

**УДК 656.25: 621.318**

Б. М. БОНДАРЕНКО – к.т.н., доцент кафедры АТС Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, bond\_16@mail.ru

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ РЕЛЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

*Статью представил д.т.н., проф. А. П. Разгонов*

**Введение**

С внедрением микропроцессорной и вычислительной техники в системах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) электромагнитные реле, в обозримом будущем, продолжат выполнять важнейшие функциональные задачи [1]. В странах СНГ в основном эксплуатируются релейные системы автоматики, реализованные на реле первого класса надежности типа НМШ или РЭЛ. Высокие требования, предъявляемые к надежности систем ЖАТ достигаются путем значительных затрат на профилактику и контроль параметров реле в ремонтно-технологических участках (РТУ) дистанций сигнализации и связи [2]. В настоящее время измерение параметров реле, особенно механических, отличается низкой точностью и высокой субъективностью, значительными затратами времени из-за большого количества ручных операций и требует снятия защитного кожуха реле. Также устаревшая технология не гарантирует безотказность реле [3].

Современная вычислительная техника позволяет усовершенствовать технологию проверки параметров реле ЖАТ за счет автоматизации процессов измерения и использования программных средств диагностики. Во многих странах, использующих электромагнитные реле в железнодорожной автоматике решаются вопросы контроля электрических и временных параметров

электромагнитных реле с помощью различных автоматических цифровых устройств и систем. Например, автоматическая тестовая система Automatic Relay Test System INDIA индийского производства, RelayPro United Kingdom производства Великобритании, автоматический программный комплекс ИАПК РТУ российского производства [4-6].

**Постановка задачи**

С использованием микропроцессорной техники остаются нерешенными задачи надежного контроля механических параметров электромагнитных реле. Сейчас для этого используются методы и технологии, разработанные в середине прошлого столетия. Причем выполнение ремонтно-профилактических работ требует высокой квалификации специалистов, выполняющих вручную основную объем технологических операций по измерению и контролю механических параметров реле. Такие работы предусматривают значительное время, в том числе разборку и сборку проверяемого прибора, не зависимо от его фактического состояния.

Новейшая технология профилактических работ на релейной аппаратуре должна включать тестовый контроль параметров электромагнитных реле и оптимизацию межремонтного периода. Эту проблему предлагается решить с применением устройств и способов для измерения и контроля электрических, временных и механи-

ческих параметров реле. Использование таких устройств и способов успешно решает поставленную проблему на основе компьютерной технологии, включающей автоматическое тестирование основных параметров реле с последующей оценкой состояния объекта и его сравнение с эталоном. Кроме того, по принятым критериям, например, по запасу ресурса, может определяться очередной межремонтный период, что позволяет перейти к более эффективному обслуживанию реле по его текущему состоянию, поскольку своевременное обнаружение дефектов экономит средства на устранение последствий отказов.

Целью статьи является информирование специалистов о разработанном комплексе для измерения и диагностики реле типов НМШ и РЭЛ и аналогичных аппаратов, с помощью многоканального автоматизированного измерительного диагностического комплекса (ИДК), который позволяет измерять в автоматическом режиме электрические, временные параметры, определять механические параметры и делать вывод об исправности реле.

### Пути решения задачи

Структурная схема ИДК представлена на рис. 1 и может перестраиваться по требованию заказчика.

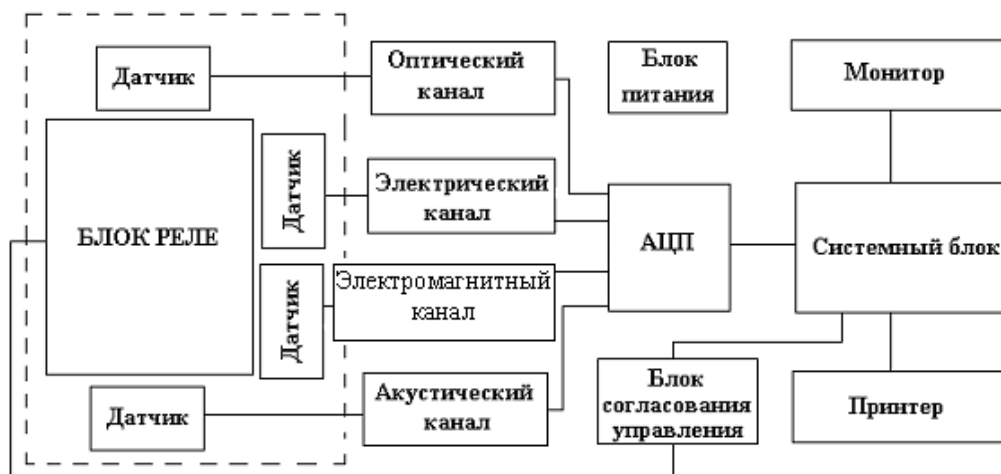


Рис. 1. Структурная схема измерительного диагностического комплекса на основе АЦП

ИДК представляет собой автоматизированное рабочее место электромеханика, регистрирующее динамические характеристики реле одновременно по четырем информационно-измерительным каналам: электрическому, электромагнитному, акустическому и оптическому без снятия защитного кожуха реле. Устройство подключается к компьютеру через USB-порт и позволяет оцифровывать аналоговые сигналы по 32 каналам с частотой дискретизации 5 кГц по каждому каналу. Динамические характеристики работы реле снимаются при помощи аналоговых датчиков, установленных вместе с блоком реле на платформе в специальной камере (на рис. 1 камера показана штриховой линией), преобразуются в цифровой код с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и передаются в компьютер для дальнейшего анализа. После этого производится программная обработка полученных данных и сравнение результатов с записанными в памяти компьютера допусками. В ИДК используется сертифицированное АЦП типа LCARD E – 140, что обеспечивает высокую степень точности результатов при минимальных затратах средств, времени и минимальных требованиях к квалификации специалистов, выполняющих эту работу.

Алгоритм роботи ІДК приведено на рис. 2. Персональний комп'ютер через блок погодження і управління забезпечує програмне управління роботою перевіряемого реле і АЦП, обробку отриманих даних, порівняння результатів з записаними в пам'яті допусками і вивід результатів перевірки реле на монітор і принтер.

По итогам такого анализа делается вывод об исправности проверяемого реле, оценка динамики изменения параметров и прогноз его состояния через определенный период времени, а также рассчитывается оптимальный межремонтный период. Данные исследований сохраняются в электронном виде в базе данных и распечатываются для документации.

Новый метод определения механических параметров для реле ЖАТ типа НМШ и РЭЛ заключается в программной обработке данных, полученных с помощью устройства ввода аналоговых сигналов в компьютер, который обеспечивает синхронную ре-

гистрацию временных диаграмм состояния контактов, а также положения якоря реле от времени  $\delta(t)$ . Определение положения якоря реле осуществляется с помощью оптического датчика [7]. Для обработки полученных данных используются численные методы, которые очень хорошо реализуются программно на современной вычислительной технике. Для определения состояния контактов и положения якоря в любой момент времени по дискретным значениям, при заданном напряжении питания, используется линейная интерполяция методом Лагранжа, которая точно проходит через узловые точки, полученные с помощью измерительного устройства. Сопоставляя положение якоря реле и временные диаграммы состояния контактов, можно определить совместный ход тыловых и фронтальных контактов, а также расстояние между фронтальными и тыловыми контактами во время перелета общих контактов в каждой контактной группе.

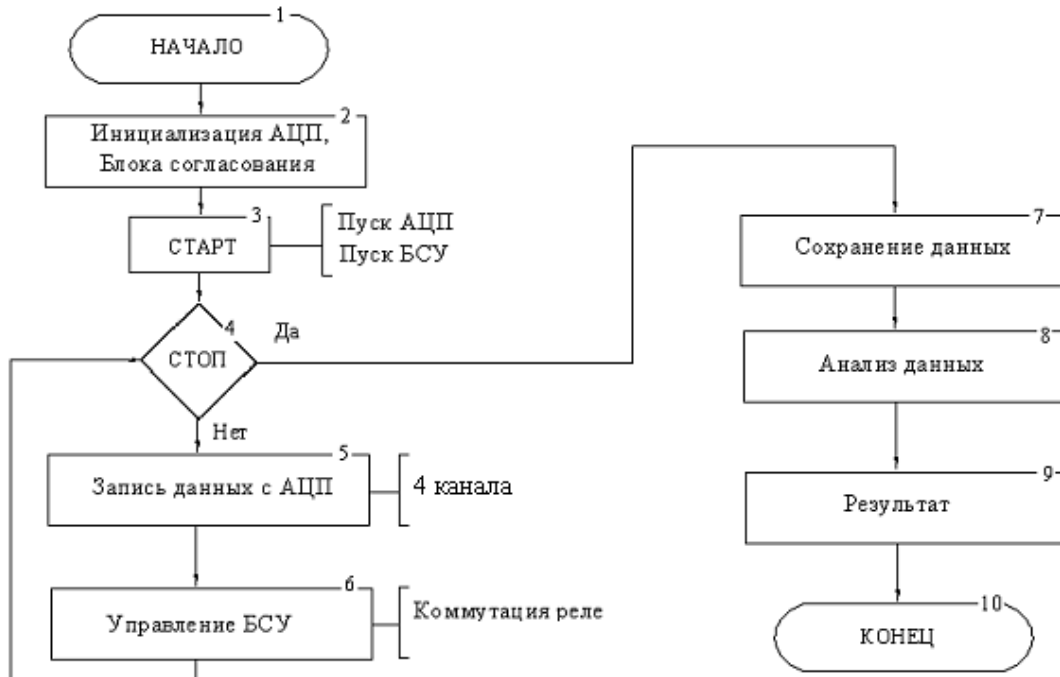


Рис. 2. Общий алгоритм работы ІДК по сбору и обработке результатов измерений

Электромагнитная сила притяжения якоря определяется из уравнений движения якоря реле:

$$F_y = m \frac{d^2\delta}{dt^2} + C \quad (1)$$

где:  $m$  – приведенная масса движущихся частей реле;  $\frac{d^2\delta}{dt^2}$  – ускорение якоря;  $C$  – жесткость контактных пружин [8].

В общем виде сила притяжения (тяги) при движении якоря электромагнита выражается известной формулой:

$$F_T = \frac{\mu_0 (Iw)^2}{2} \cdot \frac{S_\delta}{\delta^2}, \quad (2)$$

где:  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $Iw$  – намагничивающая сила создаваемая обмоткой реле;  $\delta$  – величина физического зазора;  $S_\delta$  – площадь воздушного зазора [9].

Ускорение якоря во время включения реле определяется путем вычисления второй производной функции  $\delta(t)$  методом Ридера. Чтобы дискретную зависимость  $\delta(t)$  можно было продифференцировать, она заменяется гладкой функцией с помощью полиномиальной регрессии с четвертой степенью аппроксимирующего полинома,

используя метод наименьших квадратов. Скрытый ход контактов определяется путем решения системы из  $2n$ -уравнений противодействующих сил, где  $n$  – количество контактных групп в данном реле. Зная совместный и скрытый ход каждого контакта, можно определить контактное давление.

Общий вид ИДК приведен на рис. 3. Небольшие размеры и вес ИДК, позволяют использовать его не только в условиях РТУ, но и в полевых условиях с возможностью архивации полученных данных для дальнейшего анализа и контроля специалистами.

На рис. 4 представлены диаграммы динамических характеристик, полученные с помощью ИДК и соответствующие исправной работе реле НМШ2-900 при номинальном напряжении срабатывания. В электрическом канале стенда производится регистрация тока в обмотке реле при включении и выключении – график 18, напряжения на обмотке реле – график 17, а также временные диаграммы состояния контактов реле с возможностью контроля фронтовых и тыловых контактов – графики 3-4, 7-8, 11-12, 15-16 (всего до 16 контактов).



Рис. 3. Общий вид ИДК для диагностики реле железнодорожной автоматики

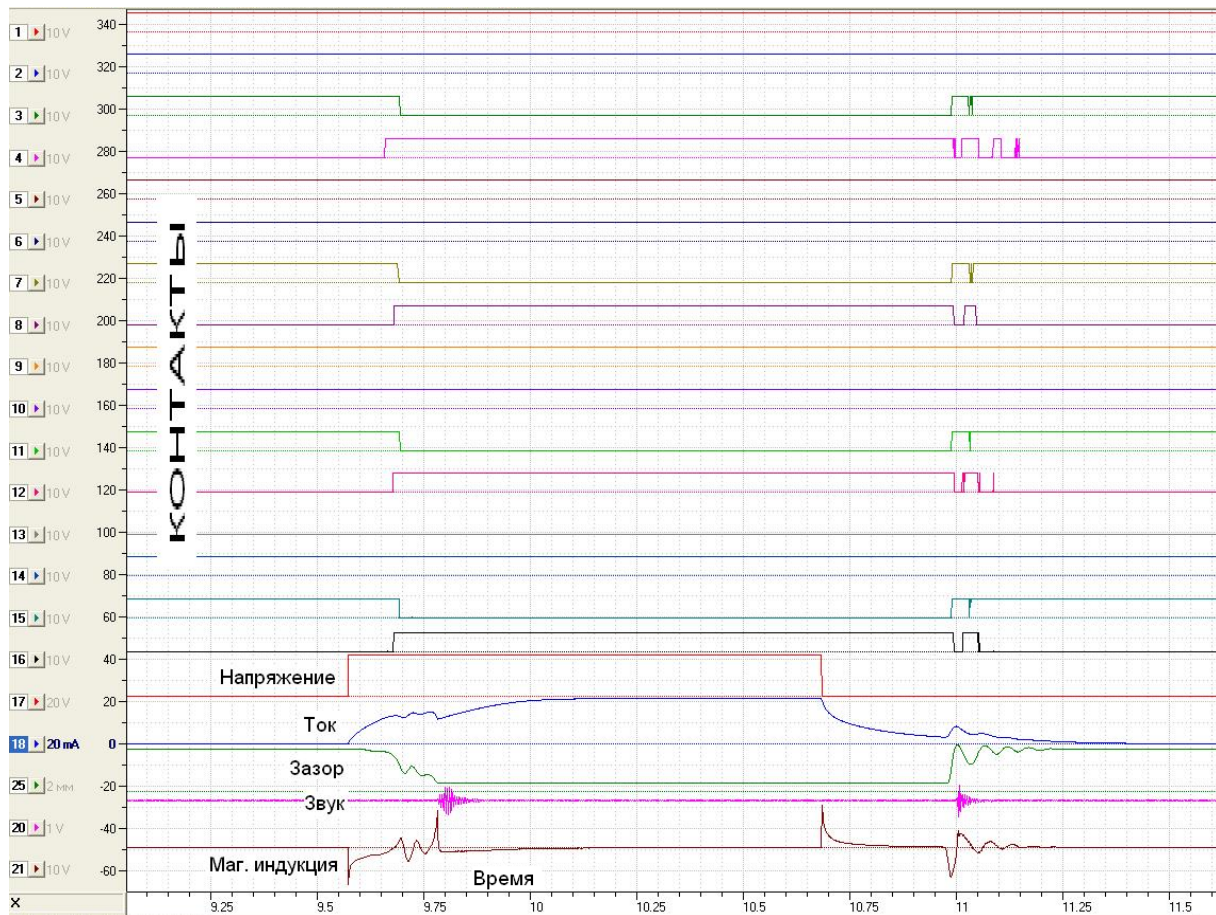


Рис. 4. Динамические характеристики работы реле НМШ2-900

Частота опроса каналов позволяет фиксировать даже длительность дребезга контактов, оценивать характер коммутационных процессов, качество контактных поверхностей и выявлять дефектные и неисправные контакты. Оптический канал производит регистрацию динамического изменения физического зазора между якорем и сердечником, характеризующее механическое перемещение якоря реле - график 25. Акустический канал регистрирует вибрацию, сопровождающую все механические перемещения, происходящие в блоке реле, и имеющую в своем составе широкий спектр и различную амплитуду составляющих акустического сигнала - график 20. Акустические диаграммы работы реле дополняют информацию, полученную в электрическом и оптическом канале. Изменение электромагнитной индукции фиксируется

индукционным датчиком (электромагнитный канал), установленным в зоне физического зазора, между якорем и полюсным наконечником - график 21. Измерения магнитного потока вдоль сердечника, а также в зазоре между якорем и полюсными наконечниками показали, что в зоне зазора наблюдается довольно значительное выпучивание магнитных силовых линий поля. Это обстоятельство послужило основанием для разработки индукционного датчика, помещенного вне кожуха реле в зоне выпучивания (рассеивания) поля вблизи зазора «якорь - полюсный наконечник».

Исследования показали, что с помощью индукционного датчика можно получить интересные нас параметры, в частности индукцию в сердечнике, как для нормальнодействующих, так и для медленнодействующих реле, момент трогания и движе-

ния якоря, тяговые усилия при заданном напряжении питания, частоту и амплитуду вибрации подвижной системы реле, время затухания колебаний, приведенную массу якоря и др.

Были проведены исследования двух конструкций индукционных датчиков для измерения параметров реле: «внешний» индукционный датчик на базе измерительной обмотки с ферритовым сердечником и «внутренний» индукционный датчик с использованием в качестве измерительной обмотки одной из обмоток проверяемого реле. После подачи тока в обмотку реле в

информационной обмотке наводится ЭДС, которое зависит от числа витков измерительной обмотки, сечения сердечника датчика и индукции потока, пересекающего витки обмотки датчика, причем эта индукция связана с индукцией поля в зазоре через коэффициент выпучивания. Проинтегрировав значение ЭДС (можно численным методом) определяют индукцию в сердечнике реле. На рис. 5 представлены сравнительные характеристики двух индукционных датчиков в сопоставлении с другими динамическими характеристиками реле НМШ2-900.

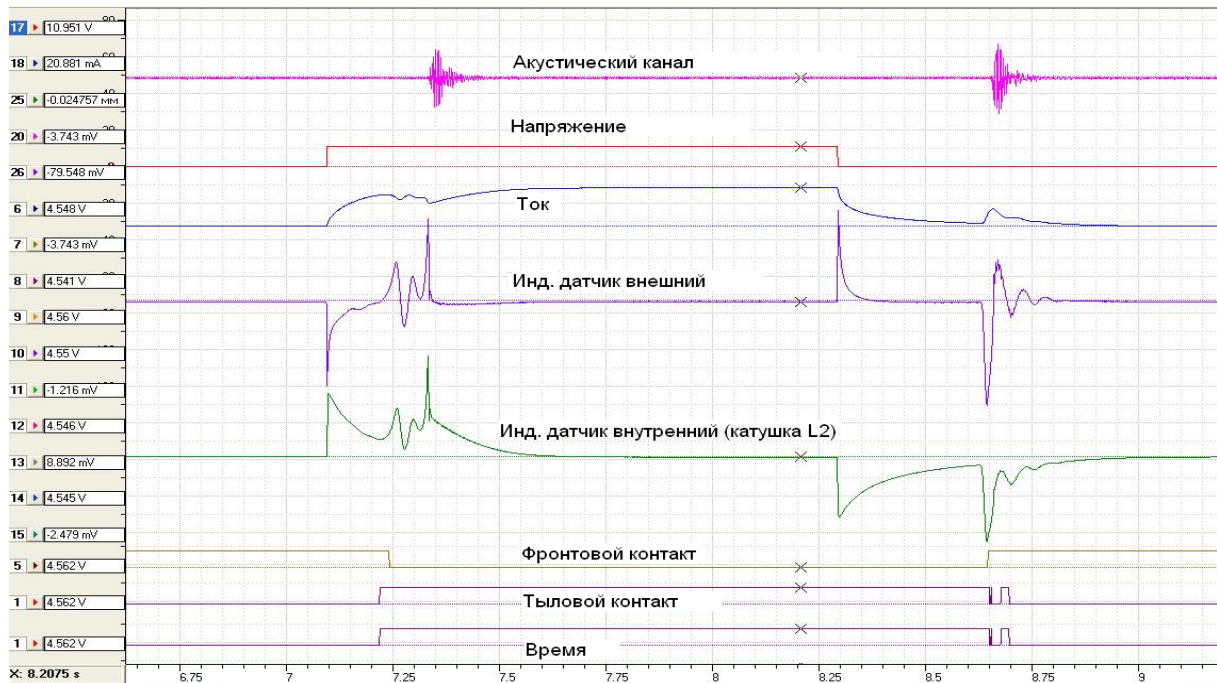


Рис. 5. Динамические характеристики изменения ЭДС магнитной индукции снаружи и внутри магнитной цепи реле НМШ2-900

Во время экспериментальных исследований «внешнего» индукционного датчика было выявлено, что в сердечнике датчика индукция достигает величин порядка 2-3 мТл, т.е. информационная составляющая потокосцепления реле и датчика составляет всего сотые доли процента от рабочего значения. Для компенсации данного недостатка и повышение коэффициента взаимоиндукции между магнитной цепью реле и из-

мерительной обмоткой датчика, была проведена тщательная оптимизация параметров измерительного датчика (подбор сечения ферритового сердечника, числа витков, выбор параметров схемы усилителя и расположения датчика в пространстве).

Исследования «внутреннего» индукционного датчика показали, что чувствительность такого датчика выше, так как он имеет коэффициент взаимоиндукции в 290 раз

больше, чем у «внешнего» датчика, что объясняется более высокой магнитной связью обмоток.

Внутренний датчик может быть успешно использован при определении таких параметров реле как момент трогания или остановки якоря, величины тяговых усилий, частоты вибрации контактов и переходного сопротивления контактов. Внешний датчик пригоден для диагностики медленнодействующего реле и токовых реле с низким сопротивлением обмоток, эксплуатационный парк которых достигает сейчас свыше 40%.

В результате исследований различных типов реле было установлено, что получение динамических характеристик реле целесообразно проводить как при рабочем токе в обмотке реле, так и при его минимальном значении, а отключение питания реле, как с помощью обрыва цепи, так и с помощью короткого замыкания обмотки. Это позволяет достовернее и глубже оценить характер коммутационных процессов в реле, что повышает качество ремонта.

На рис. 6 представлены динамические характеристики изменения величины физического зазора, зафиксированные оптическим каналом, при проверке трех реле НМШ2-900: для его исправного состояния (рис. 6, а); при износе антимагнитного штифта (рис. 6, б) и при неправильной регулировке, когда якорь зажат ограничительной скобой (рис. 6, в). Данные графики динамических характеристик позволяют провести анализ работы проверяемого нормальнодействующего реле.

На второй диаграмме видно, что уменьшился физический зазор реле (промежуток а, см. рис. 6, б) в момент нахождения реле под током. Это обусловлено износом (уменьшением) антимагнитного штифта. Кроме того, было зарегистрировано, на сколько увеличилось время трогания при отпадании якоря реле после обесточивания обмотки (промежуток б, см. рис. 6, б), это обусловлено большей удерживающей силой при меньшем физическом зазоре, за счет снижения магнитного сопротивления.

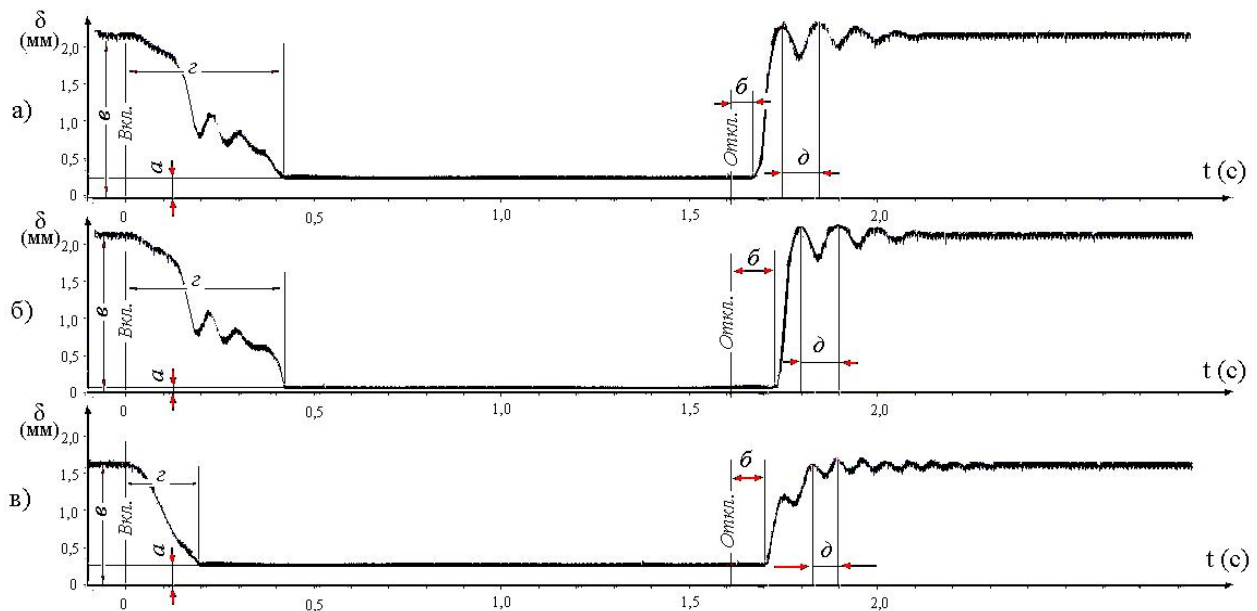


Рис. 6. Динамические характеристики изменения величины физического зазора: а – для исправного реле НМШ2-900; б – при износе антимагнитного штифта; в – якорь зажат ограничительной скобой

На третьей диаграмме показано уменьшение величины физического зазора в обесточенном состоянии (промежуток в, см. рис. 6, в). Это обусловлено соприкосновением якоря с ограничительной скобой. Кроме того, видно уменьшение времени притяжения якоря из-за меньшего физического зазора в обесточенном состоянии реле (промежуток г, см. рис. 6, в) и уменьшения периода свободных колебаний при отпадании якоря реле, обусловленное его меньшим свободным ходом (промежуток д, см. рис. 6, в).

На рис. 7 представлены динамические характеристики изменения величины тока в обмотке для исправного реле (рис. 7, а),

при износе антимагнитного штифта (рис. 7, б) и когда якорь зажат ограничительной скобой (рис. 7, в). Из второй диаграммы следует, что величина тока в точке а, имеет меньшее значение, это объясняется большей противо-ЭДС в цепи обмотки реле, из-за меньшего размера антимагнитного штифта и большей конечной скоростью якоря. На третьей диаграмме видно отсутствие, характерных для первых случаев, колебаний значения тока, это объясняется меньшей скоростью и отсутствием свободных колебаний якоря реле, из-за наличия дополнительного трения якоря об ограничительную скобу.

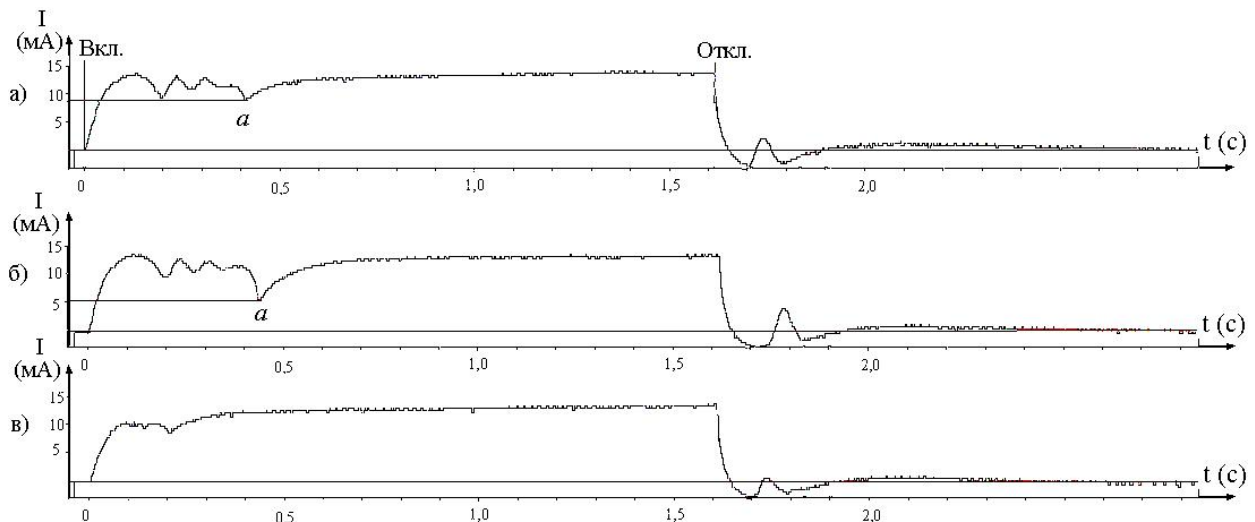


Рис. 7. Динамические характеристики изменения величины тока:

а – исправного реле НМШ2-900; б – при износе антимагнитного штифта; в – якорь зажат ограничительной скобой

### Вывод

Диагностики реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ с помощью ИДК позволяет автоматизировать измерения механических параметров реле без снятия кожуха. Погрешность вычисления механических параметров реле, при этом, позволяет использовать его на практике вместо существующей технологии проверки электромагнитных реле первого класса надежности. ИДК предоставляет возмож-

ность определять такие механические параметры реле как: высоту антимагнитного штифта, физический зазор между якорем и сердечником, совместный ход каждой группы контактов, неодновременность замыкания контактов, контактное давление - не вскрывая защитного кожуха, а также снимать все необходимые электрические и временные параметры в автоматическом режиме, что дает значительную экономию трудозатрат при входном и выходном контроле реле в РТУ. Кроме того, реализуются



умовля для оптимізації межремонтного періода, тестового контролю кожного реле і знизється залежність якості проводимих робіт від кваліфікації спеціаліста. Даний комплекс і реалізовані в ньому методи дозволяють контролювати реле залізничної автоматики по їх технічному стану з архівацією результатів цього контролю.

### Библиографический список

1. Сороко, В. И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / В. И. Сороко. – Москва: НПФ «ПЛАНЕТА», 2002 – 696 с.
2. Типовые нормы времени на проверку и ремонт аппаратуры СЦБ в РТУ Главное управление сигнализации, связи и вычислительной техники: [Нормативное производственно-практическое издание] / Ред. М. И. Ройтман – Москва: Союзбланкоиздат. 1990. — 56 с.
3. ШЦ-10/01 Аналіз експлуатаційної роботи господарства сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці за 12 місяців 2010 року. Відокремлений структурний підрозділ «Служба сигналізації і зв'язку», від 10.01.2011.
4. Vasavi Electronics. Automatic test equipment for Relay : [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.vasavi.com>.
5. Manufacture research Design. Relay Pro - Automated Relay Tester: [Електронний

ресурс]. — Режим доступу: <http://www.mrd.com.au>.

6. Росжелдор проект. Автоматизированные стенды [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://gtss.rzdp.ru/>.
7. Разгонов, А. П. Моделювання оптичних вимірів електромагнітного реле / А. П. Разгонов, В. В. Лагута, Б. М. Бондаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С. 68-73.
8. Витенберг, М. И. Расчет электромагнитных реле / М. И. Витенберг – Москва: Энергия, 1975. – 416 с.
9. Пик, Р. Расчет коммутационных реле [Текст] / Р. Пик, Г. Уэйгар [пер. с англ. В. А. Погорельского] – Москва: Госэнергоиздат, 1961. — 576 с.

**Ключові слова:** електромагнітне реле, діагностування реле, підвищення безпеки руху залізничного транспорту.

**Ключевые слова:** электромагнитное реле, диагностика реле, повышение безопасности движения железно-дорожного транспорта.

**Keywords:** electromagnetic relay, relay diagnostics, increase of railway traffic safety.

Надійшла до редколегії 21.03.2012