

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК [656.257:625.151.3]:681.518.5

С. Ю. БУРЯК^{1*}, В. И. ГАВРИЛЮК², О. А. ГОЛОЛОВОВА³, А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ⁴

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

²Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

³Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта tema_szbist@mail.ru, ORCID 0000-0003-2545-6621

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель. Значительная ответственность за безопасность движения лежит на службе сигнализации и связи железной дороги. Одними из самых уязвимых узлов (как систем автоматики, так и железной дороги в целом) являются стрелочные переводы. Целью исследования является разработка такой системы контроля и диагностики стрелочных переводов, которая в полной мере удовлетворяла бы требования современных условий скоростного движения и движения тяжеловесных поездов и производила диагностирование, сбор и систематизацию данных в автоматизированном режиме. **Методика.** Для достижения поставленной цели были осуществлены исследование строения и описание принципа работы стрелочного электропривода, последовательности срабатывания его основных узлов. В частности рассмотрены и проанализированы рабочие характеристики и параметры, условия эксплуатации, причины отказов в работе, а также требования, предъявляемые к электроприводам и технологии их обслуживания. Определялись основные принципы анализа зависимости характера изменения кривой тока, который протекает в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока. Осуществлялась техническая реализация системы контроля и диагностирования состояния стрелочных электроприводов переменного тока. **Результаты.** Исследованы сигналы, снятые с исправных и неисправных стрелочных электроприводов. **Научная новизна.** Определена строгая взаимосвязь между техническим состоянием стрелки и формой кривой, которую описывает ток в цепи электродвигателя переменного тока в процессе эксплуатации на основании исследования процессов, оказывающих на него влияние во время работы. **Практическая значимость.** Показаны принципы технического подхода касательно перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по состоянию для более объективной оценки и соответственно более быстрой реакции на возникшие или постепенно возникающие отказы, повреждения и любые другие недостатки в работе стрелочных электроприводов переменного тока.

Ключевые слова: диагностирование; электропривод; стрелка; электродвигатель; автоматизация

Введение

В настоящее время железные дороги в Украине обеспечивают львиную долю перевозок как грузовых, так и пассажирских. Больше десятка служб обеспечивают ее непрерывную работу. Только лишь от качества выполняемой ими работы, а также их точного и безупречного взаимодействия друг с другом зависит скорость и безопасность перевозочного процесса, а также сохранность грузов.

Во многих службах эксплуатируется большое количество оборудования и аппаратуры, которое кроме того, что изношено физически, так же и морально устарело. К этому негативно-му фактору можно добавить и настоящее выполнение технологического процесса согласно графику планово-предупредительного ремонта, который во многих случаях изжил себя, но ничего лучшего взамен до сих пор не внедрено. Согласно ему производится регулярная проверка состояния различных устройств, узлов, агрегатов с устранением возникших неисправностей, дефектов или повреждений на месте. К сожалению, такая система нашла широкое применение более полувека назад, а введена была намного раньше, поэтому она не может обеспечить в настоящее время в полной мере надежной работы и состояния объектов. Это связано в первую очередь со значительно возросшим количеством пар поездов в сутки, увеличенной скоростью их движения и весом перевозимых грузов.

Большая ответственность за безопасность движения лежит на многих службах железной дороги. Одной из которых является служба сигнализации и связи. Именно она обеспечивает выполнение всех условий безопасности при интервальном регулировании движения поездов на перегонах и систем электрической централизации на станциях.

Одним из самых уязвимых узлов, как систем автоматики, так и всей железной дороги в целом, являются стрелочные переводы. Стрелочный перевод очень ответственный узел, который имеет довольно сложное строение, и служит для перевода подвижного состава с одного пути на другой в пределах одной станции или раздельного пункта. От правильности работы и исправности стрелочных переводов зависит не только график выполненного движения, но и его безопасность.

Стрелочные переводы, являющиеся неотъемлемой частью железнодорожной инфраструктуры, представляют один из слабых компонентов пути. Они сложны, подвержены отклонениям геометрических параметров и повреждениям в эксплуатации, поскольку их конструкция включает движущиеся части и крестовину, на которые воздействуют высокие динамические нагрузки. Это повышает стоимость их технического обслуживания и ремонта, обуславливает высокие расходы на текущее содержание пути. С отказами стрелочных переводов, наиболее характерными из которых является неправильное положение остряка и замыкание рельсовых цепей, связаны частые нарушения движения поездов.

Цель

Проверка стрелочных переводов осуществляется в настоящее время при помощи ручных методов измерений и контроля параметров сотрудниками службы сигнализации и связи. Данный способ не может обеспечить необходимой точности и не может дать гарантий, что в промежуток времени между очередными проверками не случится повреждений. Кроме этого присутствует человеческий фактор, на который влияют как погодные условия, так и опыт работы сотрудника, его физиологическое, морально-психологическое состояние и т.д.

Нужно разработать такую систему контроля и диагностики стрелочных переводов, которая в полной мере бы удовлетворяла требованиям современных условий скоростного движения и движения тяжеловесных поездов и производила диагностирование, сбор и систематизацию данных в автоматизированном режиме. Есть большая необходимость внедрять подобного рода системы на станциях с централизованным управлением стрелок. Питание двигателей стрелочных электроприводов при этом осуществляется либо постоянным, либо переменным током с одной панели питания.

Ток, протекающий в рабочей цепи электропривода, изменяется как во временной, так и в частотной областях. Это изменение зависит от того, в каком состоянии находится стрелочный перевод, его основные части и узлы, а также сам электродвигатель. По изменению его амплитудных и частотных составляющих можно делать вывод о его состоянии в данный мо-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

мент, т.е. текущий момент перевода. Далее необходимо собирать и накапливать подобным образом полученную информацию о каждом из действующих на станции приводах. Систематизируя и анализируя накопленные данные о работе стрелочных приводов можно отслеживать характер их изменений и принимать соответствующие меры по устранению, как только возникших, так и постепенно развивающихся отказов.

Методика

Для начала проведения исследования необходимо поставить задачу исследования. Для этого выясним, каким именно образом мы будем определять те или иные неисправности стрелочного перевода. Также нужно определить, на основании каких показателей можно будет в дальнейшем делать вывод об исправном или неисправном состоянии стрелочного перевода.

Итак, суть данного способа заключается в следующем. Выбирается стрелочный перевод конкретного типа, техническое состояние которого соответствует требованиям к содержанию напольных устройств данного типа, предъявляемым инструкциями по эксплуатации. При этом установленный на нем электропривод также не должен иметь каких-либо отклонений от норм всех технических показателей, определяемых проектной документацией и инструкциями. Кроме этого ни стрелочный перевод, ни стрелочный электропривод не должны содержать не типовых элементов, устройств и приспособлений. Башмаки должны быть смазаны, а основание остряков плотно прилегать к ним по всей длине, в редукторе залито масло до необходимого уровня, корень остряков не должен иметь плотного зажатия, а сам электропривод должным образом размещен и закреплен на стрелочном переводе. Для высокой достоверности проводимых измерений состояние всех частей, узлов и оборудования стрелочного перевода должно в точности соответствовать всем требованиям инструкций, а также правилам выполнения всех условий технической эксплуатации.

Несмотря на различия, каждый стрелочный электропривод имеет одни и те же функциональные узлы, среди которых: источник механической энергии – электродвигатель; усилитель вращающего момента электродвигателя и преобразователь его вращательного движения в поступательное движение переводных тяг –

редуктор; фрикционное сцепление (фрикцион) – тормоз, который обеспечивает защиту электродвигателя от перегрузок и торможение вращающихся частей привода в конце перевода стрелки; блок контроля положения стрелки и подготовки цепи реверсирования привода и включения привода спаренной стрелки – автопереключатель.

С целью ознакомления и дальнейшего изучения стрелочного электропривода как объекта исследования, приведем строение и опишем принцип его работы по примеру электропривода типа СП-8. Электропривод (рис. 1) состоит из: корпуса 1, электродвигателя 10, редуктора 8, блока главного вала с автопереключателем 6, уравнивающей муфты 12, шибера 3, контрольных линеек с приварными ушками 4, обогревательного элемента 14, в качестве которого использованы проволочные эмалированные резисторы типа ПЭВ-25-56±10, панели освещения 13, зубчатого колеса с упором 7, направляющей плиты 2, кожуха 5. Вал электродвигателя 10 имеет на одном конце квадратный хвостик для присоединения рукоятки ручного перевода привода вручную, а на другом конце вала на шпонке укреплен специальная муфта 12, которая одновременно соединяется с валом-шестерней редуктора 8. Вал-шестерня и зубчатое колесо находятся в зацеплении через промежуточную пару (вал-шестерня и зубчатое колесо – на одной оси). Вал-шестерня, располагаясь на одном валу с зубчатым колесом, находится в зацеплении с упором зубчатого колеса на главном валу. Упор зубчатого колеса заходит в вырез диска главного вала.

Шибера шестерня выполнена как одно целое с главным валом. Она имеет два запорных и пять рабочих зубьев. Зубья шестерни входят в зацепление с зубьями шибера, на котором имеется четыре рабочих и два специальных запорных зуба.

Контрольные линейки 4 имеют вырезы, в которые попеременно, при ходе их вместе с остряками стрелок, западают зубья рычагов. Контрольные линейки соединены между собой планкой. В корпусе электропривода, в местах выхода рабочего шибера и контрольных линеек, для предохранения от проникновения внутрь него воды и песка устанавливаются уплотнения из войлока. Закрывается электропривод сварной стальной крышкой. Запирается электропривод изнутри спе-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ціальним замком. Внутрі електропривода установлен кривельний выключатель 11, блокувальні контакти которого выключають рабочую цепь и обогривательні елементи в момент откриття заслонки для откриття крышки привода.

Работа стрелочного електропривода в нормальном режимі експлуатації состоїть із наступних етапів: пускового, отпирания, рабочего хода, запирания и контроля.

Изучим подробнее последовательность, в которой протекает работа стрелочного электропривода.

Пусковой этап работы электропривода начинается со срабатывания прибора, включаю-

щего электродвигатель, вал которого начинает свободное вращение или холостой ход. Во время холостого хода автопереключатель выключает контрольное реле, сигнализируя о начавшемся переводе стрелки, и подготавливается цепь реверсирования.

На следующем этапе, этапе отпирания стрелки, в приводе с внутренним запиранием оно происходит в его механизме, а при внешнем запирании – непосредственно на стрелке. Поскольку электропривод типа СП-8 с внутренним запиранием, то отпирание на втором этапе срабатывания стрелки происходит в его механизме.

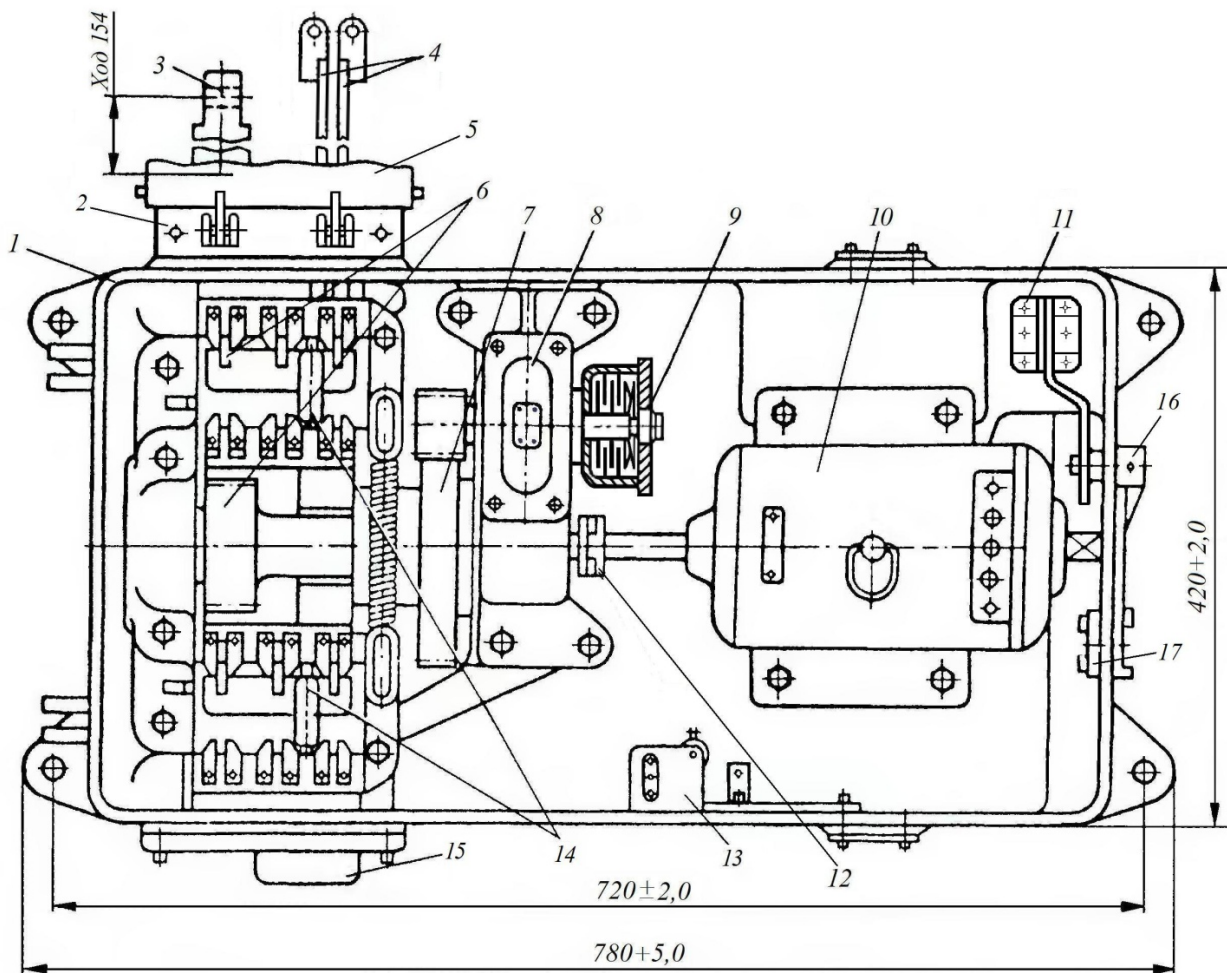


Рис. 1. Стрелочный электропривод типа СП-8:

1 – корпус электропривода; 2 – направляющая плита; 3 – шибер; 4 – контрольные линейки с ушками; 5 – кожух; 6 – блок главного вала с автопереключателем; 7 – зубчатое колесо с упором; 8 – редуктор; 9 – фрикцион; 10 – электродвигатель; 11 – многоконтактное блокировочное устройство; 12 – уравнивательная муфта; 13 – панель освещения; 14 – обогреватели контактов автопереключателя; 15 – боковая крышка; 16 – блокировочное устройство; 17 – замок привода

Fig. 1. Electric turnout type SP-8

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

За отпиранием следует рабочий ход электропривода. При этом шибер 3 (рис. 1), соединенный с рабочей тягой при помощи муфты Гука, толкает или тянет ее в зависимости от направления перевода стрелки. Рабочая тяга воздействует через детали крепления на связную тягу (первую соединительную тягу), заставляя ее двигаться вместе с прикрепленными к ней остриями стрелки. При этом рабочая тяга выступает передаточным звеном между подвижными рабочими частями электропривода и ведомыми частями стрелки. К каждому острию присоединена собственная контрольная тяга, которая во время перевода стрелки перемещается вместе с ним. Контрольные тяги соединены с контрольными линейками и предназначены для соединения и передачи фактического расположения остриев стрелочного перевода. Таким образом, контрольные тяги выполняют посредническую роль между остриями стрелок и контрольными линейками, которые определяют положение остриев как узлы контроля стрелочного электропривода. В конце рабочего хода стрелка занимает новое крайнее положение.

Предпоследний этап – запираение стрелки – осуществляется посредством введения в зацепление зубьев-кулачков шибера 2 и шестерни главного вала 4 (рис. 2).

Заключительный этап – получение сигнала контроля крайнего положения стрелки и выключение двигателя [7].

После выключения электродвигателя кинетическая энергия якоря и других вращающихся масс электропривода гасится фрикционным тормозом. Если электродвигатель в конце перевода не выключился, то привод начинает работать на фрикцию. Это длится до тех пор, пока он не будет выключен или возвращен в исходное положение поворотом рукоятки на центральном посту или автоматическим устройством, срабатывающим по истечении 8–10 с при ЭЦ и ДЦ и 1,2 с при ГАЦ, или пока не перегорит предохранитель в рабочей цепи [4].

Для того, чтобы перейти к определению диагностических признаков, приведем рабочие характеристики и параметры исправного стрелочного перевода и установленного на нем оборудования, а также нормальные условия их эксплуатации.

К основным характеристикам электропривода типа СП-8 относятся: максимально разви-

ваемое тяговое усилие 6 000 Н, максимальное время перевода 7 с, электропитание переменным током при номинальных напряжениях 110 В и 190 В, габаритные размеры 780×955×255 мм, масса 165 кг, установка с правой или левой стороны стрелки.

Ток при работе электродвигателя на фрикцию должен быть на 25–30 % выше тока, потребляемого при нормальном переводе. Электропривод без нагрузки на шибере разрешается включать кратковременно не более чем для пяти переводов. Механическая передача электропривода типа СП-8 четырехкаскадная (две цилиндрические зубчатые пары в закрытом редукторе и две вне его) с общим передаточным числом – 70,5.

Сопротивление изоляции между контактными зажимами электродвигателя, контактами колодок и корпусом привода при температуре (+ 25±10) °С и относительной влажности окружающего воздуха до 80 % должно быть не менее 25 МОм, свыше 80 % – не менее 10 МОм. Глубина врубания ножей автопереключателя между контактными пружинами 9–11 мм.

Средняя наработка на отказ электропривода СП-8 составляет $6,2 \cdot 10^5$ переводов рабочего шибера. Назначенный ресурс (суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния) при условии соблюдения правил эксплуатации составляет $1 \cdot 10^6$ переводов рабочего шибера при нагрузке до 3,5 кН (350 кгс) и $5 \cdot 10^5$ переводов при нагрузке на шибере 6 кН (600 кгс). Для обеспечения безотказной работы электропривода в пределах назначенного ресурса необходимо производить замену пружин, колодок с ножами и колодок контактных через 500 тысяч переводов, а также замены электродвигателей в соответствующие сроки. Средний же срок службы до списания электропривода, исходя из назначенного ресурса, составляет около 20 лет.

Все трущиеся поверхности деталей привода смазывают, а редуктор заливают промышленными маслами ИС-12, ИС-20 или ИС-45. Диски фрикции смазывают смазкой ЦИАТИМ-201.

Электроприводы надежно работают при температуре от – 40 до + 50 °С.

Для того, чтобы иметь представление о признаках неисправностей стрелочных электроприводов, рассмотрим причины отказов в их работе.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

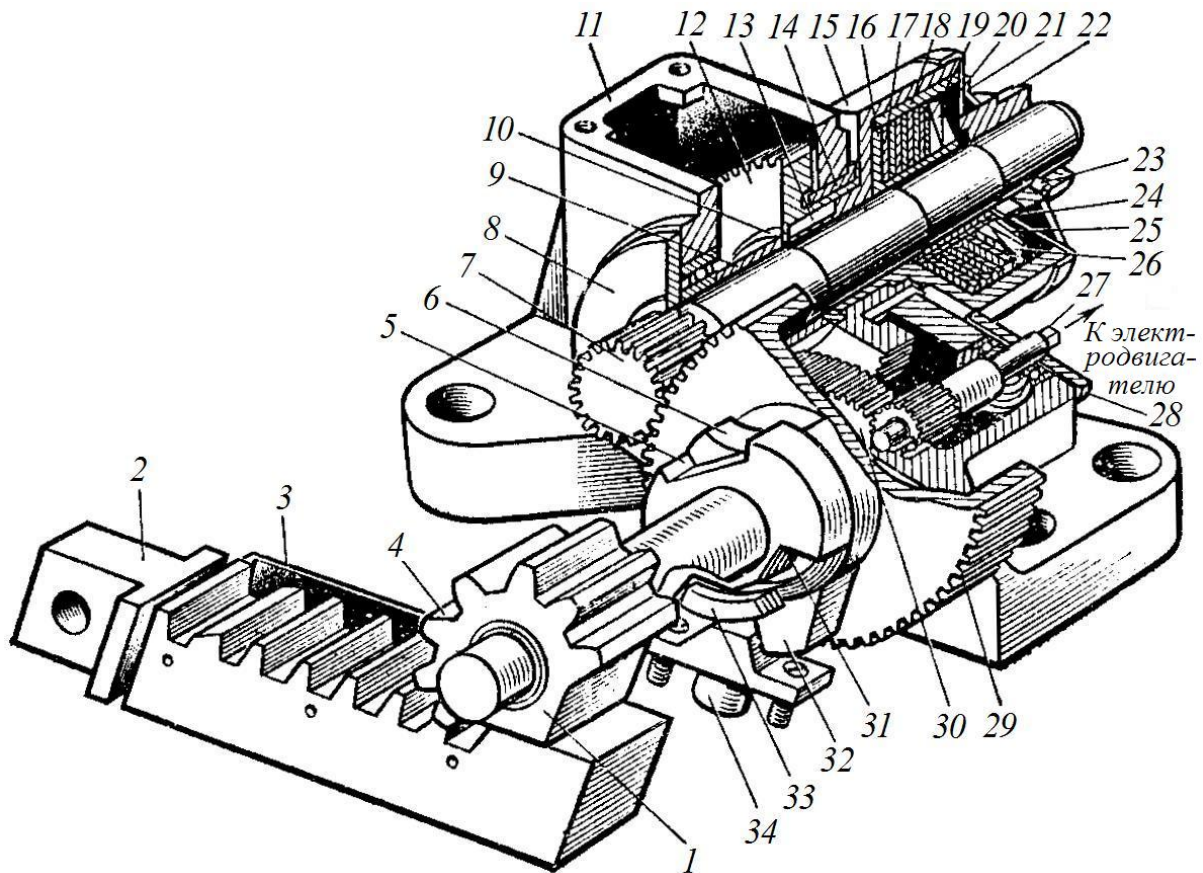


Рис. 2. Передаточный механизм привода типа СП-8:

1 – ограничитель поворота; 2 – зубчатая рейка-шибер; 3 – стенка масляной ванны, прикрепленная винтами с потайными головками к шиберу; 4 – главный вал-шестерня с пятью рабочими и двумя запирающими зубьями; 5 – шайба главного вала с угловыми вырезами для обеспечения мгновенности западания переключающего рычага и дополнительного запирания им главного вала; 6 – радиальный вырез на выступающей цилиндрической части; 7 – выходной вал-шестерня редуктора; 8 – задняя крышка редуктора; 9 – распорное кольцо; 10 – шайба, предотвращающая выпадение шпонок;

11 – корпус редуктора; 12 – зубчатое колесо; 13 – шпонки; 14 – подшипник скольжения; 15 – корпус фрикциона; 16 – стальная втулка; 17 – подвижные диски; 18 – шпонка; 19 – стальные диски; 20 – три тарельчатые пружины, сжимающие набор дисков фрикциона; 21 – шайба, прикрепленная точечной сваркой к крышке фрикциона; 22 – гайка, регулирующая нажатие трех тарельчатых пружин; 23 – стопорный винт, предотвращающий самоотвинчивание гайки тарельчатых пружин; 24 – шпонки; 25 – предохранительная шайба гайки тарельчатых пружин; 26 – пружины, прижимающие подвижные диски фрикциона к неподвижным; 27 – входной вал-шестерня редуктора; 28 – передняя крышка редуктора; 29 – зубчатое колесо; 30 – зубчатое колесо; 31 – шайба главного вала с угловыми вырезами для обеспечения холостого хода привода; 32 – трапециевидный выступ на ступице зубчатого колеса; 33 – выступ на выступающей цилиндрической части; 34 – запрессованный в корпусе привода упор

Fig. 2. Drive transfer mechanism type SP-8

Наиболее характерными причинами отказов в работе электропривода являются:

- повреждение редуктора;
- нарушение работы фрикционного сцепления;
- заклинивание шибера с рабочей шестерней;
- разрегулировка контрольных тяг;
- подгар или нарушение регулировки контактов автопереключателя;
- индивение или обледенение контактов автопереключателя;

- излом контактов автопереключателя;
- излом шлифта и выпадение валика;
- прочие отказы.

Наибольшее число отказов приходится на потерю контакта в автопереключателе зимой и связано с индивением контактов. Для предотвращения таких случаев предусмотрены различные защитные меры (графитовая смазка, смазка глицерином, обогрев, специальные насечки на ножах, закрытие оргстеклом и др.). Если кон-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

тактное нажатие автопереключателя больше нормы, то при размыкании контактов это создаст дугообразование при разрыве рабочих контактов и их подгар. Если же контактное нажатие меньше нормы, то возможно нарушение электрической цепи, особенно в период индивения.

Излом колодочки автопереключателя происходит обычно из-за неправильной регулировки врубания ножей, разбивающих колодочки. Излом контакта автопереключателя может быть из-за неправильной регулировки контактов (загнутые концы контактных пружин должны находиться на одной прямой без перегибов). Излом может произойти также ввиду частой регулировки контактной губки.

Причинами недостаточного врубания ножей автопереключателя могут быть следующие неисправности:

- кулачок автопереключателя упирается в контрольную линейку вследствие неправильной ее регулировки. Обнаружить это можно нажатием на контрольную тягу. Контрольная линейка, препятствующая западанию кулачка, в этом случае будет перемещать ножи автопереключателя;

- палец ползуна, на который опирается замыкающий рычаг, находится ниже поверхности барабана из-за ослабления крепящих болтов или нарушений его размеров.

К требованиям по эксплуатации стрелочных электроприводов можно отнести следующее. Электрическое сопротивление изоляции между токоведущими частями, соединенными между собой и корпусом электропривода, не должно быть менее 100 МОм в нормальных климатических условиях и 0,5 МОм – при температуре + 30 °С и относительной влажности воздуха 98 %.

Электрическая прочность изоляции электропривода в нормальных климатических условиях должна выдерживать в течение (60±5) с действие испытательного напряжения переменного тока частотой 50 Гц от источника мощностью не менее 0,5 кВА, приложенного между клеммами электродвигателя, контактными колодками, соединенными между собой, и корпусом электропривода без пробоя и явления поверхностного перекрытия 1 500 В.

При вращении входного вала редуктора ручьячкой ручного перевода не должно быть толчков и заеданий шестерен и колес.

В собранном электроприводе при передвижении шибера из одного крайнего положения

в другое пружины автопереключателя должны обеспечивать размыкание ножей с пружинами контактных колодок.

Врубание ножей в контактные пружины должно быть на глубину не менее 9 мм. При врубании ножей рессорные пружины контактных колодок должны отжиматься в пределах 0,5–1,4 мм. Отжим пружин должен быть равномерным.

При взрезе стрелки или сближении остряка (вследствие деформации тяг от ударов и т. п.) рычаги с колодками контактных ножей в электроприводе, опираясь на верхнюю плоскость контрольных линеек, должны занять среднее положение и разомкнуть контакты. При этом зазор с каждой стороны между ножами и контактными пружинами должен быть не менее 2,5 мм.

При повороте заслонки вниз контактные ножи блок-контактов должны полностью разомкнуть блокировочные контакты. При повороте заслонки вверх после нажатия на блокировочную собачку контактные ножи должны врубаться в блокировочные контакты. Отжатие контактных пружин при этом должно быть равномерным.

Расстояние между открытыми токоведущими частями и любой неизолированной деталью электропривода не должно быть менее 6 мм.

Электропривод имеет уплотнения по контуру крышки, в местах выхода шибера, контрольных линеек и отверстий, перекрываемых заслонкой (под ключ и курбель). Крышка электропривода запирается замком, который при воздействии поперечных усилий не более 300 Н и вертикальных не более 400 Н не должен отпираться.

Электропривод должен обеспечивать потерю контроля положения стрелки:

- при рассоединении одной из контрольных тяг с остряком и последующем переводе стрелки, а также возвращении стрелки в исходное положение;

- при вытягивании контрольной линейки ближнего остряка из корпуса электропривода на величину 10–210 мм;

- при изгибе контрольной тяги дальнего остряка и вытягивании при этом линейки дальнего остряка из корпуса электропривода на 25–110 мм независимо от положения линейки ближнего остряка и на величину 25–210 мм, если при этом одновременно вытягивается ли-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

нейка ближнього остряка из корпуса электропривода на величину 10–210 мм. При переводе после этого стрелки в другое крайнее положение (шибер выдвинут) контроль положения стрелки должен отсутствовать, если суммарное вытягивание линейки дальнего остряка из корпуса составляет 185–360 мм.

Электропривод в положении «шибер выдвинут» должен обеспечивать потерю контроля положения стрелки при частичном втягивании (вталкивании) линейки дальнего остряка в корпус на величину 10 мм и более – до упора ушка линейки в направляющую плиту электропривода.

Электропривод должен обеспечивать потерю контроля положения стрелки при сближении остряков (вследствие деформации тяг от ударов и т.д.). Величина перемещения контрольной линейки от момента упора ее в заднюю поверхность зуба контрольного рычага до размыкания контактов должна быть не более 14 мм.

Электропривод СП должен обеспечивать круглосуточную работу и быть ремонтнопригодным при эксплуатации до предельного состояния, то есть до наработки назначенного ресурса.

Технология обслуживания централизованных стрелок включает в себя наружную проверку состояния приводов и стрелочных гарнитур централизованных стрелок, которую выполняют два раза в неделю на стрелках, участвующих в маршрутах приема и отправления, и не реже одного раза в неделю на остальных стрелках [8, 9, 10].

При этом проверяют: плотность прижатия остряка к рамному рельсу без перевода стрелки; надежность и правильность крепления привода, гарнитур, контрольных и рабочих тяг; отсутствие видимых трещин и вмятин на корпусе привода, фундаментных и крепежных угольниках, продольной связной полосе, рабочих и контрольных тягах; шплинтов и закруток в болтах и валиках; отсутствие препятствия в шпальном ящике для движения тяг. Особое внимание обращают на наличие и исправность стопорных планок. При осмотре необходимо обращать внимание на недостатки стрелочного перевода, которые могут нарушить нормальную работу электропривода.

Плотность прижатия остряка к рамному рельсу, стрелок при закладке шаблона толщиной 4 мм и запираение стрелок при закладке

шаблона 2 мм проверяют один раз в неделю на стрелках, входящих в маршруты приема и отправления, и один раз в две недели на остальных стрелках.

При закладке шаблона толщиной 4 мм между остряком и рамным рельсом стрелка не должна замыкаться и давать контроль окончания перевода, т. е. электропривод должен продолжать работать на фрикцию; при закладке шаблона толщиной 2 мм стрелка должна переводиться и давать контроль окончания перевода, при этом шибер не должен заклиниваться.

При внутренней проверке электропривода с переводом стрелки, производимой один раз в четыре недели, проверяют: состояние и крепление внутренних частей привода; состояние монтажа и его крепление; правильность регулировки контрольных тяг; состояние коллектора и щеткодержателей двигателя; уровень масла в редукторе электропривода СП; уплотнения привода; работу блокировочной заслонки и действие замка; состояние контактов и врубание ножей автопереключателя; взаимодействие частей электропривода и работу автопереключателя.

При внутренней проверке стрелочной коробки и муфты УПМ, производимой один раз в 3 месяца, проверяют: монтаж; исправность реверсирующего реле; состояние и действие контакта местного управления, корпуса шланга; уплотнение.

Проверяя токи, потребляемые электродвигателем при нормальном переводе стрелки и работе электродвигателя на фрикцию, определяют значение токов, которые нормируются в зависимости от крестовины стрелочного перевода, рельсов, электропривода, электродвигателя и рабочего напряжения на электродвигателе.

В связи с тем, что ЭЦ проектируют только с двигателями трехфазного тока, далее приведена технология регулировки фрикционного сцепления электроприводов СП. Эту регулировку выполняют с применением специального устройства, содержащего динамометр ДОСМ-3-1, максимальное измеряемое усилие которого равно 9 800 Н. Данное устройство позволяет устанавливать и удерживать динамометр между рамным рельсом и остряком стрелки.

Для измерения усилия перевода стрелки необходимо фрикционное сцепление отпустить до состояния, при котором обеспечивается свободный проворот фрикционного устройства

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

двигателем электропривода без перевода стрелки. Затем фрикционное сцепление нужно зажать до состояния, при котором стрелка начинает переводиться, и измерить динамометром установленное усилие, которое и будет усилием перевода стрелки.

Усилие замыкания стрелки может быть большим в сравнении с усилием перевода. В этом случае фрикционное сцепление необходимо затянуть до состояния, при котором замыкается стрелка, и измерить усилие замыкания.

При регулировке фрикционное сцепление затягивают с необходимым усилием, установленным для данного типа стрелочного перевода, которое измеряют динамометром [5, 6].

Как видно из приведенной выше технологии обслуживания и настройки стрелочных приводов и коммуникаций, которые к ним относятся, процесс проверки их состояния и длительность устранения повреждений, включая профилактический осмотр, занимает много времени и основывается в большей степени на навыках работников службы сигнализации и связи в выполнении различных операций с целью обеспечения в лучшем случае исправного, а в худшем – работоспособного состояния системы. При проведении технического обслуживания и выполнении ремонтных или восстановительных работ сотрудник основывается на собственных знаниях, восприятии и понимании происходящих процессов и взаимных зависимостей. В каждом конкретном случае определения неисправности того или иного узла стрелочного перевода или всей системы в целом служащему приходится тратить много времени на поиск причины отказа, которое, как правило, занимает половину времени, требующегося на устранение повреждения [1, 2], а иногда и большую его часть.

В связи с этим существует острая необходимость обновления устройств обеспечения движения поездов, поскольку настоящие системы морально и технически устарели, а методика планово-предупредительного ремонта изжила себя, как один из видов ведения хозяйственной деятельности, относящейся к периоду начала развития и внедрения технических способов решения промышленных задач. К тому же требуется не только переход на принципиально новые технологии и системы, но и устранение подходов, заложенных в методах планово-предупредительного ремонта.

С повышением скоростей движения поездов у обслуживающего персонала остается значительно меньше времени на устранение повреждений. В связи с тем, что данное время можно разделить на промежуток времени от момента появления неисправности до момента информирования о нем соответствующего сотрудника, время прибытия, поиск повреждения и собственно его устранение, то, уменьшив хоть одно из составляющих, есть возможность сократить общую его длительность. Поскольку повлиять на время для прибытия сотрудника на место повреждения очень трудно, а полная замена оборудования требует значительных капиталовложений, что не всегда соответствует возможностям и является рациональным подходом, то остается возможность выиграть время на этапе установления факта появления повреждения и сократить время поиска повреждения, которое стало причиной отказа.

Сделать это можно при помощи автоматизации системы контроля и диагностирования стрелочных переводов. Автоматизированная система контроля и диагностирования кроме того, что позволит в режиме реального времени собирать данные о состоянии объектов, находящихся на удалении от поста электрической централизации, и в случае изменения значений соответствующих показателей выдавать сообщения об отказном или предотказном состояниях, предотвращая тем самым задержки поездов по вине повреждений стрелочного перевода, но также и сможет обеспечить устранение временного промежутка от появления неисправности до поступления о ней информации к компетентным сотрудникам. В данную систему нужно также заложить основные типы отказов и причины их появления для возможности проведения идентификации. При появлении повреждения такая система не только сможет его определить, но и выдать рекомендации по способу его устранения, инструменту, деталям и измерительным приборам, которые нужно взять с собой, выдвигаясь на объект с повреждением, а также автоматически выполнять запись в электронном журнале о выполненных работах [3].

Рассмотрим техническую реализацию системы контроля и диагностирования состояния стрелочных электроприводов переменного тока.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

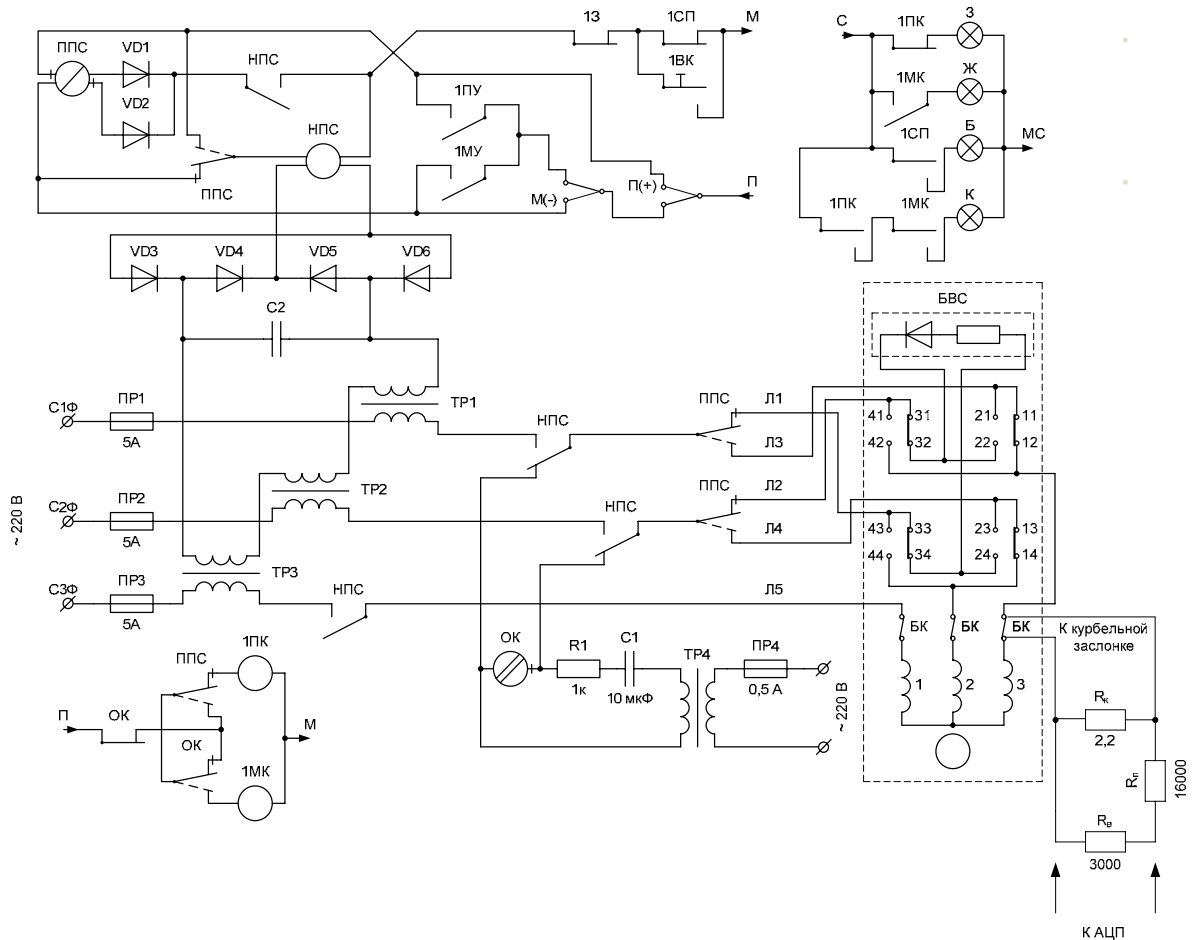


Рис. 3. Схема подключения измерительного устройства к электроприводу с пятипроводной схемой управления стрелкой

Fig. 3. Measuring device connection scheme to the electric turnout with five-wire control circuit

Выполняется подключение, как показано на рис. 3, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) через делитель напряжения к рабочей цепи пятипроводной схемы управления стрелкой. Для этого в разомкнутую курбельным выключателем 11 (рис. 2) рабочую цепь электропривода ставится на один из выводов переключателя, а на другой – последовательно включается делитель напряжения. Производится запись формы кривой тока, который протекает в цепи стрелочного электродвигателя переменного тока при переводе стрелки из одного положения в другое и обратно. Этот сигнал сначала анализируется в амплитудной и частотной областях. При этом определяются так называемые «маркеры», т.е. основные параметры сигнала, по которым можно вести сравнение, среди которых: длительность сигнала, его максималь-

ные и минимальные значения. Затем сам сигнал и результаты его анализа сохраняются и используются как эталонные для того, чтобы в дальнейшем применять их в качестве образцов исправного состояния стрелочного перевода и электропривода, установленного на нем. Делитель напряжения применяется с целью защиты АЦП от возможных скачков напряжения.

Рассмотренные ранее недостатки, повреждения и отказы в работе стрелочного перевода имеют так или иначе отражение на работе двигателя электропривода, а именно на характере тока в его обмотках, который является следствием реакции электрической машины на изменяющиеся внешние факторы и нагрузку. Путем подбора признаков различных дефектов попробуем симитировать различные виды выхода его из строя и приводящие к этому причины.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Таким образом, в основе исследования лежит анализ зависимости характера изменения кривой тока, который протекает в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока.

Для установления зависимости формы и амплитуды тока от вида и характера нагрузки, а также качественного и количественного определения реакции двигателя стрелочного электропривода на влияние различных неисправностей по току в его обмотках, были выполнены измерения и запись формы токовой кривой в условиях реальной эксплуатации стрелки.

Испытания проводились в реальных условиях на действующих стрелках с маркой крестовины 1/11 и типом рельс Р65, уложенных на железобетонные шпалы как по главному ходу, так и на боковых путях. Тип стрелочного электропривода выбран соответственно рассмотренному ранее типу СП-8 с двигателем переменного тока типа МСТ-0,3. Условия окружающей среды во время выполнения измерений: температура воздуха – 25 °С, влажность – 65 %.

Результаты

Рассмотрим и разберем несколько примеров записей токовой кривой. Открываем сохраненные записи сигналов токовых кривых при помощи команды `sptool` в поле команд программы MATLAB [11–13].

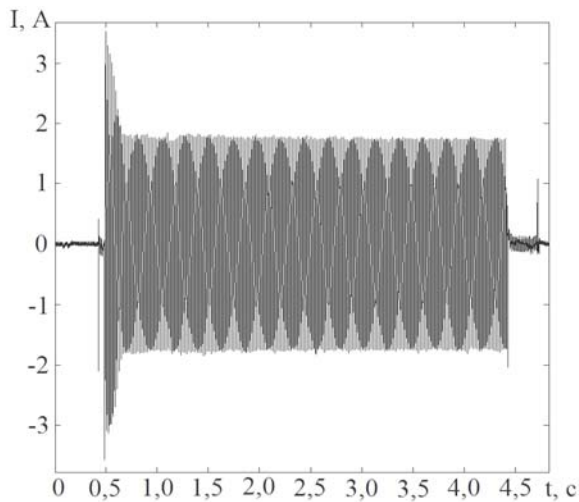


Рис. 4. Ток нормального перевода

Fig. 4. Normal translation current

На рис. 4 изображена временная зависимость тока нормального перевода, которую можно охарактеризовать равномерным значе-

нием по всей протяженности перевода. В конце перевода заметен незначительный ток остаточного вращающегося поля статора.

На рис. 5 показана характеристика тока, при работе привода на фрикцию, для определения правильности регулировки нажатия тарельчатых пружин.

Особое внимание заслуживают кривые тока, изображенные на рис. 6, поскольку способны определять на начальных стадиях отклонения от нормальной работы автопереключателя, одного из самых ненадежных узлов как стрелочного привода отдельно, так и всей стрелки.

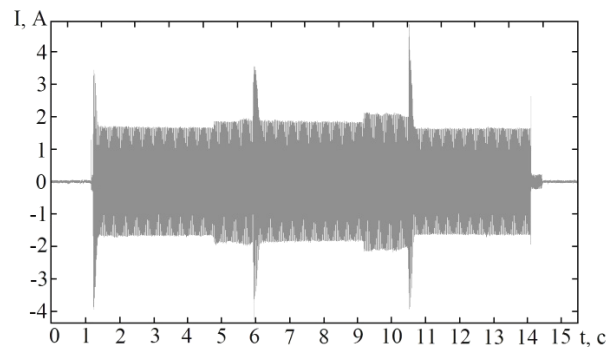


Рис. 5. Ток работы на фрикцию

Fig. 5. Friction current

Автопереключатель, который имеет наиболее правильную регулировку установленных колодок, контактных пластин и пружин переключающих рычагов имеет наименьшее время переключения с наименьшей амплитудой переходного значения тока (рис. 6, а). По мере разрегулировки и выхода из строя различных составляющих время и абсолютное значение тока в зоне контакта будут увеличиваться (рис. 6, б; 5, в).

На основании выдвинутого предположения были проведены измерения на стрелочном переводе, восстановленном после взреза с последовавшим сходом локомотива и первых двух вагонов. Среди свойственных неисправностей, вызванных взрезом стрелки, добавилась еще изогнутый остряк, который опирался на второй остряк и переводился в подвешенном состоянии, что уменьшало сопротивление движению стрелки при переводе и при измерениях (рис. 7) отображено уменьшением величины тока.

В связи с появившимися люфтами в узлах крепления увеличилось время перевода стрелки, что также является неотъемлемым признаком ее состояния.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

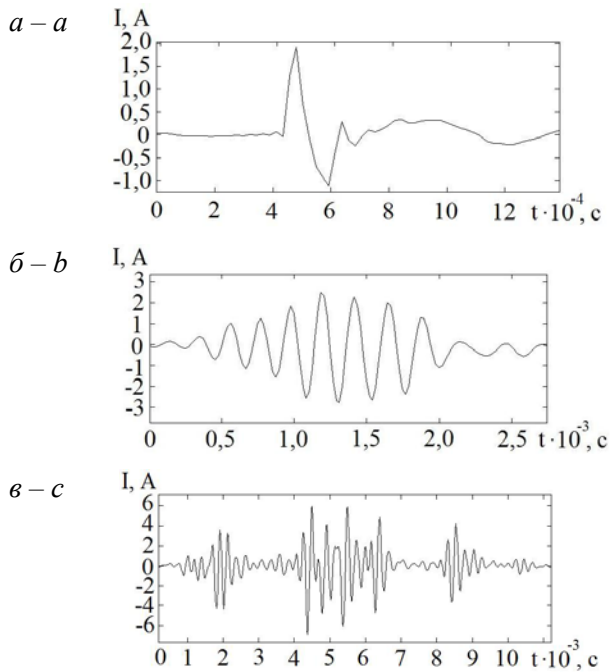


Рис. 6. Ток замыкания автопереключателя:
 а – исправный; б – ослабление пружин; в – ослабление контактных пластин и пружин

Fig. 6. Autoswitches connection current:

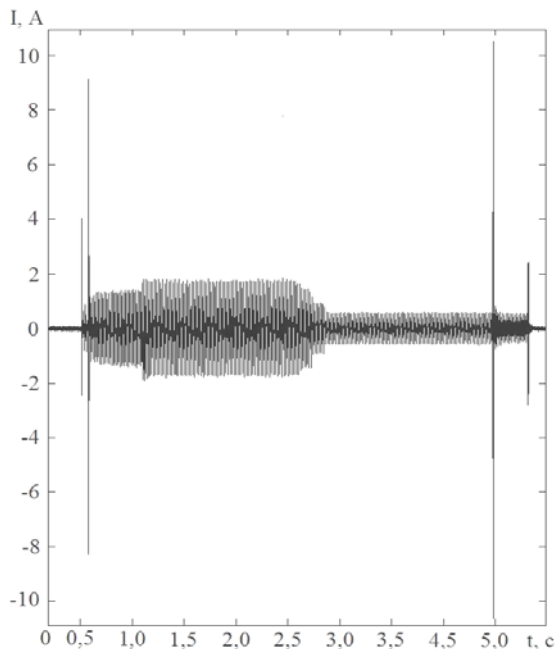


Рис. 7. Ток перевода стрелки с дефектами

Fig. 7. Turnout with defects transfer current

Определение не рассмотренных отказов, приведенных ранее, требует дополнительного времени, глубокого изучения и детального анализа.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые получены практические результаты по диагностированию стрелочных переводов с электроприводами переменного тока, которые подтверждаются многочисленными опытами. Определена строгая взаимосвязь между техническим состоянием стрелки и формой кривой, которую описывает ток в цепи электродвигателя переменного тока в процессе эксплуатации на основании исследования процессов, оказывающих на него влияние во время работы.

Полученные результаты исследований показывают принципы технического подхода к переходу от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по состоянию для более объективной оценки и соответственно более быстрой реакции на возникшие или постепенно возникающие отказы, повреждения и любые другие недостатки в работе стрелочных электроприводов переменного тока. Исследования показали, что время, сэкономленное на поиск повреждения, в большинстве случаев оказывает решающее влияние на длительность восстановительных работ, а поэтому данная система в условиях настоящего уровня загруженности обслуживающего персонала становится все более и более необходимой.

Выводы

Железнодорожный путь представляет собой с точки зрения охраны труда опасный для жизни и здоровья человека участок территории, время пребывания на котором связано с опасностью наезда подвижного состава. Поэтому, чем меньше время пребывания сотрудников железнодорожного транспорта в зоне движения поездов, тем меньше вероятность происшествия несчастного случая. В связи с этим переход от существующей системы ведения хозяйственной деятельности к предлагаемой является необходимостью с точки зрения безопасности проведения работ в зоне повышенной опасности, которую представляет собой железнодорожный путь. Кроме этого, предлагаемая система позволяет облегчить труд и повысить его качество, а также увеличить его производительность.

Предложенный способ автоматизированной диагностики стрелочных переводов позволит

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

также объективно оценивать их состояние в реальном времени и оперативно реагировать на отказы, что позволит, кроме уменьшения количества задержанных поездов по причине неуправляемости стрелок, устранять предотказные состояния, установленные на основании анализа истории изменения рабочих характеристик, а также временных и амплитудных показателей тока электропитания двигателя при переводе стрелки.

Таким образом, внедрение системы автоматизированной диагностики стрелочных приводов является на сегодняшний день острой необходимостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буряк, С. Ю. Mathematical modeling of AC electric point motor / С. Ю. Буряк // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 7–20.
2. Буряк, С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електроприводу / С. Ю. Буряк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 172–175.
3. Гололобова, О. О. Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації / О. О. Гололобова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 21–30.
4. Иванов, Г. Я. Электропривод и электрооборудование : учеб. пособие / Г. Я. Иванов, А. Ю. Кузнецов, В. В. Дмитриев // Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2011. – 54 с.
5. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. ЦШЕОТ 0012. – К. : Укрзалізниця, 1998. – 72 с.
6. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ 0042. – К. : Укрзалізниця, 2006. – 461 с.
7. Резников, Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1985. – 288 с.
8. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира [Энрико Андерс, Томас Берндт, Игорь Долгий и др.] ; под ред. Грегора Тега, Сергея Власенко. – Гамбург : Интекст, 2010. – 488 с.
9. Сороко, В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России : энцикл. : в 2 т. Т. 1 / В. И. Сороко, В. М. Кайнов, Г. Д. Казиев. – М. : НПФ «Планета», 2006. – 736 с.
10. Федотов, А. Е. Техническое обслуживание централизованных стрелок. / А. Е. Федотов, О. К. Кочмарская. – М. : Транспорт, 1988. – 96 с.
11. Chaparro, Luis F. Signals and Systems Using MATLAB / Luis F. Chaparro // Department of Electrical and Computer Engineering University of Pittsburgh. – Oxford : Elsevier, 2011. – 752 p. doi: 10.1016/b978-0-12-394812-0.00014-0.
12. Corinthios, Michael. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB / Michael Corinthios. – Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 1316 p.
13. Leis, John William. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers / John William Leis // University of Southern Queensland. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. – 382 p. doi: 10.1002/9781118033623.

С. Ю. БУРЯК^{1*}, В. І. ГАВРИЛЮК², О. О. ГОЛОЛОВОВА³, А. М. БЕЗНАРИТНИЙ⁴

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

²Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

³Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта golobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта tema_szbist@mail.ru, ORCID 0000-0003-2545-6621

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК СТІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета. Значну відповідальність за безпеку руху покладено на службу сигналізації та зв'язку залізниці. Одними з найбільш уразливих вузлів (як систем автоматики, так і залізниці в цілому) є стрілочні переводи. Метою дослідження є розробка такої системи контролю та діагностики стрілочних переводів, яка б повною мірою задовольняла вимоги сучасних умов швидкісного руху й руху великовантажних поїздів і виконувала діагностування, збір та систематизацію даних в автоматизованому режимі. **Методика.** Для досягнення поставленої мети були здійснені дослідження будови й опис принципу роботи стрілочного електроприводу, послідовності спрацьовування його основних вузлів. Зокрема, розглядалися та аналізувалися робочі характеристики й параметри, умови експлуатації, причини відмов у роботі, а також вимоги, що пред'являються до електроприводів і технології їх обслуговування. Визначалися основні принципи аналізу залежності характеру зміни кривої струму, який протікає в робочому колі стрілочного електроприводу змінного струму. Проводилась технічна реалізація системи контролю та діагностування стану стрілочних електроприводів змінного струму. **Результати.** Досліджено сигнали, зняті зі справних і несправних стрілочних електроприводів. **Наукова новизна.** Визначено суворий взаємозв'язок між технічним станом стрілки й формою кривої, яку описує струм у колі електродвигуна змінного струму в процесі експлуатації на підставі дослідження процесів, що впливають на нього під час роботи. **Практична значимість.** Показано принципи технічного підходу щодо переходу від планово-попереджувального обслуговування до обслуговування за станом для більш об'єктивної оцінки та відповідно більш швидкої реакції на миттєво або поступово виникаючі відмови, пошкодження й будь-які інші недоліки в роботі стрілочних електроприводів змінного струму.

Ключові слова: діагностування; електропривод; стрілка; електродвигун; автоматизація

S. YU. BURYAK^{1*}, V. I. GAVRILYUK², O. O. HOLOLOBOVA³, A. M. BEZNARYTNYI⁴

^{1*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

²Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

³Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail tema_szbist@mail.ru, ORCID 0000-0003-2545-6621

DIAGNOSTIC FEATURES RESEARCH OF AC ELECTRIC POINT MOTORS

Purpose. Considerable responsibility for safety of operation rests on signal telephone and telegraph department of railway. One of the most attackable nodes (both automation systems, and railway in whole) is track switches. The aim of this investigation is developing such system for monitoring and diagnostics of track switches, which would fully meet the requirements of modern conditions of high-speed motion and heavy trains and producing diagnostics, collection and systematization of data in an automated way. **Methodology.** In order to achieve the desired objectives research of a structure and the operating principle description of the switch electric drive, sequence of triggering its main units were carried out. The operating characteristics and settings, operating conditions, the causes of failures in the work, and requirements for electric drives technology and their service were considered and analyzed. Basic analysis principles of dependence of nature of the changes the current waveform, which flows in the working circuit of AC electric point motor were determined. Technical implementation of the monitoring and diagnosing system the state of AC electric point motors was carried out. **Findings.** Signals taken from serviceable and defective electric turnouts were researched. **Originality.** Identified a strong interconnection between the technical condition of the track switch and curve shape that describes the current in the circuit of AC electric point motor during operation which is based on the research processes that have influence on it during operation. **Practical value.** Shown the principles of the technical approach to the transition from scheduled preventive maintenance to maintenance of real condition for a more objective assessment and thus more rapid response to emerging or failures when they occur gradually, damages and any other shortcomings in the work track switch AC drives.

Keywords: diagnostics; AC electric point motor; track switch; electric motor; automation

REFERENCES

1. Buryak S.Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 7-20.
2. Buriak S.Yu. Matematychnе modeliuвання strilochnoho elektroprivodu [Mathematical modeling of turnouts electric drive]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 172-175.
3. Hololobova O.O. Matematychnе modeliuвання vkhidnykh prystroiv systemy avtomatychnoi lokomotyvnoi syhnalizatsii [Mathematical modeling of the input devices in automatic locomotive signaling system]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2014, issue 2 (50), pp. 21-30.
4. Ivanov G.Ya., Kuznetsov A.Yu., Dmitriyev V.V. *Elektroprivod i elektrooborudovaniye* [Electric drive and electric equipment]. Novosibirsk, Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Inzhenernyy institute Publ., 2011. 54 p.
5. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannya prystroiv syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuvannya. TSSHEOT 0012* [Signaling, centralization and blocking manual maintenance]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 1988. 75 p.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

6. *Prystroj syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuvannia. Tekhnolohiia obsluhovuvannia. TSSH 0042* [Signaling, centralization and blocking devices. Maintenance technology]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2006. 461 p.
7. Reznikov Yu.M. *Elektroprivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automatics and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
8. Enriko Anders, Tomas Berndt, Igor Dolgiy, Gregor Teeg, Sergey Vlasenko. *Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogakh mira* [Railway Signalling & Interlocking. International Compendium]. Hamburg, Intekst Publ., 2010. 488 p.
9. Soroko V.I., Kaynov V.M., Kaziyev G.D. *Avtomatika, telemekhanika, svyaz i vychislitel'naya tekhnika na zheleznykh dorogakh Rossii* [Automation, Remote Control, communications and computing equipment on Russian railways]. Moscow, NPF «Planeta» Publ., 2006. 736 p.
10. Fedotov A.Ye., Kochmarskaya O.K. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye tsentralizovannykh strelok* [Centralized turnout maintenance]. Moscow, Transport Publ., 1988. 288 p.
11. Chaparro Luis F. *Signals and Systems Using MATLAB*. Department of Electrical and Computer Engineering University of Pittsburgh. Oxford, Elsevier Publ., 2011. 752 p. doi: 10.1016/b978-0-12-394812-0.00014-0.
12. Corinthios Michael. *Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB*. Boca Raton, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2009. 1316 p.
13. Leis John William. *Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers*. University of Southern Queensland. New Jersey, John Wiley & Sons Publ., 2011. 382 p. doi: 10.1002/9781118033623.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); д. физ.-мат. н., проф. А. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 15.03.2014

Принята к печати: 05.05.2014