

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА**

УДК 658.5

*В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ УРРАН**

Приведены результаты исследований неисправностей стрелок и причин их возникновения. Установлены причины отказов деталей и механизмов стрелочных электроприводов и методика их устранения. Разработана технология повышения надежности функционирования электродвигателей и других ответственных узлов стрелочных электроприводов. Обоснована методика принятия решений о продлении сроков эксплуатации электроприводов с истекшим нормативным сроком службы. Определена экономическая эффективность службы электроприводов с продленным сроком эксплуатации.

**Введение.** В настоящее время назрела необходимость в радикальном повышении эффективности целого ряда основных производственных процессов. Наглядным примером актуальности данной проблемы является то, что на отдельных участках железнодорожных линий более 70 % объектов инфраструктуры функционируют с превышением назначенного срока службы и с каждым годом этот показатель растет. Из-за недостатка финансовых ресурсов вместо регламентной замены распространенной практикой является неоднократное продление назначенного срока службы. Одним из наиболее ответственных элементов в железнодорожной инфраструктуре является стрелочный перевод. Часто крушения и сходы поездов происходят именно на них. При этом поток отказов в работе различных устройств на стрелках, в том числе отказов стрелочных электроприводов (СЭП), приводит к значительным техническим рискам, связанным с их эксплуатацией.

Согласно информации на официальном сайте ОАО «РЖД» на сети железных дорог России насчитывается порядка 130,5 тысяч СЭП. Около 58,2 % вышеуказанных СЭП выработали свой ресурс и нуждаются в замене или модернизации [1].

Совершенно очевидно, что оценка технического состояния СЭП с истекшим назначенным сроком службы и поэтапное продление их эксплуатации должно проводиться на основе научно обоснованных методов, обеспечивающих требуемые уровни безопасности и надежности перевозочного процесса. Выход из сложившейся ситуации видится в разработке методики оценки остаточного ресурса и совершенствовании технологии содержания СЭП с продленным сроком службы. Оценка остаточного ресурса СЭП выполняется методом объектного (узлового) анализа УРРАН, согласно которому предлагается проверять статистические данные, регистрируемые в информационных системах ОАО «РЖД», включая данные об отказах, предотказных состояниях и отступлениях от норм содержания [2].

Практика показывает, что в большинстве случаев брак, аварии и крушения на стрелках происходят из-за нарушений ПТЭ, при производстве работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств СЦБ. Оценка остаточного состояния СЭП после назначенного срока службы базируется на анализе неисправностей и причин их возникновения, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные неисправности стрелок и причины их возникновения

Характерные неисправности	Вероятная причина неисправности
При переводе стрелки электродвигатель потребляет повышенный ток	Загрязнены или не смазаны башмаки, сильно затянуто корневое крепление
В конце перевода стрелки амперметр показывает значительное возрастание тока	Сильно затянуто корневое крепление, вызывающее пружинность остряка, слишком плотное прижатие остряка, накат на рамном рельсе, сужение колеи у остряков
При переводе спаренных стрелок амперметр фиксирует нормальный перевод первой стрелки и затем ток исчезает. Контроль положения стрелок отсутствует. При обратном переводе стрелки контроль восстанавливается	Обрыв рабочей цепи между стрелками, как правило, на контактах автопереключателя первой переводимой с поста стрелки
Стрелка не переводится, амперметр фиксирует повышенный ток. При возвращении рукоятки (нажатии кнопки) в прежнее положение амперметр сразу же показывает отсутствие тока, контроль положения стрелки мгновенно восстанавливается	Стрелка заперта накладкой, заклинился шибер из-за отсутствия смазочного материала на запорных зубьях шиберной шестерни и шибера
Стрелка не переводится, амперметр показывает пониженный ток против нормы	Ослабло фрикционное сцепление
При прохождении по стрелке поезда теряется контроль ее положения	Зазор между зубом ножевого рычага и вырезом контрольной линейки почти отсутствует, т. е. не соответствует норме 1–3 мм
Рабочее напряжение на электродвигатель поступает, но якорь не вращается	Обрыв цепи между секцией обмотки якоря и коллекторной пластиной. Обрыв обмотки якоря или обмотки возбуждения
При работе электродвигателя наблюдается сильное искрение щеток	Загрязнение коллектора, слабое нажатие щетки на коллектор

Отказы СЭП в основном происходят из-за нарушения контакта автопереключателя (53 %), неисправности электродвигателя (30 %), механической передачи (8 %), нарушения контакта блокировочного устройства (4 %), заклинивания шибера (3 %) и др.

Установлены следующие неисправности электродвигателей постоянного тока и причины их возникновения.

1 Искрение щеток (при вращении якоря в одну сторону щетки искрят сильнее, чем при вращении в другую), плохое состояние щеток, неправильная установка щеткодержателей, слабое или слишком сильное нажатие на коллектор, возвышение одних пластин коллектора над другими, короткое замыкание в якоре, биение коллектора.

2 Электродвигатель медленно увеличивает частоту вращения и перегревается – излишне длительное включение; повторно кратко временный режим работы; работа на фрикцию; плохой ход из-за короткого замыкания, обрыва в одной или нескольких секциях якоря или замыкания между пластинами коллектора, а также из-за отсутствия смазочного материала в подшипниках.

3 Отсутствие вращения электродвигателя после включения: перегорание предохранителей; отсутствие щеточного контакта; обрыв в обмотке возбуждения или якоря.

Возможны следующие неисправности электродвигателей переменного тока и их причины.

1 Перегрев обмотки и сердечника статора: повышенное напряжение сети; при перегрузке электродвигателя сообщение витков в обмотке статора; неправильное соединение выводных концов обмоток; короткое замыкание между фазами.

2 Электродвигатель медленно увеличивает частоту вращения, ротор перегревается; плохой контакт между стержнями обмотки и коротко замыкающими кольцами из-за разрыва стержня или отрыва от кольца; обрыв в одной фазе статора при включении обмоток электродвигателя «звездой».

3 Отклонение в меньшую сторону от номинальной частоты вращения электродвигателя при номинальной нагрузке; пониженное напряжение сети; недостаточный контакт в цепи ротора или включение обмотки «звездой» на напряжение 127 В.

4 Неустойчивость работы электродвигателя: обрыв в фазе.

Обмотка якоря представляет собой замкнутую цепь, состоящую из 24 последовательно соединенных секций. При обрыве одной или нескольких секций в одной половине обмотки сопротивление якоря увеличивается вдвое. Для двигателя МСП-0,25 нормальное сопротивление якоря составляет 6 Ом, а при обрыве секций – 12 Ом.

Током нормального перевода называется ток, потребляемый электроприводом во время перевода стрелки. Его значение зависит от усилия, требуемого на перемещение острия данного типа стрелочного перевода с учетом его состояния и типа электродвигателя.

Эти факторы могут приводить к увеличению переводного усилия в 2–3 раза относительно минимального значения и в 1,3–1,6 раза относительно среднего значения. По данным [3], коэффициент трения острия о подушки может принимать значения 0,2–0,3. Нормативные значения усилия перевода стрелки для наиболее распространенных типов стрелочных переводов приведены в таблице 2. Зная усилие перевода стрелки, легко определить ток нормального перевода по графикам зависимости  $I = f(F)$  (рисунок 1) для различных типов электроприводов и электродвигателей. Например, для стрелки Р65–1/11 с электроприводом типа СП-6 и электродвигателем типа МСП-0,25-160 В усилие перевода стрелки составляет 1,1–1,7 кН (см. таблицу 2), а ток нормального перевода должен быть равен 1,7–2,1 А (см. рисунок 1, а). Аналогично определяются усилия перевода стрелки с электроприводами СП-8. Нормативные усилия перевода стрелки, указанные в таблице 1, соответствуют исправному состоянию стрелки и хорошему качеству смазки ее частей.

Таблица 2 – Нормативные усилия перевода стрелки

Тип рельсов и марка крестовины	Вид корневого крепления	Нормативное усилие перевода стрелки $F$ , кН	Максимальное вероятное усилие, кН	Коэффициент увеличения $K$ при несмазанной стрелке
Р43–1/9; 1/11	Шкворневое	0,7–1,0	1,2	1,5
Р431–1/9; 1/11	Вкладышно-накладочное	0,3–1,1	1,5	1,4
Р50–1/9; 1/11	То же	0,8–1,2	1,6	1,4
Р65–1/9; 1/11	»	1,1–1,7	2,2	1,6
Р50–1/1S	»	1,9–2,3	3,1	–

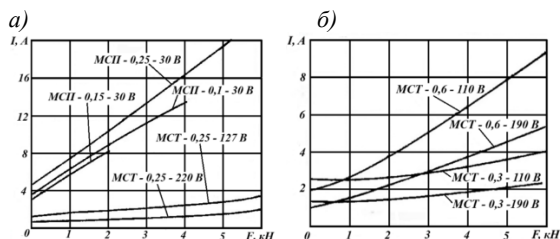


Рисунок 1 – Характеристики зависимости тока  $I = f(F)$  для электроприводов типа СП-6 (а) и СП-8 (б) с электродвигателем различных типов

Максимальные усилия вдвое превышают минимальные и могут быть в 1,3–1,5 раза больше нормативных значений. Для учета этой особенности допустимые токи нормального перевода рассчитываются исходя из максимальных вероятных усилий перевода стрелки (см. таблицу 2). Ток, потребляемый электроприводом при работе электродвигателя на фрикцию (когда перевод стрелки не закончен и острия не замкнуты), не зависит от состояния стрелки и определяется только регулировкой фрикционного сцепления, которая осуществляется затягиванием или ослаблением гайки фрикционной муфты.

Согласно Инструкции ЦШ/3820 при работе электродвигателя на фрикцию ток должен превышать ток нормального перевода стрелки в 1,25–1,3 раза. Разность токов электродвигателя при работе электропривода на фрикцию в сторону плюсового и минусового положений не должна превышать 10 % среднего арифметического значения обоих токов.

Наиболее уязвимым местом электропривода является автопереключатель. Неисправности контактов автопереключателя составляют 43–45 % общего числа отказов электроприводов. Отказы контактов автопереключателя возникают из-за неправильной регулировки, излома ножевых и контактных колодок, контактных пластин, рычагов, контрольных линеек и др. Большие допуски изготовления колодок и ножей, расхождения в размерах отверстий для крепления, низкое качество литья зачастую приводят к изломам колодок и ножей.

Нарушение электрического контакта между контактными пружинами и ножами автопереключателя происходит из-за понижения контактного нажатия менее 4 Н, излома карболитовых колодок, подгара контактов, уменьшения глубины врубания ножей в контактные пружины менее 9 мм, индентации или обледенения контактов, износа осей крепления ножевого рычага, повышения влажности внутри электропривода.

Фрикционные муфты выходят из строя из-за заклинивания дисков фрикционного сцепления, обусловленного износом дисков и перекосом трущихся поверхностей, отсутствия смазки на поверхности дисков, ослабления фрикции при резком понижении температуры (мороз) и резком повышении температуры (при смене сезона) смазки внутри муфты.

Неисправности редуктора возникают из-за заклинивания шестерен вследствие износа зубьев шестерен, вытекания масла из коробки редуктора из-за неисправности сальника и отсутствия смазки на поверхностях зубьев.

Шибера и шибера шестерня выходят из строя из-за заклинивания вследствие износа запорных зубьев шибера и шибера шестерни, отсутствия смазки на их поверхностях, неправильной регулировки зазора между острьяком и рамным рельсом после производства ремонтных работ на стрелке.

Курбельный контакт (блок-контакт) выходит из строя из-за излома арматуры и развинчивания крепежной гайки под воздействием вибраций и ударов от прохода колесных пар подвижного состава с ползунами по стрелочному переводу.

Контрольные линейки подвержены изломам в местах выреза для западания зуба ножевого рычага автопереключателя, излому ушек в соединении с контрольными тягами из-за усталости металла, наличия микротрещин, некачественной приварки ушек в заводских условиях, вибрации. Оказывают влияние сила удара зуба ножевого рычага в скос контрольной линейки и сила давления зуба при отсутствии зазора между ним и скосом контрольной линейки, вибрация.

Техническое обслуживание регламентировано Инструкцией ЦШ 3820. Перечень основных работ по техническому обслуживанию СЭП и периодичность

их выполнения определены в зависимости от классификации железнодорожных линий, предусматривающей пятиклассную структуру. Ряд работ выполняются по результатам осмотров. Учтены цифровые характеристики неисправностей и дефектов деталей и узлов, необходимые для оценки остаточного ресурса СЭП с истекшим назначенным сроком службы.

По истечении назначенного срока службы СЭП должно быть принято решение: направление в ремонт, списание, уничтожение, проверка и установление нового назначенного срока.

Продлению срока службы подлежат СЭП с истекшим нормативным сроком эксплуатации либо подвергшиеся непредусмотренным технической документацией воздействиям (за исключением взреза стрелки).

Ремонт и освидетельствование СЭП с истекшим нормативным сроком службы осуществляют в специализированном РТУ дистанции сигнализации и связи (ШЧ). Стрелочные электроприводы разбирают; чистят, промывают и сушат их детали; заменяют износившиеся части; окрашивают поверхности деталей; смазывают, проверяют и регулируют электродвигатели; маркируют, оформляют результаты ремонта и осмотра. Результаты освидетельствования сверяют с нормативными значениями технических показателей для допуска СЭП к эксплуатации по истечении назначенного срока службы [3].

Для организации оценки фактического состояния СЭП с истекшим назначенным сроком службы и установления возможности дальнейшей эксплуатации СЭП назначается квалификационная комиссия. В случае заключения о возможности дальнейшей эксплуатации СЭП, квалификационная комиссия принимает решения:

- а) о сроке следующего освидетельствования СЭП;
- б) о необходимости изменения периодичности осмотра отдельных деталей и механизмов СЭП;
- в) о проведении технических мероприятий по повышению надежности деталей и механизмов СЭП с указанием сроков выполнения.

Решения квалификационной комиссии оформляются соответствующим актом с приложениями в виде ведомости и методик проверки технического состояния СЭП.

Согласно информации на официальном сайте ОАО «РЖД» на сети железных дорог России около 16,42 % СЭП ежегодно, после ремонта и освидетельствования эксплуатируются с продленным на 10 лет сроком службы [4].

В целях повышения безопасности движения поездов, совершенствования ремонта устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи, повышения производительности труда на Белорусской железной дороге разработан и введен в действие стандарт организации СТП БЧ 19.366–2018 [5]. Изменения и дополнения, внесенные в данный стандарт, актуализируют требования к ремонту и освидетельствованию СЭП при определении назначенных сроков службы и межремонтных сроков капитального ремонта.

Основные виды работ для стрелочных переводов связаны с заменой или ремонтом СЭП (заменой и ремонтом составных частей), устранением люфтов в

шарнирных соединениях, при необходимости перезаделкой стрелочных и кабельных муфт, заменой изоляционных прокладок и проводов в шланге для прокладок монтажа, обновлением маркировки.

На железнодорожных станциях 4-го и 5-го классов, путевых постах, разъездах, обгонных пунктах, расположенных на малодеятельных участках, на путях не общего пользования планируется продление назначенного срока службы СЭП по результатам проведения комиссионного обследования их состояния в РТУ СЦБ. При положительном решении рабочей комиссии по обследованию состояния систем СЦБ и их элементов о возможности их дальнейшей эксплуатации с оформлением акта и указанием срока следующего комиссионного обследования определяется новый нормативный срок службы СЭП продолжительностью 10 лет и более. Технические показатели деталей и узлов, а также СЭП в целом, разрешенных для продления сроков эксплуатации, должны соответствовать стандарту СТП БЧ 19.275-2013 [6].

Технология выполнения этих работ предполагает разработку соответствующей методики.

Установлено, что суммарная продолжительность продлений назначенного срока службы СЭП не должна превышать половину среднего срока службы в соответствии со стандартом СТП БЧ 19.366–2018 [5].

При оценке технического состояния СП-6 (М; Бел), с целью продления срока службы выявляются детали и узлы, подлежащие ремонту. Неремонтопригодные механизмы СЭП заменяются новыми изделиями.

При определении целесообразности эксплуатации стрелочных электроприводов с продленным сроком эксплуатации важным фактором является экономическая эффективность. Техничко-экономическое обоснование устанавливает, что эксплуатация СЭП с истекшим сроком службы должна удовлетворять экономическим требованиям по единовременным затратам, эксплуатационным расходам, надежности, потреблению электроэнергии и т. п. Методика определения экономической эффективности эксплуатации новых СЭП и эксплуатации электроприводов с продленным сроком эксплуатации основана на сопоставлении стоимостных и натуральных показателей, характеризует продление эксплуатации СЭП с истекшим сроком службы в целом как с технической точки зрения, так и с экономической стороны. Эффективность рассматриваемого предложения выявляется путем сравнения технико-экономических показателей СЭП с истекшим сроком службы с показателями использования новых электроприводов.

На основании статистических данных сформирована расчетная калькуляция расходов по эксплуатации новых стрелочных электроприводов типа СП-6Бел, изготавливаемых на Гомельском электротехническом заводе и электроприводов с истекшим нормативным сроком службы, с учетом расходуемых запасных частей (таблица 3). Аналогичные статистические данные рассмотрены для СЭП, производимых в Российской Федерации в Брянском ЗАО «Термотрон-Завод» и поставляемых на Белорусскую железную дорогу.

**Таблица 3 – Калькуляция эксплуатационных расходов для нового электропривода типа СП-6Бел и оборудования, используемого на электроприводе с продленным сроком эксплуатации**

Оборудование и затраты	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
			Комплект нового электропривода СП-6Бел	Комплект электропривода СП-6Бел с продленным сроком эксплуатации
Электропривод СП-6Бел	комплект	1	4300,0	645,0
Электродвигатели	шт.	1	–	450,0/150,0
Фрикционная муфта	узел	1	–	230,0
Жгут проводов	шт.	1	–	120,0
Контактные колодки автопереключателя	руб.	–	–	140,0
Сальники уплотнений шибера, контрольных линеек	комплект	1	–	40,0
Непредвиденные отказы деталей электроприводов	руб.	–	215,0	215,0
<i>Итого</i>			4515,0	1840,0
Транспортные расходы	%	4	172,0	172,0
<b>ВСЕГО</b>			<b>4687,0</b>	<b>2012,0</b>

*Примечание* – Остаточная стоимость электропривода типа СП-6Бел с истекшим 20-летним сроком эксплуатации принята равной 645,0 руб.; стоимость нового электродвигателя МСП-0,25 составляет 450,0 руб.; стоимость отремонтированного электродвигателя МСП-0,25 равна 150,0 руб.; непредвиденные отказы деталей СЭП приняты равными 5 % от первоначальной стоимости и составляют 215,0 руб.

Стоимость ревизии и ремонтных работ от остаточной стоимости комплекта стрелочного электропривода типа СП-6Бел определена в размере 7,5 % и составила 48,37 руб. Стоимость материалов, не учтенных ценниками, от остаточной стоимости стрелочного электропривода определена аналогичным образом и равна 48,37 рублей. Удорожание стоимости ревизии и ре-

монтных работ вследствие их малого объема определено в размере 3 % и составило 19,35 руб. Накладные расходы определены в размере 15,8 % и составили 101,9 руб.

Амортизационные отчисления, дополнительная заработная плата электромехаников с начислениями, определены на основе среднегодового количества об-

служиваемого оборудования (10,5 тысяч комплектов СЭП на полигоне Белорусской железной дороги) и действующих норм расходов на единицу, цен на материалы и запасные части. Расходы на оплату электроэнергии приняты такими же, как и при эксплуатации СЭП рабочего ресурса и не учитываются в суммарных эксплуатационных расходах для электроприводов с продленным сроком эксплуатации.

Определение годовой экономической эффективности эксплуатации стрелочных электроприводов с продленным сроком эксплуатации осуществлено с учетом сокращения ежегодных закупок новых электроприводов с 500 комплектов до 325. Общая годовая экономия денежных средств при эксплуатации СЭП с продленным сроком службы, в масштабе Белорусской железной дороги, составит 281665,0 руб.

**Заключение.** Выполненные исследования обосновывают разработку стандарта организации СТП БЧ для Белорусской железной дороги по оценке технического состояния СЭП при продлении сроков эксплуатации. Необходимо детализированное технико-экономическое обоснование перспективности организации работ по продлению сроков службы СЭП с истекшим нормативным сроком службы на 10 лет и более.

Получено 09.02.2024

**V. V. Burchankov.** Decision making to extend the operation life of point electric drives based on the URRAN methodology.

The results of studies of arrow malfunctions and the causes of their occurrence are presented. The causes of failures of parts and mechanisms of switch electric drives and methods for their elimination have been established. A technology has been developed to improve the reliability of the operation of electric motors and other critical components of switch electric drives. The methodology for making decisions on extending the service life of electric drives with an expired standard service life is substantiated. The economic efficiency of the service of electric drives with an extended service life has been determined.

#### Список литературы

1 **Хорошев, В. В.** Непрерывный контроль механических параметров подвижных элементов стрелочных электроприводов / В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 1, С. 69–83.

2 Оценка остаточного ресурса стрелочных электроприводов / Н. В. Бугреев [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 4 (94). – С. 36–41.

3 **Белоусов, С. В.** Проявление неисправностей стрелочных переводных устройств с электродвигателями переменного тока на графике мощности перевода / С. В. Белоусов // Автоматика на транспорте. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 632–654.

4 Методическое руководство по управлению ресурсами и рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики на основе методологии УРРАН : утв. Управлением автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» от 5.03. 2012 г. № 334. – 167 с.

5 СТП БЧ 19.366–2018. Организация ремонта технических средств в хозяйстве сигнализации и связи. Сроки службы и межремонтные сроки основных устройств и оборудования железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : утв. 07.02.2018 г. № 118НЗ; с изм. № 2 от 30.11. 2022 № 939 НЗ г. – Минск, 2018.

6 СТП БЧ 19.275-2013. Технологический процесс ремонта и проверки аппаратуры сигнализации, централизации и блокировки. Стрелочные электроприводы : утв. 23.12.2013 г. № 1263НЗ. – Минск, 2013.