

УДК 656.256:621.318.5

Е. В. МАСЛЕННИКОВ – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, enshteen@mail.ru
П. Э. ГОРЬ – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, smowin@mail.ru
Т. Н. СЕРДЮК - к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru
А. В. ИВАНОВ – ассистент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, guruan86@mail.ru

СТРЕЛОЧНЫЕ ПРИВОДА СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Статью представил д. физ. - мат. н., проф. В. И. Гаврилюк

Введение

Развитие техники автоматического управления транспортными процессами и совершенствование технологий ее обслуживания в значительной степени способствуют повышению безопасности движения поездов и улучшению экономических показателей деятельности железных дорог. Особая роль при этом отводится станционным системам автоматики и телемеханики, так как основные технологические операции по приему и отправлению поездов, а также их переработке выполняются на станциях.

В общий комплекс технических средств электрической централизации (ЭЦ) стрелок и светофоров, горочной автоматической централизации (ГАЦ) входит ряд обязательных устройств напольного технологического оборудования, которые являются основой любой системы дистанционного управления путевыми объектами независимо от размеров станции, тяги поездов, условий электроснабжения, элементной базы, климатических факторов. Качество функционирования всех систем ЭЦ и ГАЦ во многом определяется надежностью исполнительных элементов, важное место среди которых занимают стрелочные электроприводы.

Достижения современной науки и техники, перспективы скоростного и высокоскоростного движения, длительный опыт эксплуатации в различных условиях применения электроприводов (ЭП) данного вида определяют направления дальнейшего совершенствования их конструкции и технологий обслуживания в целях улучшения показателей безотказности и ремонтнопригодности. Тем самым повышается безопасность движения, увеличиваются межремонтные сроки, растет экономическая эффективность транспортного процесса. При этом высокие количественные характеристики эксплуатационной надежности стрелочных электроприводов в значительной степени обеспечиваются построением и работой принципиальных электрических схем управления стрелками. Современная элементная база с использованием релейно-контактных приборов IV поколения, электронных и микропроцессорных модулей расширяет коммутационные и функциональные возможности этих схем, повышая их защищенность от несвоевременных и опасных для движения поездов срабатываний.

Целью данной работы является аналитический обзор современного состояния в конструктивном развитии элементной базы

стрелочных приводов и поиск новых решений для внедрения на реконструированных и вновь проектируемых железных дорогах Украины. Таким образом, тема работы является актуальной, поскольку позволяет повысить безопасность на железнодорожном транспорте за счет внедрения современных устройств автоматики, которые позволят улучшить показатели безотказности и ремонтпригодности. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи: изучить конструкцию стрелочных переводов и электроприводов, применяемых на высокоскоростных магистралях; составить уравнения движения стрелочного электропривода с целью описания физических процессов, происходящих при переводе стрелки, и подготовки научного обоснования к рекомендации внедрения приводов того или иного типа на железных дорогах Украины; усовершенствование двухпроводной схемы управления стрелкой, применяемой на железных дорогах Украины, оборудованных приводами постоянного тока.

Стрелки и стрелочные переводы

Стрелочный перевод является важным конструктивным элементом путевого развития станций, позволяет переводить подвижной состав с одного станционного пути на другой и состоит из стрелки, крестовиной части (крестовины 5) и переводных кривых 4 между ними. Стрелка в свою очередь содержит два рамных рельса 1, два остряка 2 между ними и переводной механизм 3 для перевода остряков (рис. 1).

Стрелочные переводы различают по типу рельсов (P38, P43, P50, P65 и P75) и марке крестовины. Маркой крестовины называется частное от деления ширины крестовины на ее длину q , измеряемую от математического центра (МЦ) до торца крестовины, что соответствует тангенсу угла α .

m – расстояние от переднего выступа рамного рельса до начала остряка;

a – расстояние от начала остряка до центра перевода Ц;

b – расстояние от центра перевода до математического центра крестовины МЦ;

q – длина крестовины;

L_p – длина стрелочного перевода [1, 2].

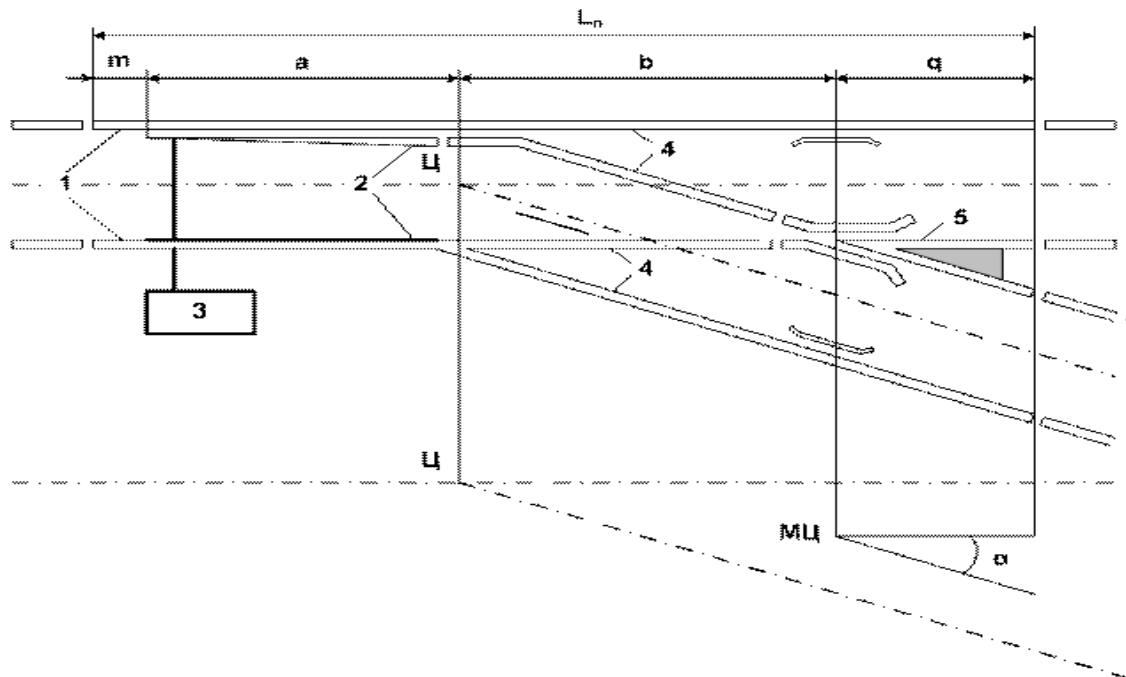


Рис.1. Структурная схема стрелочного перевода

Условия эксплуатации, повторно-кратковременный режим работы, реверсивный и переменный характер нагрузки, дистанционное управление определяют технические требования к стрелочным приводам, отвечающим современному уровню достижений транспортной науки и техники. Сравнение конструкций и технических характеристик отечественных и зарубежных стрелочных приводов показывает, что все они, независимо от назначения и конструктивных особенностей, содержат следующие функциональные блоки: систему управления приводом, двигатель, механическую передачу, автопереключатель, механизмы замыкания и сравнения положения контрольных линеек с положением замыкающего механизма.

В соответствии с этим стрелочные приводы классифицируются: по виду потребляемой для перевода острижков энергии; времени перевода стрелки; способу запира-ния острижков; способу восприятия взреза

стрелки; виду автопереключателя (рис. 2) [3-7].

По виду энергии, потребляемой приводом для перевода острижков стрелки, различают пневматические, гидравлические и электрические приводы. Электрические приводы, в свою очередь, подразделяются на электромагнитные и электромеханические.

В пневматических и гидравлических приводах используется энергия соответственно сжатого воздуха или жидкости под давлением, преобразование которой в механическую энергию перемещения стрелочных острижков происходит в рабочем цилиндре с поршнем. Шток поршня пневматического или гидравлического двигателя через рабочую тягу связан с острижками стрелки. Подача в цилиндр сжатого воздуха или жидкости под давлением приводит к перемещению поршня и переводу стрелки. Сжатый воздух или жидкость под давлением подается по трубопроводам от компрессора или гидравлического насоса.



Рис.2. Классификация стрелочных электроприводов

Присутствие влаги или льда в трубопроводах, наличие утечек воздуха или жидкости вследствие дефектов или износа мест уплотнений, необходимость применения незамерзающих жидкостей со стабильными характеристиками, содержание компрессорных и насосных помещений снижают эксплуатационно-технические характеристики и экономические показатели пневматических и гидравлических приводов.

В электромагнитных приводах электрическая энергия преобразуется в механическую энергию движения острия стрелки с помощью, например, соленоида, внутри которого перемещается стальной стержень, связанный с остриями рабочей тягой.

На железных дорогах Украины применяются электромеханические приводы типа СП-3, СП-6, которые работают в очень сложных условиях. Все это влияет на характер дефектов и надежность их работы. Дефекты стрелочных переводов условно можно разделить на два вида: механические и электрические. К первому виду относятся дефекты, связанные с выкрашиванием металла головки острия или шейки рамного рельса [10]. Кроме того, проявляются дефекты составных элементов стрелочных гарнитур.

Дефекты второго вида связаны с отказами стрелочных электроприводов за потери контакта в автопереключателя, неисправности щеточно-коллекторных узлов электродвигателя, выхода из строя выпрямительного блока (БВС) и др.

Все дефекты ведут к нарушению нормальной работы стрелочных переводов и, как следствие, срыву графика движения поездов.

Существующие профилактические методы диагностики дефектных состояний стрелочных переводов не в полной мере обеспечивают требования эксплуатации систем электрической централизации. Проведенный статистический анализ дефектов магистральных стрелочных переводов отражает проблемы некоторых крупных станций и сортировочных горок Придне-

провской ж. Оказалось, что при суточной пропускной способности 90...100 пар поездов в сутки средняя частота переводов стрелки ЭЦ составляет от 80 до 120, а на сортировочных горках – до 350.

Характер и количество отказов за год в стрелочных переводах первого вида приведены в табл. 1, а второго – в табл. 2.

Таблица 1

Анализ причин и количества отказов в стрелочных переводах из-за механических дефектов

Причина отказа	Количество отказов в системах	
	ЭЦ	ГАЦ
Упорные болты, упирающиеся в остриек	1	-
Отбивание рамного рельса	-	1
Искривление острия	1	1
Угон острия	4	-
Накат металла головки рамного рельса	19	4
Уширение (уменьшение) ширины колеи возле остриек	11	5
Чрезмерное затягивание корневых болтов, что вызывает «пружинность остриек»	5	2
Загрязнение (отсутствие) смазки башмаков стрелки	10	2
Загрязнение стрелки	28	9
Напрессовывание снега или грязи между остриком и рамным рельсом или в корневом креплении	46	8

Анализ также показал, что из-за наличия механических дефектов в течение года выходит из строя каждая шестая станционная стрелка, а на горке – практически каждый вторая. В системах ЭЦ в среднем за год выходит из строя примерно каждый восьмой электропривод, в ГАЦ – каждый третий.

Таблица 2
 Анализ причин и количества отказов
 в стрелочных переводах из-за
 электрических дефектов

Причина отказа	Количество отказов в системах	
	ЭЦ	ГАЦ
Слабое или (слишком сильное) ненормированное прижатие щеток к коллектору	3	1
Медленное опрокидывания ножей (наличие усталости пружин автопереключателя)	7	2
Нестабильная работа фрикции	9	6
Поломка колодок автопереключателя	18	-
Обрыв секций якорной обмотки или обмотки возбуждения	38	5
Потеря контроля положения стрелки под поездом (плохое регулирование контрольных тяг)	20	4

Таким образом, в связи с повышением скоростей движения поездов актуальной является разработка стрелочных электроприводов, включающих в себя элементы с повышенной надежностью и ремонтпригодностью.

Стрелочные приводы высокоскоростных магистралей

На высокоскоростных участках для перевода остяков и подвижного сердечника крестовины стрелок применяют два и более электропривода, которые работают одновременно. В первую очередь эти технические средства должны обеспечивать безопасность движения поездов по стрелке, для чего требуется ограничение совместного усилия перевода. Для плавного, стабиль-

ного перевода стрелки необходима синхронизация работы электроприводов. Решить эти задачи позволят новые отечественные электродвигатели с электронным управлением. Стрелочные переводы для высокоскоростного движения обеспечивают пропуск поездов со скоростью до 250 км/ч при следовании по прямому пути и 50 км/ч на боковой. Они имеют крестовину марки 1/11, длинные гибкие остяки и подвижный сердечник крестовины с непрерывной поверхностью качения. На участке (до 200 км/ч) и высокоскоростном (до 250 км/ч) движении поездов, представлены на рис. 2. На схеме приняты следующие обозначения: ВЗ – внешний замыкатель типа ВЗ-7, ФС – фиксатор (замыкатель) сердечника крестовины, СП-12У и ВСП – электроприводы, Г1МП – продольный рычажный механизм перевода [3, 5].

Для перемещения гибких остяков и сердечника крестовины длиной соответственно 12,5 и 10 м по подушкам стрелки по заданной эпюре требуется приложить усилие в нескольких точках по длине остяка. Для этого остяки объединяют соединительными тягами и на определенном расстоянии друг от друга устанавливают несколько электроприводов. Их количество зависит от длины остяка (для крестовины марки 1/11 – два, для 1/18 – три, для 1/22 – четыре и т. д.). Электроприводы синхронно перемещают и надежно запирают остяки в конце перевода. То же происходит на подвижном сердечнике крестовины. Здесь в качестве запирающих устройств применяют внешние замыкатели, которые механически управляются электроприводами [3, 5, 6].

Одна из задач, которую необходимо решить при переводе длинных остяков, – обеспечить синхронную работу электроприводов, имеющих различный ход шибров, и одинаковое время перевода остяков.

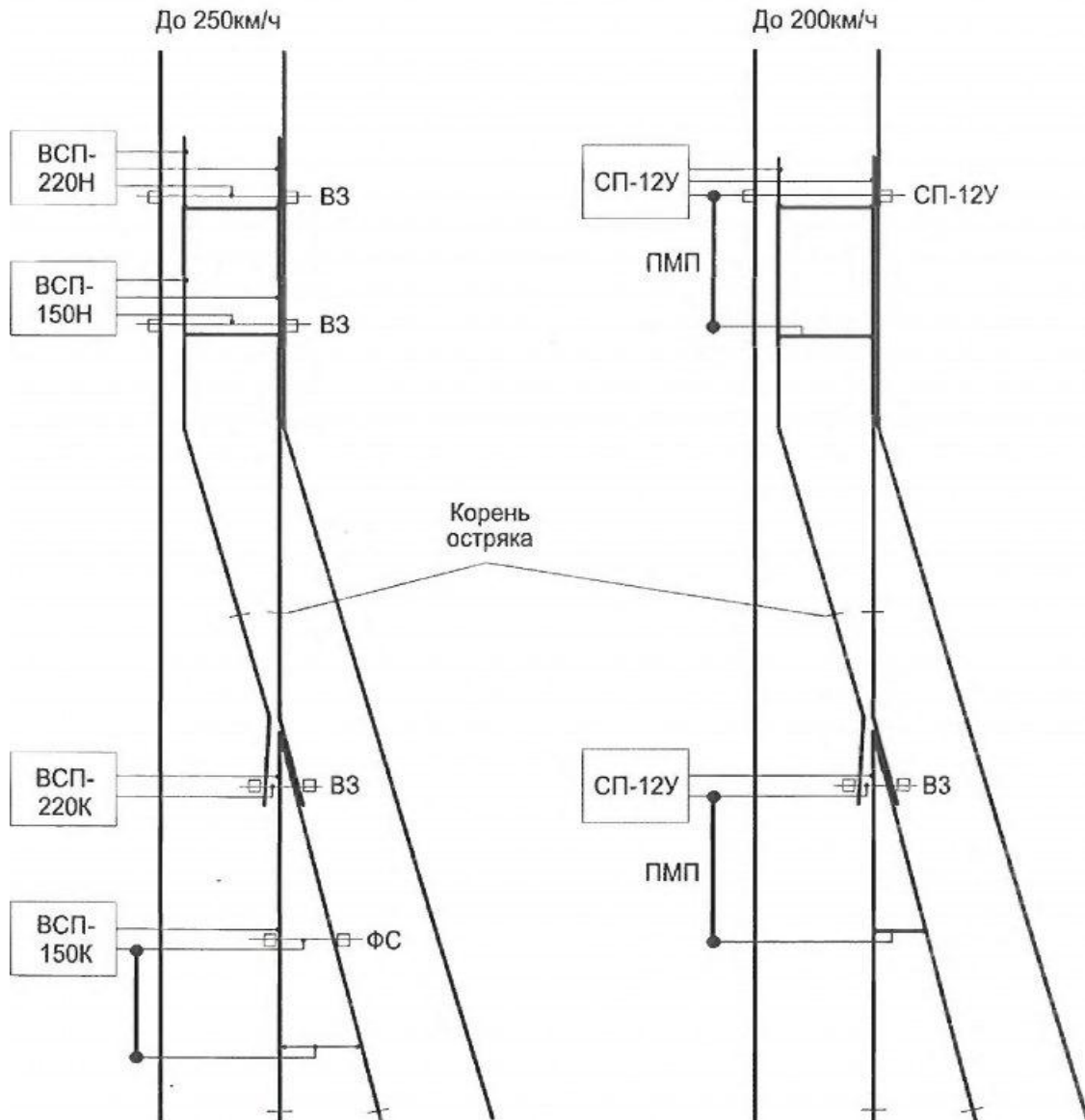


Рис.3. Структурная схема стрелочных переводов высокоскоростных магистралей

Остряк должен быть отведен: в острие (первое сечение) на 150 мм, а в конце острожки (второе сечение) – на 70 мм. Аналогичны требования и к подвижному сердечнику крестовины [3].

Для синхронизации работы электроприводов стрелочных переводов, используемых при высокоскоростном движении, применяют асинхронные электродвигатели с различной мощностью и частотой вращения вала. Работа электродвигателей происходит следующим образом. В начале перевода при подаче напряжения питания одно-

временно на два электродвигателя всю нагрузку принимает первый (первое сечение) за счет большей мощности и частоты вращения вала. В результате частота снижается, а момент на валу и потребляемый ток возрастают. Второй электродвигатель (второе сечение) в это время «догоняет» первый и принимает ту же нагрузку, частично забирая ее на себя. В свою очередь первый двигатель, «освободившись» от части нагрузки, снижает момент на валу, увеличивает частоту вращения вала, «вырывается вперед» и опять принимает всю

нагрузку на себя. В таком режиме электродвигатели работают на протяжении всего перевода стрелки, поэтому острия перемищаются не синхронно.

При увеличении нагрузки на валу асинхронного двигателя от нуля до номинального значения его обороты снижаются не более чем на 5 %. В случае дальнейшего возрастания нагрузки равновесие нарушается, и тормозной момент становится больше вращающего. Это приводит к уменьшению частоты вращения ротора и, следовательно, к увеличению скольжения (относительной разности скоростей вращения ротора и магнитного поля, создаваемого обмотками статора двигателя). С возрастанием скольжения увеличивается вращающий момент на валу двигателя, т.е. на шибер через редуктор и фрикционную муфту передается большее усилие. При этом возрастает и ток в линейных проводах.

При остановке стрелки в среднем положении из-за попадания между острием и рамным рельсом постороннего предмета, например, камня, ток будет увеличиваться до тех пор, пока номинальный вращающий момент на валу не станет равным тормозному. Это равновесие обеспечивает фрикционная муфта. Фрикционный механизм выполняет очень ответственную функцию – ограничивает усилие, которое способен развить шибер электропривода. Благодаря этому выполняются требования безопасности, связанные, во-первых, с отжимом рамного рельса, то есть с уширением колеи, и, во-вторых, с возможной деформацией острия, что происходит и в первом, и во втором случаях при попадании камня между острием и рамным рельсом.

Кроме того, при остановке стрелки в среднем положении, фрикционный механизм предотвращает полную остановку вала, которая приводит к резкому увеличению тока в линейных проводах, перегреву обмоток двигателя, перегоранию предохра-

нителей и другим негативным последствиям.

Если фрикция отрегулирована неправильно (перетянута), тормозной момент на валу превысит норму и вращающий момент увеличится до критического значения, а частота вращения вала уменьшится до нуля. В результате индуктивное сопротивление обмоток двигателя станет равным активному, ток в линейных проводах возрастет. Это приводит к большому падению напряжения в кабельной линии и снижению напряжения на двигателе. Вращающий момент на валу двигателя пропорционален квадрату напряжения на его обмотках. Поэтому снижение напряжения приводит к значительному уменьшению вращающего момента на валу и остановке двигателя. При этом ток становится в 5...7 раз больше номинального значения.

Перегрев ведет к разрегулировке фрикционной муфты, поэтому крайне важно правильно отрегулировать усилие ее срабатывания в каждом электроприводе. Однако при работе одновременно двух электроприводов на одну нагрузку (острия) отрегулировать фрикцию каждого из них в отдельности в условиях эксплуатации невозможно. Следовательно, регулировку фрикционной муфты на допустимое нормативное значение необходимо выполнять на заводе и не менять при эксплуатации. Если при эксплуатации стрелка не переводится и электроприводы работают на фрикцию, причиной является не привод, а плохое состояние стрелочного перевода.

Величина усилия шибера, при котором уложенный на деревянные шпалы рамный рельс может быть отжат на опасное расстояние, составляет по Нормам безопасности более 5 кН. Для стрелки, уложенной на железобетонные шпалы, это усилие неизвестно. Также нет нормативных значений максимальных усилий перевода электропривода, которые могут деформировать острия при случайном препятствии между острия-

ком и рамным рельсом. Поэтому для обоснования существующих норм усилия перевода (не более 7,5 кН) необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования по отжиму. Для электроприводов, работающих одновременно на одни остряки, этих норм вообще не существует.

В случае перевода остряков двумя электроприводами важно равномерно распределить нагрузку. Для этого надо точно знать правильное место установки электропривода на стрелочном переводе и усилие, необходимое для перемещения остряков. Эти данные могли бы предоставить специалисты ВНИИЖТа [5].

Однако сегодня на стрелках, используемых при высокоскоростном движении, электромеханики регулируют фрикцию каждого электропривода путем постепенного подтягивания гайки фрикционного сцепления до положения, при котором стрелка переводится нормально, не обращая особого внимания на величину усилия перевода. Часто оно оказывается завышенным, что может привести к получению ложного контроля положения стрелки.

Стрелочный электропривод типа УПС

В настоящее время для замены находящихся в эксплуатации стрелочных электроприводов серий СП и ВСП разработано резко отличное устройство для перевода стрелки – устройство переводное стрелочное типа УПС. УПС представляет собой электромеханический модуль в полем металлическом брусе в комплекте с новыми монтажными элементами и новой стрелочной гарнитурой.

Электромеханический привод УПС, разработан на базе модернизированной конструкции стрелочного электропривода типа СП-6К [7] и выполнен в виде модуля на собственной раме (несущей плите), который размещен в полем металлическом брусе (рис. 4). Защитные крышки УПС предот-

вращают попадание атмосферной влаги и загрязнений во внутреннее пространство полого металлического бруса, который по внутренней поверхности имеет покрытие, препятствующее образованию конденсата, являющегося причиной коррозии деталей механизмов. Механические узлы УПС спроектированы с применением изделий из сплавов с высокой стойкостью к динамическим нагрузкам, современных самосмазывающихся антифрикционных материалов [4].

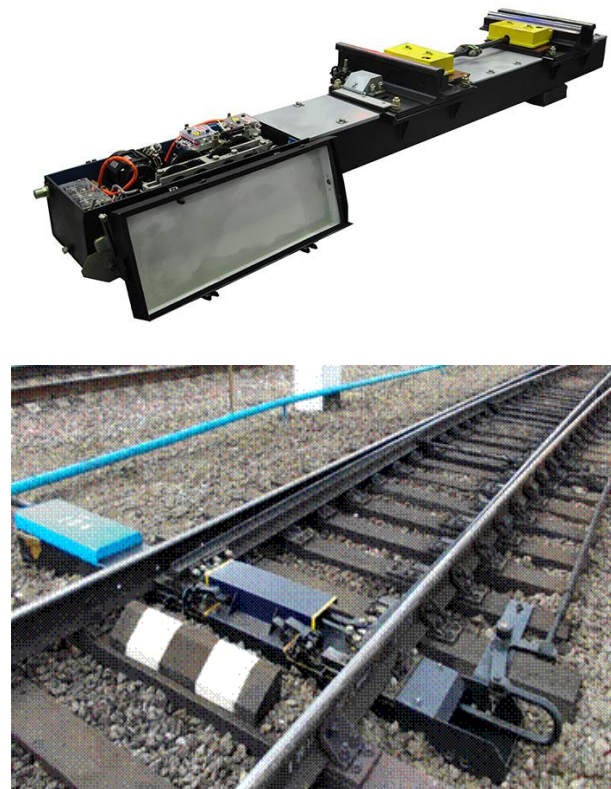


Рис. 4. Стрелочный электропривод типа УПС-250Н-70 на стрелочном переводе

УПС-250Н-70 предназначено для перевода в повторно-кратковременном режиме, запираения и контроля положения в непрерывном режиме остряков стрелочного перевода для скоростей движения поездов в прямом направлении движения до 250 км/ч; для эксплуатации в условиях умеренного и холодного климата (исполнение УХЛ) в диапазоне рабочих температур от -60°C до $+55^{\circ}\text{C}$ и предельных температур от -60°C

до $+65^{\circ}\text{C}$; для установки на стрелочном переводе Р65 М 1/11 на железобетонных брусках [12].

УПС содержит новую высокоточную необслуживаемую фрикционную муфту, необслуживаемый редуктор, новые элементы электрокоммутации в автопереключателе, новую стрелочную гарнитуру с износостойкими самосмазывающимися изделиями в парах трения и конструктивно новое исполнение узлов для монтажа УПС на стрелочный перевод (рис. 5) [11, 12].

Преимуществами УПС, заявленными заводом-изготовителем являются: единая координатная база (полый металлический брус) для взаимосвязанного местоположения исполнительного модуля, стрелочной гарнитуры и элементов монтажа УПС на стрелочный перевод, рамного рельса и остряка, что обеспечивает точность положения остряка относительно рамного рельса; снижение в 5...7 раз уровня динамических нагрузок от подвижного состава вследствие инерционности и высокой жесткости несущего элемента (полого металлического бруса), что пропорционально снижает риск отказа в механизмах и электрических коммуникациях в УПС по причинам износа и разрушений изделий; исключены засоры в месте расположения стрелочной гарнитуры; предотвращены механические повреждения стрелочной гарнитуры посторонними предметами и вандальными действиями; исключено техническое обслуживание фрикционной муфты и редуктора, и следовательно, влияние субъективного фактора на их работоспособность; в узле электрокоммутации автопереключателя исключен риск отказов [12].

Все эти преимущества устройства УПС позволяют увеличить период между очередным техническим обслуживанием в два раза, а следовательно, пропорционально снизить удельную трудоемкость работ [4].

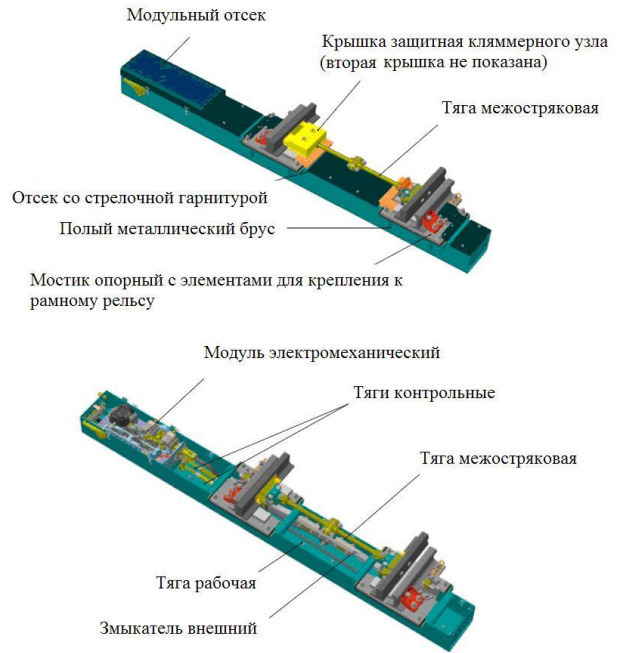


Рис. 5. Стрелочный электропривод типа УПС со снятой крышкой. Основные узлы привода

Уравнения движения стрелочного привода. Одномассовая схема стрелочного электропривода

В механическом движении ЭП участвует подвижная часть электродвигателя, элементы передаточного устройства (редуктор), исполнительный орган или шибер. Кинематическая схема стрелочного привода приведена на рис. 6, где показаны двигатель 1, вал которого вращается с угловой скоростью ω_1 , I_D – момент инерции на валу двигателя, M – вращательный момент на валу двигателя 2. Соединительная муфта 3, совмещенная с фрикцией, на выходе развивается момент инерции I_1 (момент инер-

ции на валу после соединительной муфты), вал вращается с угловой скоростью $\omega_1 = \omega$. Также на схеме изображены редуктор 4, малая и большая шестерни редуктора 5, 6, главный вал 7, который вращается с угловой скоростью ω_2 и развивается момент инерции I_2 , шиберная шестеренка 8, – исполнительный орган 9 с присоединенной рабочей тягой и остряки 10 массой m , которые совершают поступательное движение со скоростью v , км/ч.

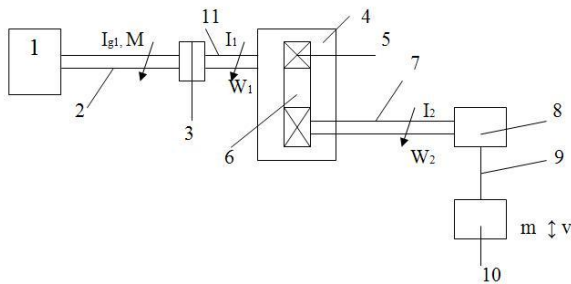


Рис. 6. Кинематическая схема стрелочного электропривода:

1 – двигатель, 2 – вал двигателя, 3 – соединительная муфта и фрикция, 4 – редуктор, 5, 6 – малая и большая шестерни редуктора соответственно, 7 – главный вал, 8 – шиберная шестеренка, 9 – исполнительный орган с присоединенной рабочей тягой, 10 – остряки

Стрелочному приводу характерно выполнение двух видов движения: поступательное, которое совершают остряки и шибер стрелки, и вращательное.

$$\sum F = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}, \quad (1)$$

где $v \frac{dm}{dt}$ – сила, характеризующая инерциальность системы, $m \frac{dv}{dt}$ – сила, приложенная к острякам, m – масса тела (остряка), v – скорость поступательного движения тела.

Вращательное движение в стрелочном приводе характеризуется выражением

$$\sum M = I \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dI}{dt}, \quad (2)$$

где I – момент инерции, ω – угловая ча-

стота вращения движущихся частей в стрелочном приводе (вал двигателя, редуктора, главный вал) при приведении системы к одной массе. При установившемся движении $\sum F = 0$, $\sum M = 0$.

В общем случае механическая часть электропривода включает в себя механическую часть электромеханического преобразователя (ротор или якорь электродвигателя), преобразователь механической энергии (редуктор или механическую передачу) и исполнительный орган рабочей машины (ИО РМ). Поскольку наша задача – это приведение в движение ИО РМ, основополагающими для выбора и расчета электропривода являются характеристики рабочей машины и особенности ее механической части.

На эту сложную механическую систему (рис. 6) действуют различные по направлению и величине внешние моменты и силы, которые, в свою очередь, часто зависят от времени, угла поворота механизма, скорости движения и других факторов. Поскольку эта механическая система является неотъемлемой частью ЭП, необходимо знать её характеристики и иметь достаточно точное для инженерных расчетов математическое описание.

Итак, механическая часть электропривода представляет собой сложную механическую систему, состоящую из нескольких вращающихся и поступательно движущихся с различными скоростями звеньев, имеющими различные массы и моменты инерции, соединенные упругими связями (малой или конечной жесткости).

Механическая часть стрелочного электропривода состоит из звеньев большой жесткости с жесткими связями, зазоры в которой мы стремимся свести к нулю. В результате возникает возможность представить расчетную схему механической части как одномассовую систему (рис. 7), при этом мы пренебрегаем упругостью механических связей и зазорами в передаче. Такая модель широко применяется для инженерных расчетов.

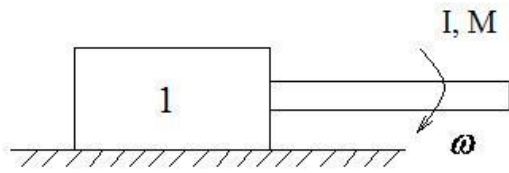


Рис. 7. Одномассовая схема стрелочного электропривода

Для анализа движения механической части стрелочного электропривода осуществляется переход от реальной кинематической схемы к расчетной, в которой массы и моменты инерции движущихся элементов их жесткости, а также силы и моменты, действующие на эти элементы, заменены эквивалентными величинами, приведенными к одной и той же скорости (чаще всего к скорости вращения вала электродвигателя). Условием соответствия полученной расчетной схемы реальной механической части стрелочного электропривода является выполнение закона сохранения энергии.

Приведенный момент инерции I , возникающий на валу одномассовой схемы, можно определить из выражения:

$$\frac{I\omega^2}{2} = \frac{I_0\omega^2}{2} + \frac{I_1\omega^2}{2} + \frac{I_2\omega_2^2}{2} + \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$

Известно, что передаточное число редуктора равно

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\omega}{\omega_2}, \quad (4)$$

где Z_1, Z_2 – число зубцов на малой и большой шестеренке редуктора 4 соответственно, ω, ω_2 – угловая скорость вращения на валах 2 и 7 соответственно (см. рис. 6).

Уравнение (3) можно переписать, используя выражение (4) в виде:

$$\frac{I\omega^2}{2} = \frac{I_0\omega^2}{2} + \frac{I_1\omega^2}{2} + \frac{I_2\omega^2}{2i^2} + \frac{mv^2\omega^2}{2\omega^2}, \quad (5)$$

$$I = I_0 + I_1 + \frac{I_2}{i^2} + \frac{mv^2}{\omega^2}, \quad (6)$$

$$I = I_0 + I_1 + \frac{I_2}{i^2} + m\rho^2, \quad (7)$$

где $\rho = \frac{v^2}{\omega^2}$ – радиус приведения поступательно движущегося элемента к валу двигателя.

Анализ видов неисправностей в стрелочных приводах и методы их устранения

Двухпроводная схема управления стрелкой (рис. 8) предназначена для управления электроприводом СП-6М с электродвигателем постоянного тока типа МСП. В системах ЭЦ для управления стрелками применяются блоки типа ПС-110М или ПС-220М в зависимости от величины рабочего напряжения электродвигателя.

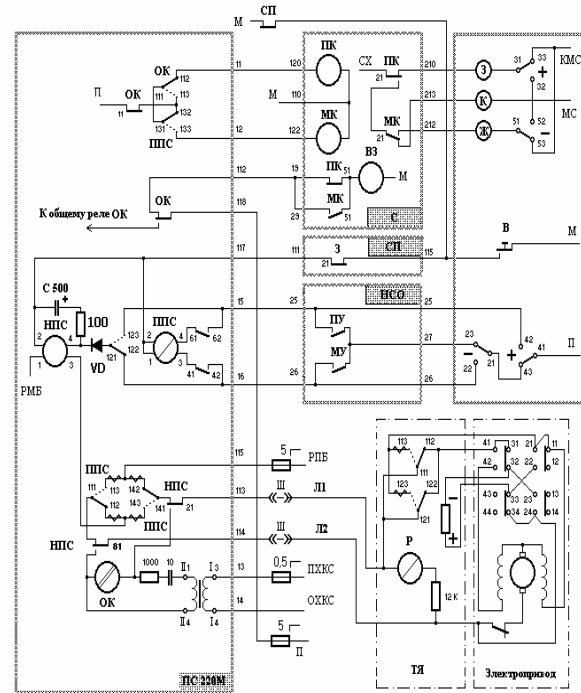


Рис. 8. Двухпроводная схема управления стрелкой

Характерные неисправности и методы их устранения.

1. При повороте стрелочной рукоятки стрелка не переводится, стрелка не потребляет ток (амперметр не отклоняется). Для устранения неисправности необходимо

убедится в исправности предохранителя в рабочей цепи стрелки. Если предохранитель исправен и при переводе стрелочной рукоятки в исходное положение контроль стрелки восстановился, то линейная цепь исправна. Подключив вольтметр в линейную цепь, проверяется поступление рабочего напряжения при переводе стрелочной рукоятки. Если рабочее напряжение в линейную цепь не поступает, то неисправен пусковой блок, в противном случае поиск неисправности проводится в электроприводе. Убедится в срабатывании (исправности) реверсивного реле, переводя стрелку с поста ЭЦ. Оставив стрелочную рукоятку в положении, при котором стрелка не переводится, вскрыть электропривод и убедиться в целостности цепи электродвигателя и замыкании рабочих контактов автопереключателя.

2. При повороте стрелочной рукоятки стрелка переводится (амперметр отклоняется), контроля не имеет. Для устранения неисправности необходимо проверить следующее. Если при переводе стрелочной рукоятки в исходное положение контроль стрелки восстановился, то необходимо проверить регулировку контрольных тяг (врубание контрольных контактов автопереключателя), если контроль стрелки не восстановился, то перегорел контрольный предохранитель или неисправен блок БВС.

3. При прохождении по стрелке подвижного состава стрелка кратковременно теряет контроль. В данном случае нарушена регулировка контрольных тяг. Для устранения неисправности необходимо проверить регулировку по установочным рискам.

4. При повороте стрелочной рукоятки стрелка не переводится, амперметр показывает повышенный ток. При возвращении стрелочной рукоятки в исходное положение амперметр сразу показывает отсутствие тока, контроль стрелки мгновенно восстанавливается. Для устранения неисправности необходимо проверить не заперта ли стрелка. Если нет, то заклинился шибера

за отсутствия смазки на запорных зубьях шибера и шибера.

5. При повороте стрелочной рукоятки стрелка не переводится, амперметр показывает заниженный ток. Для устранения неисправности необходимо проверить состояние фрикционного сцепления.

6. При переводе стрелки электродвигатель потребляет повышенный ток. Неисправность стрелочного перевода – грязные башмаки, затянута корневое крепление.

7. В конце перевода стрелки амперметр показывает большое потребление тока. Неисправность стрелочного перевода – пружинность остяков, сильно затянута корневое крепление, накат на рамном рельсе, сужение колеи у остяков.

Исследование влияния ухудшение изоляции линейных проводов Л1, Л2 схему управления стрелочных приводов на работу реле ОК

В вентильной контрольной цепи используется контрольное комбинированное реле ОК (см. рис. 8). Цепь обтекается переменным током независимо от положения стрелки, в связи с чем условие ее применения

$$U_2 < U_{ко}, \quad (8)$$

где U_2 – напряжение на вторичной обмотке контрольного трансформатора; $U_{ко}$ – напряжение отпуска контрольного реле ОК по переменному току при максимальном напряжении источника питания.

Конденсатор в схеме реле ОК исключает замыкание постоянной составляющей выпрямленного тока через низкоомную обмотку контрольного трансформатора и резистор, что значительно повышает КПД схемы. Резистор ограничивает ток в обмотках контрольного трансформатора при коротком замыкании линейных приводов и исключает ложные срабатывания контрольного реле ОК от токов переходных процессов, возникающих в контрольной

цепи при нахожденні стрелки в промезуточном положенні. Переходні процеси можуть виникнути в результаті неплотного прилегання контактів автопереключателя і щеток електродвигателя, ослаблення зажимов, комутації контрольної цепі контактами пускових реле і т. д. Для контрольної цепі, совмещенной с рабочей, такої режим небезпечен, коли лінійні проводи замкнуті через контакти автопереключателя і колектор електродвигателя, перехідне опір яких від сотрясеній може змінюватися в широких межах. В цьому випадку при розмиканні лінійних проводів залишковий заряд на конденсаторі викликає в контурі, утвореному обмотками контрольного реле ОК, трансформатором і резистором R , перехідний ток:

$$i \approx (U_m \sin(\psi + \varphi_1 - \frac{\pi}{2})) e^{(R+R_k)/L_k} \times \sin \frac{\omega_0 t}{\omega L_k \omega_0 C Z_1}, \quad (9)$$

де U_m – напруга в контрольній цепі; ψ – початкова фаза напруги; φ_1 – зсув фаз між током і напругою; R_k – активне опір реле; L_k – індуктивність контрольного реле; ω_0 – частота власних коливань в контурі; Z_1 – повне опір цепі до його розмикання, C – ємність в цепі реле ОК, t – теперішній час, ω – кутова частота.

Частота коливань перехідного току в цьому контурі ічислюється декількома Герц (до 10 Гц), тому тривалість напівперіодів таких коливань близька до тривалості спрацювання реле при постійному тоці, а амплітуда може набагато перевищувати ток повного підйому якоря реле, оскільки в контрольній цепі прикладено значительне напруга змінного току (170 В в цепі реле КМ-3000, спрацювання при постійному напругі 40 В). Найбільшу небезпечність пред-

ставляє перший період коливань перехідного току, маючого найбільшу амплітуду при $t = \frac{\pi}{2\omega_0}$

$$I_m'' = U_m e^{(R+R_k)/L_k} \sin \frac{\omega_0 \frac{\pi}{2\omega_0}}{\omega L_k \omega_0 C Z_1} = U_m e^{(R+R_k)/L_k} \sin \frac{\pi}{2\omega L_k \omega_0 C Z_1}. \quad (10)$$

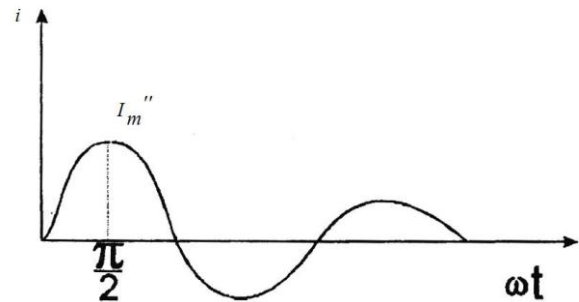


Рис. 9. Графік перехідного току в контрольній цепі

Таким чином, чим нижче напруга джерела живлення контрольної цепі і вище її активні опір до і після розмикання (R і R_k), а також менше ємнісне опір цепі, тим нижче амплітуда перехідного току. Тому при побудові вентильної контрольної цепі необхідно підвищувати ККД випрямлення для збільшення захисного опору R (або зменшення напруги U).

Якщо ж зазор незмінний (немає сотрясеній) і в ньому виникає іскріння, то при певних умовах з'являється стійкий випрямлювальний процес, що призводить до ложного спрацювання контрольного реле ОК. Це можливо при наступних умовах:

- міжконтактний зазор повинен бути достатньо малим і складати десяті частини міліметра. Знаходячись в такому зазорі колекторна пил, домішки щелочно-земельних елементів або пари вуглецю активізують газовий розряд в формі іскрового пробоя, так як мають низьку

работой выхода электрона и создают межконтактный поверхностный слой, обеспечивающий эмиссию электронов под действием внешнего ионизатора, электрического поля, при относительно небольшом приложенном напряжении;

- искровые пробои должны развиваться и переходить в дугу, но только в положительных или отрицательных полупериодах переменного тока.

Дуга в межконтактном зазоре может возникнуть, если напряжение источника питания и ток в электрической цепи превышают некоторые минимальные (критические) для каждого контактного материала значения. При меньших значениях тока или напряжения газовый разряд в зазоре носит форму искры, которая представляет собой быстрозатухающий дуговой процесс. Например, для медного (чистого) контакта, не участвовавшего в окислительных процессах, критический ток дуги в цепи постоянного тока составляет 0,43 А, для угольного – 0,03 А. Поэтому, если зазор в цепи переменного тока образован электродами из разнородных материалов (угольная щетка и медная пластина коллектора) или однородных с разной степенью загрязненности, то при определенных параметрах цепи в том полупериоде, когда катодом становится электрод из материала с меньшим критическим током, искровой пробой вызывает горение дуги.

Сопротивление зазора при дуге близко к нулю, а при искровых пробоях может составлять десятки и сотни Ом (это зависит от частоты повторных пробоев в течение полупериода, то есть от частоты собственных колебаний короткозамкнутой контрольной цепи, вызванной проскакиванием искры), поэтому ток в цепи носит форму импульсов различной полярности и различной амплитуды и содержит постоянную составляющую. Наибольшее значение постоянная составляющая приобретает при появлении пробоев только в одном полупериоде переменного тока, при определенной

настройке зазора происходит вследствие различного напряжения зажигания дуги контактных материалов.

Максимальное значение постоянной составляющей переходного тока примерно может быть вычислено по известному минимальному напряжению пробоя и критическому току дуги, время проводимости контактного зазора при дуге в течение каждого полупериода (угол отсечки):

$$\frac{1}{2}\theta = \pi - \arcsin \frac{U}{U_m} - \arcsin \frac{I_0}{I_m} - \varphi, \quad (11)$$

где I_0 – критическое значение тока дуги; φ – сдвиг фаз тока и напряжения в цепи.

Вычисленный угол отсечки цепи с реле КМ-3000 составляет $\theta = 60^\circ$, измеренный по осциллограмме $\theta = 56^\circ$. Используя функцию Берга, получено:

$$U = (\sin \theta - \theta \cos \theta) \frac{U}{\pi} (1 - \cos \theta) \quad (12)$$

Максимальное напряжение постоянной составляющей на контрольном реле при искрении на коллекторе составило $U_0 = 0.24U_m$.

Ложное срабатывание контрольной цепи при искровых разрядах можно предотвратить несколькими способами. Один из них заключается в ограничении тока в цепи до значения ниже критического только увеличением активного сопротивления R . Поскольку рост емкостного сопротивления цепи, снижая устойчивое значение тока, не уменьшает импульсы переходного тока, возникающие как результат искрового пробоя. Амплитуда этих импульсов может в несколько раз превышать амплитуду тока установившегося режима. Защитное сопротивление R по абсолютному значению должен удовлетворять условию

$$R \geq 2 \sqrt{\frac{L_k}{C}} \geq \left| \frac{U}{0.03} \right|. \quad (13)$$

где L_k – индуктивность короткозамкнутой контрольной цепи; U – значение напряже-

ния источника питания, действующее в контрольной цепи; 0,03 А- минимальное значение тока короткого замыкания контактного зазора, при котором возможно образование дуги.

Такой способ защиты реализован в схеме с блоком БКСМШ. Для того, чтобы данная защита была эффективной, в контрольной цепи следует устанавливать индивидуальный изолирующий трансформатор. При общем трансформаторе защитные резисторы одной схемы могут шунтироваться защитными резисторами другой схемы через емкостное сопротивление жил кабеля.

В ответственных двухпроводных схемах управления стрелкой установлены контрольные реле ПК и МК, в цепи которых в результате проверки соответствия положения контактов контрольного реле ОК и пускового реле ППС осуществляется защита от ложного контроля при несрабатывании поляризованного якоря реле ОК. Однако эта защита становится эффективной, если реле ППС срабатывает первым, а реле ППС – вторым.

Для исследования влияния ухудшения изоляции линейных проводов на работу контрольного реле ОК типов КШ1-800, КШ1-1000 воспользуемся схемой, представленной на рис. 10.

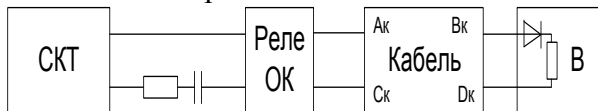


Рис. 10. Схема замещения контрольной цепи двухпроводной схемы управления стрелкой

Характеристики реле КШ1-800 и КШ1-1000 приведены в табл. 3, где $U_{от}$ – напряжение отпускания якоря, $U_{ср}$ – напряжение срабатывания реле, $U_{перегрев}$ – напряжение перегревания контактов реле, $U_{перел}$ – напряжение перелета якоря, ω – количество витков одной катушки; d – диаметр проводника катушки; m – масса реле.

Таблица 3

Характеристики реле КШ1-800 и КШ1-1000

Тип реле	$U_{от}, В$	$U_{ср}, В$	$U_{перегр}, В$	$U_{перел}, В$	$d, мм$	w	$m, кг$
КШ1-800	2,5	11	30	3,5-6,5	0,27	10000	3,86
КШ1-1000	2	10	32	3,5-5,5	0,25	11000	3,8

Определить индукцию в катушке можно по формуле

$$B = \mu\mu_0 IN / l_k, \quad (14)$$

где N – количество витков на единицу длины l , $N = \frac{w}{l}$; I – ток в катушке;

Магнитный поток можно определить так:

$$\Phi = NBS = LI. \quad (15)$$

Откуда,

$$L = \frac{BS}{I} = \mu\mu_0 INS / l_k = \mu\mu_0 w^2 S / l_k. \quad (16)$$

Так как $l_k = 2\pi d_k$, $S = \frac{\pi d^2}{4}$, то

$$L = \mu\mu_0 w^2 d^2 / (8d_k), \quad (17)$$

где d_k – диаметр катушки, мм.

По результатам расчета для реле КШ1-800 индуктивность равна $L = 2,147 \cdot 10^{-3}$ Гн, для реле КШ1-1000 индуктивность равна $L = 2,227 \cdot 10^{-3}$ Гн.

Ток нагрузки будет определяться величиной сопротивления, включенного после-

довательно со своим контрольным диодом: для минусового положения – 1,3 кОм, для плюсового на порядок меньше – 130 Ом.

Определим параметры кабельной линии питания и контроля стрелочных приводов длиной l при частоте питающей сети $f = 50$ Гц:

- емкостное сопротивление кабельной линии

$$X_k = \frac{1}{2\pi f C_k}, \quad (17)$$

- вторичные параметры (волновое сопротивление $Z_{\text{вк}}$ и километрический коэффициент распространения волны γ_k)

$$Z_{\text{вк}} = \sqrt{X_c R_k}, \quad \gamma_k = \sqrt{\frac{R_k}{X_c}} \quad (18)$$

где R_k – активное сопротивление кабеля.

Коэффициенты четырехполюсника кабельной линии в соответствии со схемой замещения, приведенной на рис. 10:

$$\begin{aligned} A_k &= D_k = \cosh(\gamma_k l), \\ C_k &= \frac{1}{Z_{\text{вк}}} \sinh(\gamma_k l), \\ D_k &= Z_{\text{вк}} \sinh(\gamma_k l), \end{aligned} \quad (19)$$

где коэффициент C_k можно найти следующим образом

$$C_k = \frac{k\epsilon 10^{-6}}{36 \ln\left(\frac{2a}{d_0}\right) \psi}. \quad (20)$$

где k – коэффициент укрутки; ψ – поправочный коэффициент $\psi = 0,644$; ϵ – диэлектрическая проницаемость изоляции; d_0 – диаметр жилы, $d_0 = 1.5d$, a – средняя длина изоляции жилы $a = \pi d_0$.

Для кабеля с диаметром жилы $d = 1$ мм

$R_k = 47$ Ом/км; $C_k = 50$ нФ/км,

для кабеля с диаметром жилы $d = 0,9$ мм

$R_k = 59$ Ом/км; $C_k = 50,003$ нФ/км,

для кабеля с диаметром жилы $d = 0,8$ мм

$R_k = 90$ Ом/км; $C_k = 50,003$ нФ/км.

Определим оптимальное значение сопротивления реле ОК с условием чувствительности к пробое изоляции.

Наименьшее значение критического сопротивления передачи будет при повреждении изоляции. Таким образом, сопротивление в концах будут равными.

При этих условиях получим оптимальное значение сопротивления изоляции при которой реле ОК будет без тока

$$r_{\text{изкр}} = \left(\frac{(R_p + r_{\text{сн}} + 0.375R_k l)}{2} \times (R_0 + 0.375R_k l) \right)^{0.5}, \quad (21)$$

где $R_p + r_{\text{сн}} = R = R_0$ зависит от расположения стрелки.

Сопротивление передачи кабельной линии при нормальном режиме $Z_{\text{нр}}$ при всех значениях $r_{\text{сн}}$ остается величиной постоянной, $r_{\text{сн}} = 1300$ Ом.

$$Z_{\text{нр}} = 2A_{\text{кл}}R + C_{\text{кл}}R^2 + B_{\text{кл}}, \quad (22)$$

где $A_{\text{кл}}$, $B_{\text{кл}}$, $C_{\text{кл}}$ – коэффициенты четырехполюсника кабельной линии при ухудшении изоляции.

Найдем отношение сопротивления передачи $Z_{\text{нр}}$ к сопротивлению $Z_{\text{нкн}}$

$$\frac{Z_{\text{нр}}}{Z_{\text{нкн}}} = \frac{2A_{\text{кл}}R + C_{\text{кл}}R^2 + B_{\text{кл}}}{11,64(R + 0.375R_k l)} = f(R), \quad (23)$$

Значит, защитное сопротивление можно определять так

$$R = -0.375R_k l + \sqrt{0,1 + R_k^2 l^2 + \frac{B_{\text{кл}}}{C_{\text{кл}}} 0,75 \frac{A_{\text{кл}}}{C_{\text{кл}}} R_k l}, \quad (24)$$

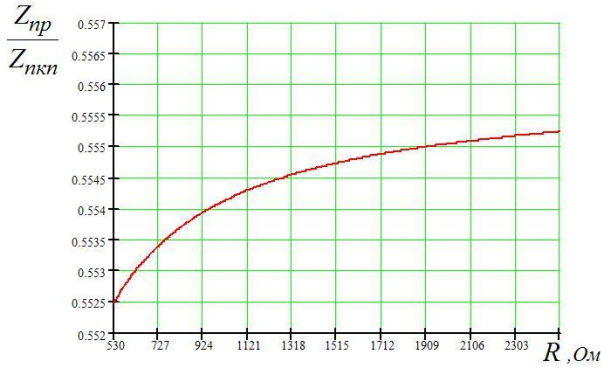


Рис. 11. Зависимость относительного сопротивления передачи от защитного сопротивления R

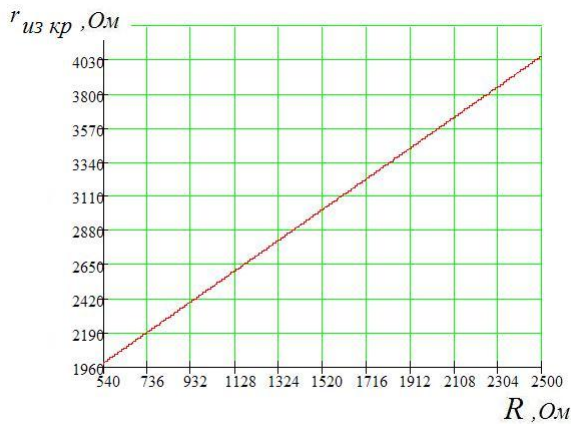


Рис. 12. Зависимость величины оптимальное значение сопротивления изоляции при которой реле ОК будет без тока от величины защитного сопротивления R

Найденное сопротивление будет оптимальным при выбранных начальных условиях.

$$A_{kl} = D_{kl} = \text{ch}(\phi l_{kp}) + \sqrt{1+2p} \text{sh}(\phi l_{kp}) \times \text{cth}(\phi l_{kp}) \sqrt{\frac{1}{4+8p}},$$

$$B_{kl} = \frac{Z_{ek} l}{\phi l_{kp}} \text{sh}(\phi l_{kp}) + \sqrt{1+2p} \text{ch}(\phi l_{kp} + 1) \times \text{cth}(\phi l_{kp}) \sqrt{\frac{1}{4+8p}},$$

$$C_{kl} = \frac{\phi l_{kp}}{Z_{ek} l} \text{sh}(\phi l_{kp}) + \sqrt{1+2p} \times$$

$$\text{ch}(\phi l_{kp} - 1) \times \text{cth}(\phi l_{kp}) \sqrt{\frac{1}{4+8p}}. \quad (25)$$

Параметр p характеризует состояние изоляции между линейными проводами и определяется по формуле:

$$p = \frac{R_{uz1} + R_{uz2}}{R_{uz1(2)}}, \quad (26)$$

где R_{uz1}, R_{uz2} – сопротивления изоляции линейных проводов Л1, Л2, $R_{uz1(2)}$ – сопротивление изоляции между проводами. $R_{uz1} = R_{uz2} = 25$ МОм.

Для расчетов примем, что параметр p , характеризующий изменение сопротивления изоляции изменяется в пределах $p = 0 \dots 10$. Уменьшение параметра p соответствует ухудшению изоляции между проводами. При норме изоляции в 25 МОм, параметр p принимается равным $p = 2$, а при ухудшении изоляции одного из линейных проводов он уменьшается до $p = 1$.

Таким образом, напряжение, то и мощность на реле в зависимости от сопротивления изоляции, т.е. от параметра p , определяются выражением

$$U_p(p) = A_{kl}(p)U_n + B_{kl}(p)I_n, \quad (27)$$

$$I_p(p) = C_{kl}(p)U_n + D_{kl}(p)I_n, \quad (28)$$

$$P_p(p) = U_p(p)I_p(p) \times \cos(\arg(I_p(p)) - \arg(U_p(p))). \quad (29)$$

Зависимость $U_p(p)$, $I_p(p)$, $P_p(p)$ представлена на рис. 13, 14, 15 соответственно. Как видно из графика при нормативном сопротивлении изоляции проводов $R_{uz1} = R_{uz2} = 25$ МОм напряжение на реле равно $U_p = 62,3$ В, ток $I_p = 0,42$ А, а мощность $P_p = 27$ Вт.

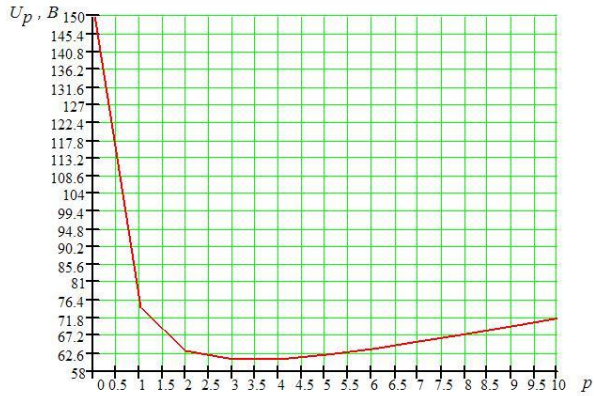


Рис. 13. График зависимости напряжения на реле U_p от параметра p

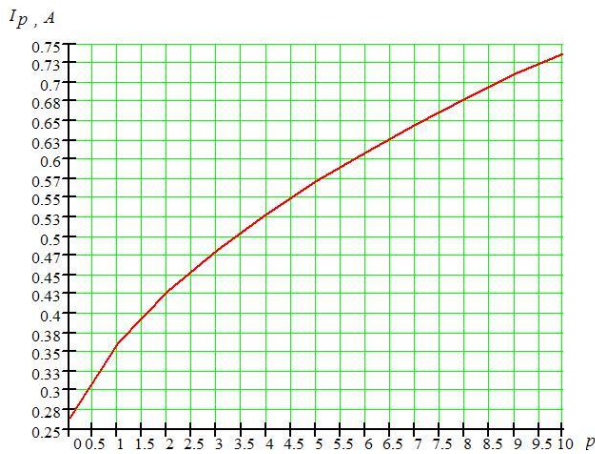


Рис. 14. График зависимости тока реле I_p от параметра p

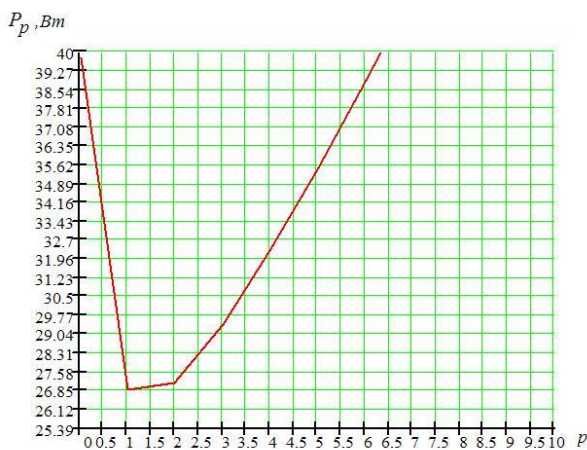


Рис. 15. График зависимости мощности реле P_p от параметра p

По результатам исследований было установлено, что реле ОК остается под током в то время, когда изоляция одного из линейных проводов ухудшается. Этот вывод был сделан на основании анализа зависимости мощности реле P_p от параметра p , характеризующего состояние изоляции между линейными проводами (см. рис. 15). При $p = 1 \dots 2$ мощность на реле изменяется незначительно, что ведет к тому реле ОК остается под током.

Анализ кривых $U_p(p)$ и $I_p(p)$ показал, что величина напряжение на реле ОК не является определяющим, поскольку даже при $U_p = 62,6 \dots 72$ В реле оставалось под током, который изменялся в пределах $0,4 \dots 0,75$ А (см. рис 13, 14).

Критическим является значение параметра $p = 0 \dots 1$, что соответствует ухудшению изоляции между проводами. При этом возможна потеря контроля стрелки или ложный контроль ее положения.

Для исключения неисправности вида «заниженное сопротивление изоляции линейных проводов Л1, Л2» контроля сопротивления изоляции проводов можно скорректировать периодичность проверки, внедрять современные методы диагностики и (или) совместить данные измерения с проведением профилактических испытаний кабелей автоблокировки (АБ).

Вывод

Таким образом, в данной статье выполнен аналитический обзор современного состояния конструктивного развития стрелочных электроприводов. Авторами рекомендуется разрабатывать и внедрять стрелочные привода подобные УПС, в которых используется единая координатная база (полый металлический брус) для взаимосвязанного местоположения исполнительного модуля, стрелочной гарнитуры и элементов монтажа к стрелочному переводу, рамному рельсу и остряку, что обеспечивает точность положения остряка относи-

тельно рамного рельса; снижение в 5...7 раз уровня динамических нагрузок от подвижного состава вследствие инерционности и высокой жесткости несущего элемента, пропорционально снижает риск отказа в механизмах и электрических коммуникациях по причинам износа и разрушений изделий; исключает засоры в месте расположения стрелочной гарнитуры; предотвращает механические повреждения стрелочной гарнитуры посторонними предметами и вандальными действиями; исключает техническое обслуживание фрикционной муфты и редуктора, и, следовательно, влияние субъективного фактора на их работоспособность; в узле электрокоммутации автопереключателя исключен риск отказов [12]. Такие приводы являются аналогами зарубежных разработок и являются предпочтительными к установке на вновь проектируемых скоростных железных дорогах Украины. Уменьшение числа отказов в узлах стрелочных приводов позволит повысить безопасность на железнодорожном транспорте за счет внедрения современных устройств автоматики, которые позволят улучшить показателей безотказности и ремонтпригодности.

Помимо изучения конструкции стрелочных переводов и электроприводов, применяемых на высокоскоростных магистралях, было дано научное обоснование к внедрению нового оборудования в устройствах автоматики – составлены уравнения движения стрелочного электропривода с целью описания физических процессов, происходящих при переводе стрелки, составлена одномассовая схема ЭП и получено уравнение приведенного момента.

Выполнен анализ видов неисправностей в стрелочных приводах и переводах. Одной из распространенных неисправностей является снижение изоляции линейных проводов Л1, Л2 двухпроводной схемы управления, одной из самых распространенных на железных дорогах Украины и применяемой для управления приводами постоянного тока.

По результатам экспериментальных и расчетных исследований было установлено, что реле ОК остается под током в то время, когда изоляция одного из линейных проводов ухудшается. Этот вывод был сделан на основании анализа зависимости мощности реле P_p от параметра p , характеризующего состояние изоляции между линейными проводами. При $p = 1...2$ мощность на реле изменяется незначительно и реле ОК остается под током. При этом величина напряжения на реле ОК не является определяющим, поскольку даже при напряжении на реле 62,6 ...72 В реле оставалось под током, который изменялся в пределах 0,4...0,75 А.

Критическим является значение параметра $p = 0...1$, что соответствует значительному ухудшению изоляции между проводами и может привести к потере и или ложному контролю ее положения.

Для исключения неисправности вида «заниженное сопротивление изоляции линейных проводов Л1, Л2» предлагается усовершенствовать технологию обслуживания стрелочных приводов, путем внедрения новых методов дистанционной диагностики и выполнения совместных профилактических испытаний кабелей автоблокировки и ЭЦ.

Библиографический список

1. Железные дороги: Общий курс [Текст] / под ред. М. М. Уздина. – М.: Транспорт, 1991. – 295 с.
2. Корнійчук, М. П. Технологія галузі і технічні засоби залізничного транспорту [Текст] / М. П. Корнійчук, Н. В. Липовець, Д. О. Шамрай – К.: Дельта, 2006. – 500 с.
3. Сороко, В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России [Текст] / В. И. Сороко, В. М. Кайнов; Энциклопедия, том 1. – 3-е издание; НПФ «ПЛАНЕТА», 2006. – 957 с.

4. Стрелочный электропривод [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Стрелочный_электропривод.
 5. Устройство переводное стрелочное УПС [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ntc-infotech.ru/>
 6. Электропривод стрелочный с внутренним замыкателем типа ВСП-150. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/postovoe-i-napolnoe-oborudovanie/704-elektroprivod-strelochnyi-s-vnutrennim-smukyaniem-tipa-vsp-150-a.html>
 7. Электропривод СП-6К [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://specprom-ekb.ru/elektroprivody_strelochnye/
 8. Электропривод СП-12У. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.signador.org/catalogue/ctl-priv.html>
 9. Электроприводы стрелочные невзрезные. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.aemz.elteza.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=420&Itemid=40
 10. Парфенов, В. И. Способ дистанционной диагностики состояния механической части стрелочного перевода с электроприводом постоянного тока [Текст] / В. И. Парфенов, А. Б. Руденко – Д. П. Украины № 8573, В61L7/08, опубл. 15.08.2005, бюл. № 8.
 11. Матвеева, О. Л. Электроприводы для железнодорожных стрелочных переводов [Электронный ресурс] / О. Л. Матвеева, Д. И. Селиверов // XXIII Студенческая международная научно-практическая конференция. «Научное сообщество студентов XXI века» –Новосибирск: СиБАК, 2014. – Режим доступа: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/5731>
 12. Устройство переводное стрелочное в полом металлическом бруске для скоростей движения поездов до 250 км/ч (УПС-250Н-70) [Электронный ресурс] / «Научно-технический центр ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», Инновации и нанотехнологии для железных дорог. – Москва. – Режим доступа: http://www.ntc-infotech.ru/index_p_7_p_3_sub1.html
 13. Сапожников, В. В. Электрическая централизация стрелок и светофоров [Текст] / В. В. Сапожников, В. А. Кононов. – М.: Маршрут, 2002. – 168 с.
 14. Казаков, А. А. Релейная централизация стрелок и сигналов [Текст] / А. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1984. – 312 с.
 15. Волошко, Ю. Д. Как работают стрелочные переводы под поездами [Текст] / Ю. Д. Волошко, А. Н. Орловский – М.: Транспорт, 1987. – 120 с.
- Ключові слова:** стрілочний електропривід, опір ізоляції, рівняння руху стрілочного електроприводу, несправності
- Ключевые слова:** стрелочный электропривод, сопротивление изоляции, уравнения движения стрелочного электропривода, неисправности
- Keywords:** switch motor, insulation resistance, the equation of motion of the switch motor, malfunctions
- Надійшла до редколегії 15.04.2013