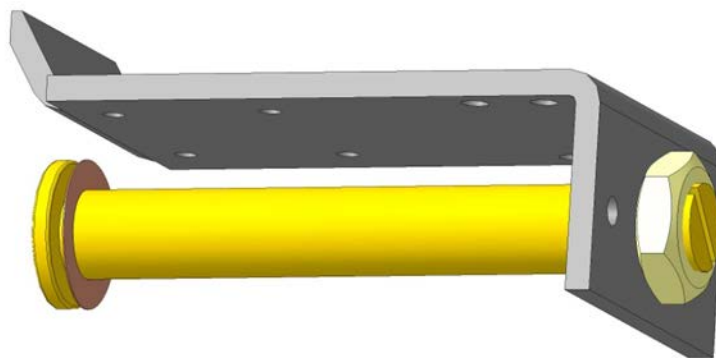


Рис. 2. Ярмо и сердечник магнитной системы реле типа Н

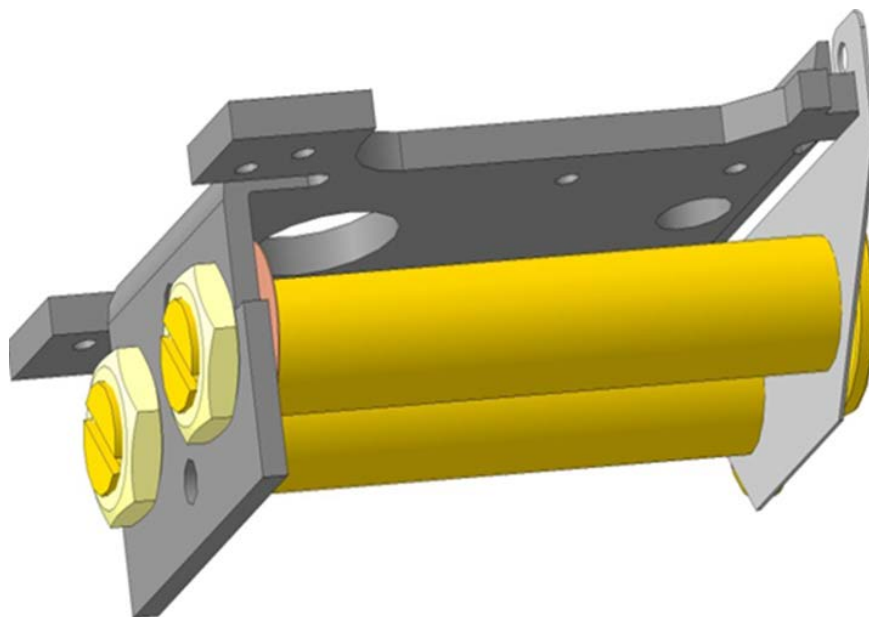


Рис. 3. Ярмо и два сердечника магнитной системы реле типа РЭЛ

В последних конструкциях реле железнодорожной автоматики, например, в реле типа РЭЛ и Н [2], с целью исключения операций фрезерования, сердечник ввинчивается в ярмо. Этот вариант соединения не обеспечивает стабильности характеристик реле, так как магнитный поток проходит по резьбе ярма, толщина которого составляет всего 3,5 мм и должна быть защищена покрытием от появления ржавчины. На стабильность характеристик влияет сила, с которой произведена затяжка соединения, толщина покрытия резьбы. Эти факторы позволяют утверждать, что не обеспечивается минимальное сопротивление магнитному потоку. Соединение такого рода, как правило, не применяется в магнитных системах реле СЦБ.

С целью повышения надежности работы, повышения виброустойчивости, технологичности изготовления и безопасного функционирования реле специалистами НТЦ «Информационные Технологии» разработано реле типа М с плоской магнитной системой для устройств железнодорожной автоматики (рис. 4).

Макетные образцы этого реле проходили испытания на виброустойчивость в испытательном центре ЛОЭТЗ ОАО «ЭЛТЕЗА», которые показали, что виброустойчивость реле типа М более чем в два раза выше виброустойчивости реле типа Н, аналога данной конструкции. Виброустойчивость реле типа М повышена за счет увеличения совместного хода контактных пластин размыкающего и переключающего контактов.

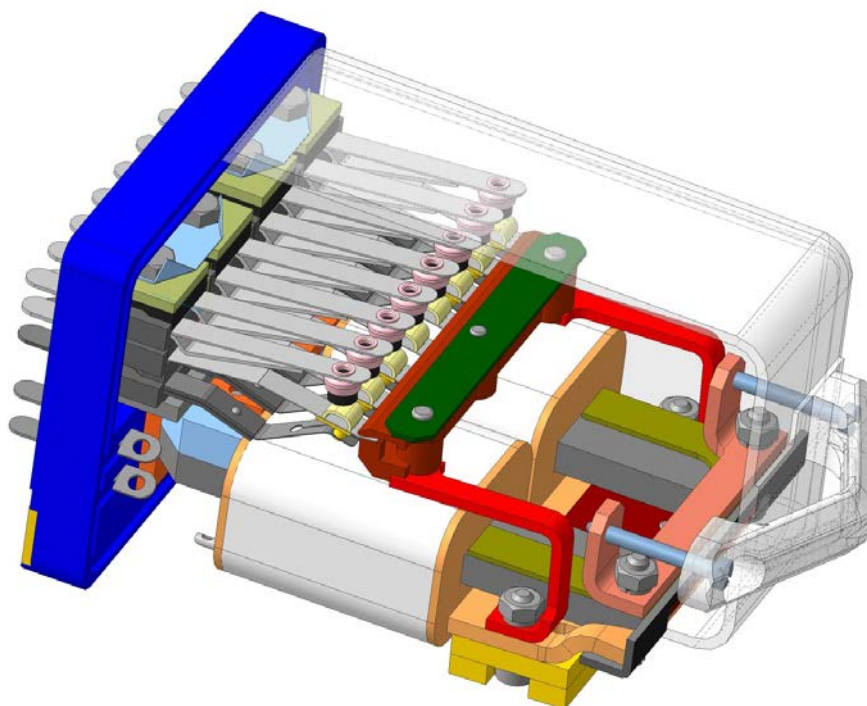


Рис. 4. Реле типа М с плоской магнитной системой

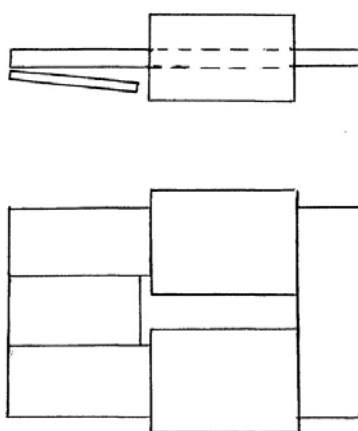


Рис. 5. Плоская магнитная система

В реле с плоской магнитной системой (рис. 5), в отличие от предыдущих конструкций, решены следующие задачи:

- Одна деталь магнитной системы – сердечник П-образной формы (рис. 6) – заменяет один круглый сердечник в реле типа Н и НМШ (рис. 2) или два в реле типа РЭЛ (рис. 3), ярмо и детали их соединяющие, требующие точного изготовления для обеспечения минимального магнитного сопротивления в нерабочих зазорах. Не требуется сборки этих деталей. В магнитной системе с плоским П-образным сердечником нет нерабочих зазоров, есть только два рабочих зазора. Это решение существенно повышает надежность функционирования за счет сокращения до минимума деталей магнитной системы.

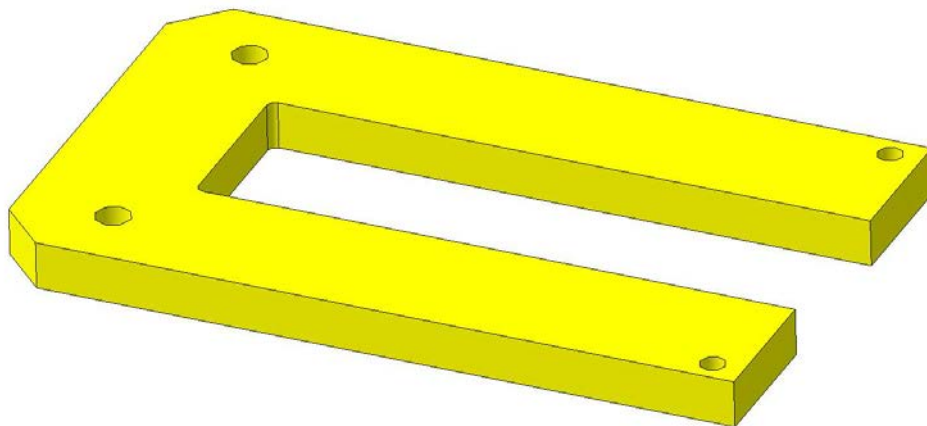


Рис. 6. П-образный сердечник плоского реле

- Исключается заклинивание якоря, которое наблюдается, например, в реле типа НМШ. Происходит это следующим образом. Между скобой, удерживающей якорь, и якорем в этом реле всегда имеется зазор  $\kappa$  (рис. 7). При притяжении к сердечнику якорь ударяется с силой о сердечник, и верхняя часть якоря смещается в сторону скобы и «затирается» под скобой. При выключении тока в обмотках якорь остается в притянутом положении. В плоском реле типа М (рис. 4) узел вращения якоря сконструирован по принципу двойной призмы.

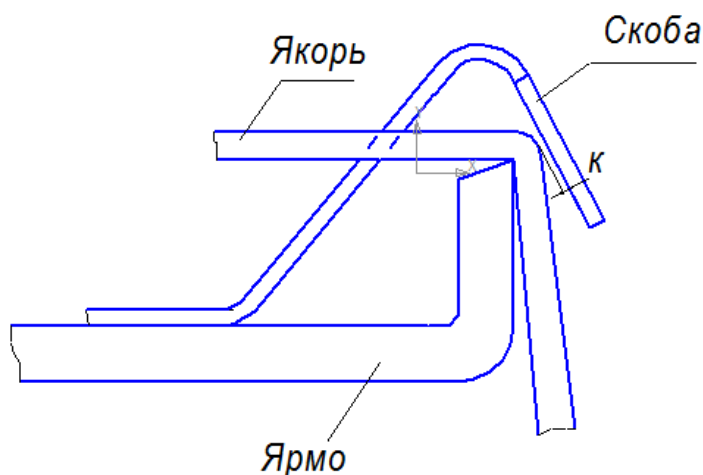


Рис. 7. Узел вращения якоря в реле типа НМШ

- Изменена кинематика работы контактных групп (рис. 8) для того, чтобы обеспечить выполнение основных требований технического задания на реле железнодорожной автоматики (реле вида N). В нем должно быть обеспечено размыкание всех размыкающих (тыловых) контактов при замыкании хотя бы одного замыкающего (фронтального) [1].

Это требование введено для того, чтобы исключить аварийные ситуации на железной дороге, которые могут возникнуть при сваривании тылового и общего контактов при отпавшем ягоре реле, а при подаче питания на реле этот контакт не разомкнется, а фронтальной этой тройника или любой фронтальной другой замкнется.

Для выполнения данного требования и предложена новая кинематика. С этой целью в конструкции реле тыловой контакт расположен под углом к горизонтали 20-40 градусов, а упорная пластина, к которой прикреплена пластина тылового контакта, выбрана такой жесткости, что не позволяет перемещаться вверх пластине тылового контакта при

сваривании серебряных тыловых и переключающих контактов при приложении усилия  $P$  к переключающему контакту от толкателя, жестко связанного с якорем. Это происходит потому, что при притяжении якоря пластина размыкающего контакта пытается вращаться по радиусу  $R2$ , а пластина переключающего (общего) контакта – по радиусу  $R1$ . В результате якорь перемещаться не может и остается на месте. Эти требования должны выполняться при подаче на обмотку реле напряжения 36 В, превышающего в полтора раза номинальное напряжение 24 В.

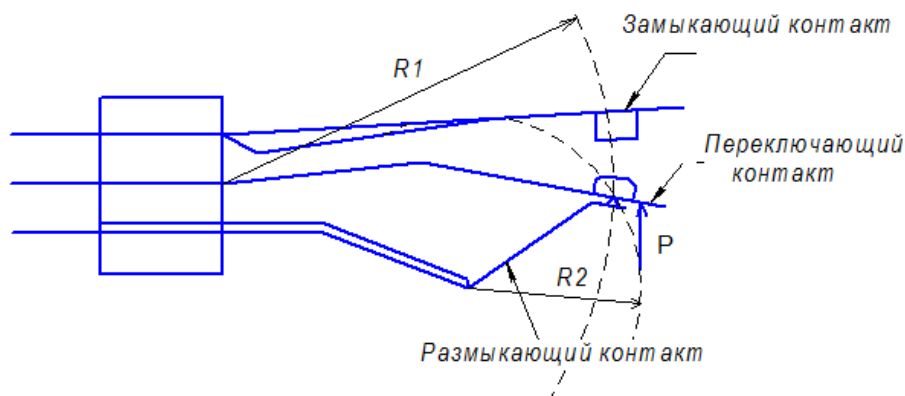


Рис. 8. Кинематика работы контактов реле с плоской магнитной системой

За счет такой кинематики выполняется одно из основных требований МСЖД, предъявляемых к реле железнодорожной автоматики по обеспечению безопасности движения поездов. Такой кинематики работы контактных групп нет в реле типов НМШ, Н, РЭЛ и других.

- Обеспечено большое скольжение тылового и общего контактов за счет изменения конструкции тылового контакта, что способствует повышению надежности работы контактов, так как будут удаляться окисные пленки на контактах.

- Улучшены условия регулировки контактов за счет новой кинематики работы контактных групп.

- Обеспечен доступ для измерения нажатия на тыловые контакты при помощи граммометра.

- Сердечник может быть набран из отдельных тонких пластин электротехнической стали для исключения его нагрева и всего реле, что позволит создать реле переменного тока без диодов, а это исключит повреждения реле из-за грозовых перенапряжений. Вибрация якоря будет исключаться использованием известных решений: применением в магнитопроводе короткозамкнутого витка или другими способами.

Простая плоская конструкция П-образного сердечника позволяет изготавливать его методом штамповки, методом порошковой металлургии и лазерной резкой из листа металла. Сердечники после изготовления подвергаются термической обработке (отжигу) в вакууме.

Тяговые характеристики электромагнитов с сердечниками, изготовленными из стали 20880 штамповкой и лазерной резкой снимались (рис. 9) при одних и тех же МДС обмотки, а именно 175 А. Якорь изготовлен из стали 10864. Электромагнитная сила измерялась при зазоре  $\delta_{cp}$  на расстоянии  $L_{cp} = L_{я}/2$  от оси вращения якоря. Сердечники и якорь были подвержены термической обработке (отжигу) в вакууме.

Тяговые характеристики  $P_{cp}(\delta_{cp})$  (рис. 10) практически не отличаются друг от друга.

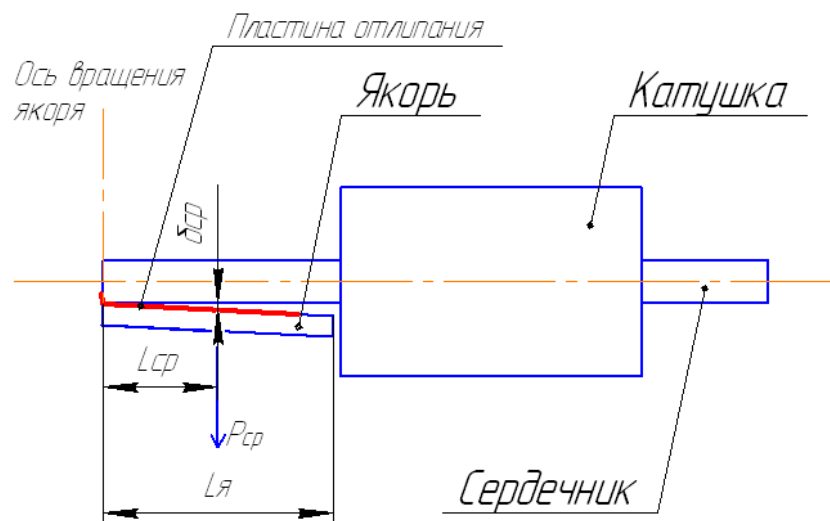


Рис. 9. Фрагмент магнитной системы плоского реле

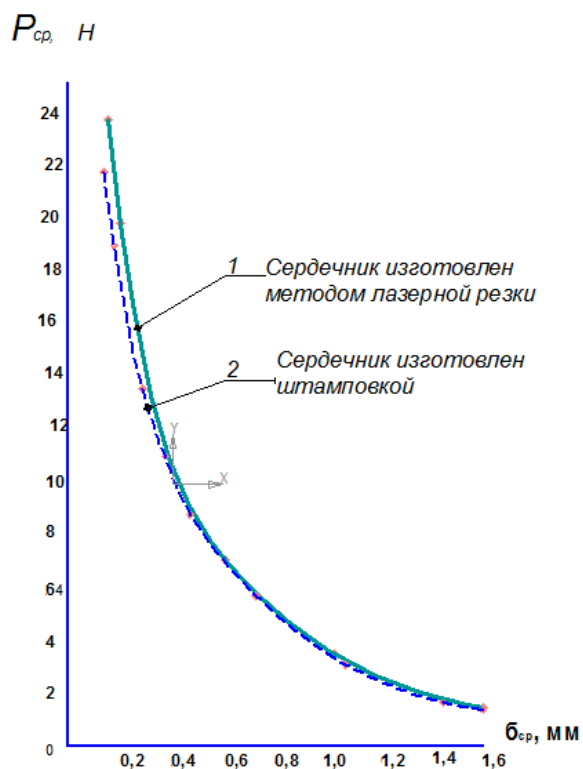


Рис. 10. Тяговые характеристики реле с плоской магнитной системой

Самая низкая стоимость сердечника получилась при его изготовлении методом порошковой металлургии. Следует отметить, что стоимость изготовления сердечника и ярма (без их сборки) типового реле автоматики (типа Н) обходится более чем в 10 раз больше стоимости изготовления плоского П-образного сердечника указанным методом.

Одним из важнейших параметров, характеризующих надежную работу реле железнодорожной автоматики, является гарантия отсутствия залипания якоря после выключения питания обмоток. Для того чтобы обеспечить это требование, необходимо реализовать комплекс мер, а именно, применять материалы для изготовления магнитных систем, обеспечивающие наименьшую остаточную суммарную намагниченность системы после выключения тока в обмотках реле, производить термическую обработку элементов

магнитопровода в вакууме или в атмосфере водорода, обеспечить достаточный зазор между якорем и сердечником.

С целью изучения данной проблемы произведены измерения остаточных магнитных потоков нейтральных реле постоянного тока почти всех поколений реле железнодорожной автоматики. На кольцевых образцах сняты кривые размагничивания различных марок сталей, применяемых для изготовления деталей магнитных систем (рис. 11). Образцы предварительно подвергались отжигу по обычной заводской технологии – в вакууме. При снятии кривых размагничивания использовался микроверметр Ф191. Разные графики (кривые размагничивания 3 и 4) стали 0501 (Э4А) получились потому, что кольцевые образцы изготавливались из разных листов и разных плавов, а это всегда разбросы параметров материала.

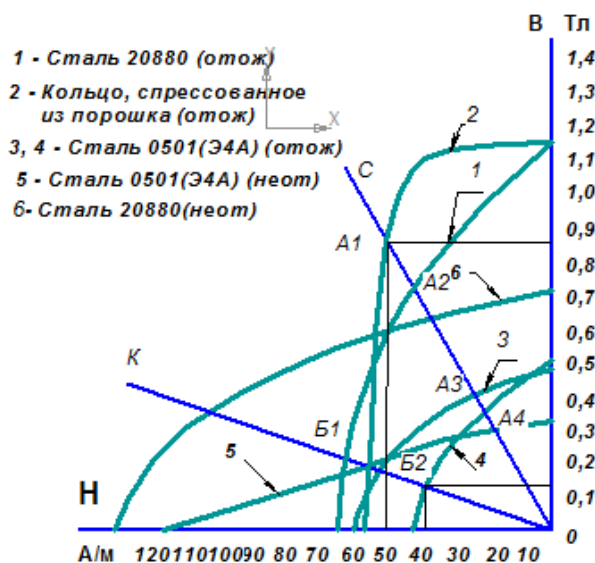


Рис. 11. Кривые размагничивания электротехнических сталей и кольца, спрессованного из порошка

Сердечник и якорь магнитопровода плоского реле после выключения тока в обмотках обладают остаточной намагниченностью, которая создает остаточный магнитный поток ( $\Phi_{ост}$ ) в рабочих воздушных зазорах электромагнита. Под действием остаточного магнитного потока в этих зазорах создается сила, которая может при определенных условиях удерживать якорь в притянутом положении, что недопустимо.

После выключения тока в обмотках сердечник и якорь обладают остаточной намагниченностью, и магнитную систему можно рассматривать как постоянный магнит. Удельная магнитная энергия постоянного магнита для определенной рабочей точки на кривой размагничивания, например, A1, A2, A3 и A4 на рис. 11, определяется по формуле [3]:

$$W = \frac{BH}{2}.$$

Магнитную энергию в рабочих воздушных зазорах электромагнита можно определить по формуле [3]:

$$W_y = \frac{BHV}{2},$$

где V – объем постоянного магнита.

Анализируя рис. 11, можно сделать вывод, что все испытанные материалы, детали из которых отождествлены по заводской технологии, могут быть пригодны для изготовления магнитопровода реле только при условии сохранения остаточных рабочих воздушных зазоров. Запасенная магнитная энергия в рабочих зазорах не должна приводить к удержанию якоря после выключения тока в обмотках. Из этих соображений, наиболее перспективной для применения в качестве магнитопровода для реле железнодорожной автоматики, обеспечивающих безопасность движения поездов, является сталь 0501 (Э4А) (кривые размагничивания 3 и 4), так как магнитная энергия, которую может запасти магнитопровод после выключения тока в обмотках, будет наименьшей.

На рис. 11 из начала координат проведены два луча ОС и ОК. Эти прямые названы линиями проводимости [4], и проводятся они под углом

$$\alpha = \arctg (\Lambda_{\sigma} l_{\text{п.м.}} / S_{\text{п.м.}} K_{\text{м.}}),$$

где  $\Lambda_{\sigma}$  – суммарная магнитная проводимость магнитной системы (с учетом проводимостей как рабочих зазоров, так и проводимостей на путях потоков рассеяния),

$S_{\text{п.м.}}$  – площадь поперечного сечения постоянного магнита,

$l_{\text{п.м.}}$  – длина постоянного магнита,

$K_{\text{м.}} = \text{mB/mH}$  – отношение масштабов по осям В и Н.

Как видно из приведенной формулы и рис. 11, чем больше рабочий зазор, тем меньше остаточная магнитная энергия в зазорах и, соответственно, меньше электромагнитная сила удержания.

Для измерения остаточного магнитного потока в рабочем зазоре магнитной системы была изготовлена измерительная катушка (рамка) длиной  $L_{\text{я}}$  (рис. 9) и шириной, равной ширине полюсного наконечника сердечника (рис. 6). Рамка помещалась в рабочий зазор  $\sigma$  между якорем и полюсным наконечником. При этом рабочий зазор в пределах области перекрытия якоря с полюсным наконечником был неизменным (якорь и полюсный наконечник располагались параллельно друг другу). Изменение потокосцепления в рабочем зазоре и, следовательно, измерение остаточного потока осуществлялось выдергиванием катушки из области этого зазора) [6].

На рис. 12 приведены зависимости остаточного магнитного потока в рабочем зазоре реле с плоской магнитной системой (рис. 5), сердечник которой изготовлен из различных марок сталей. Наиболее приемлемой для изготовления магнитопроводов реле является кремнистая сталь 0501 (Э4А), а также сердечник, склеенный из тонких листов стали Э42.

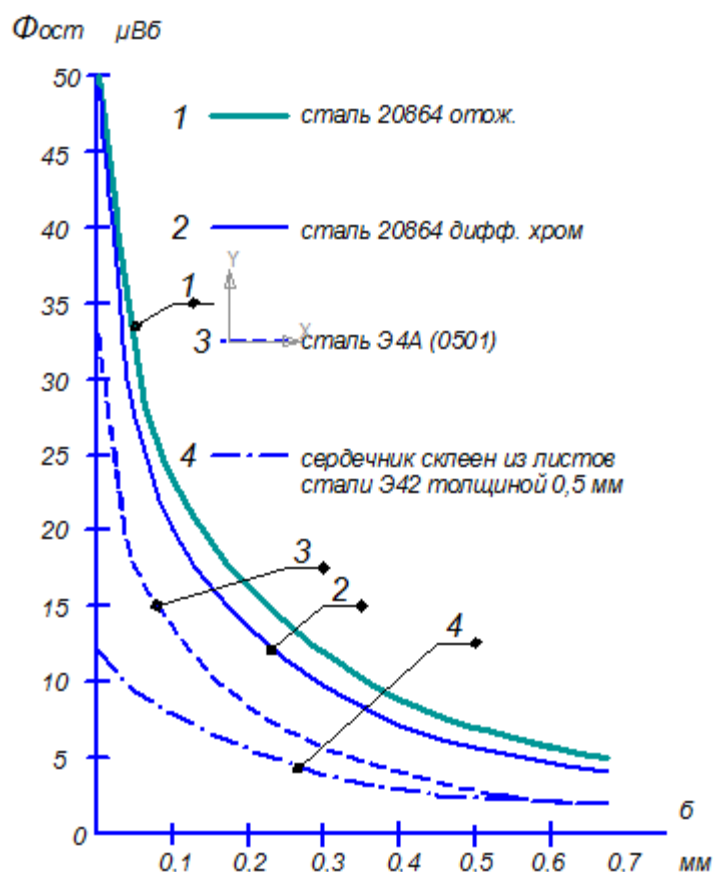


Рис. 12. Графики зависимости остаточного магнитного потока от зазора между якорем и сердечником реле с плоской магнитной системой

На рис. 12 не приведена зависимость остаточного магнитного потока магнитной системы, изготовленной методом прессования из порошков, так как не набрано достаточной статистики. Диффузионное хромирование – термическая обработка деталей (отжиг) с одновременным нанесением защитного покрытия.

Зная значение остаточного магнитного потока в зазорах, можно рассчитать силу удержания якоря и определить вес груза и силу нажатия пружины, которые необходимы для преодоления силы удержания якоря и создания необходимой силы нажатия на размыкающие (тыловые) контакты.

### Выводы

Повышение безопасного функционирования реле, обеспечивающих безопасность движения поездов (реле вида N), достигается применением новых конструктивных решений:

- благодаря использованию плоской магнитной системы за счет сокращения количества деталей и отсутствия нерабочих зазоров;
- путем совершенствования конструкции узла вращения якоря, исключающего заклинивание якоря;
- за счет применения новой кинематики работы контактных групп. Новая кинематика в случае сваривания размыкающего контакта с переключающим исключает замыкание любого замыкающего контакта [1].

В качестве магнитопровода можно использовать детали магнитной системы, полученные прогрессивным безотходным методом прессования из порошков.

Магнитные системы реле вида N с целью обеспечения безопасного функционирования должны иметь обязательно остаточный рабочий зазор, определяемый расчетным путем. Расчеты необходимо подтверждать экспериментально.

### **Литература**

1. Рекомендации МСЖД по реле постоянного тока для устройств СЦБ, 1975.
2. Сороко В.И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: НПФ «Планета», 2002.
3. Ступель Ф.А. Электромеханические реле. Основы теории, проектирования и расчета. Издательство Харьковского университета. – Харьков, 1956.
4. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов. Под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
5. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. – М.: Высш.шк., 1976.
6. Электрические измерения. Учебник для вузов. Под редакцией А.М. Фремке и Е.М. Душина. – Л.: Энергия, 1980.