

**Иванов С. Н., Ким К. К., Сарилов М. Ю., Семибратова М. В.**  
**S. N. Ivanov, K. K. Kim, M. Yu. Sarilov, M. V. Semibratova**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА**

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE POINTER DRIVE MECHANISM**

**Иванов Сергей Николаевич** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); тел. 8(914)1859120. E-mail: kem@email.knastu.ru.

**Mr. Sergey N. Ivanov** – Doctor of Engineering, Professor, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); tel. 8(914)1859120. E-mail: kem@email.knastu.ru.

**Ким Константин Константинович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (Россия, Санкт-Петербург); тел. 8(903)0965770. E-mail: kimkk@inbox.ru.

**Mr. Konstantin K. Kim** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department «Theoretical electrical engineering», Sankt-Petersburg State Transport University Emperor Alexander I (Russia, Sankt-Petersburg); tel. 8(903)0965770. E-mail: kimkk@inbox.ru.

**Сарилов Михаил Юрьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, 27. E-mail: sarilov@knastu.ru.

**Mr. Michail Yu. Sarilov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Machines and Apparatus of Chemical Production Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str. 27. E-mail: sarilov@knastu.ru.

**Семибратова Марина Владимировна** – кандидат технических наук, декан факультета заочного и дистанционного образования Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, 27. E-mail: fzdo@knastu.ru.

**Mrs. Marina V. Semibratova** – PhD in Engineering, Dean of the Faculty of Correspondence and Distance Education, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str. 27. E-mail: fzdo@knastu.ru.

**Аннотация.** Обеспечение безопасности транспортных систем за счёт повышения эффективности приводов стрелочных переводов представляет одну из актуальных задач, связанных с исследованием структурной надёжности реализующих их механизмов. Внедрение технических решений, направленных на объединение исполнительного устройства и привода и, как следствие, возрастание структурной надёжности представляют одно из перспективных направлений решения данной задачи. В статье показан подход к проектированию, оценке надёжности и технической реализации приводов стрелочных переводов. Очевидные преимущества электрифицированного транспорта, ориентированного на использование развитых рельсовых магистральных путей, также подтверждают актуальность внедрения новых типов приводов, имеющих улучшенные технико-экономические параметры. Интеграция, анализ и использование в составе электромеханического привода асинхронного двигателя с модифицированным короткозамкнутым ротором позволяют повысить надёжность транспортных систем за счёт более высокой степени автоматизации, улучшить динамические характеристики и качество технологических процессов транспортных объектов.

**Summary.** Ensuring the safety of transport systems by increasing the efficiency of switch drives is one of the urgent problems associated with the study of the structural reliability of their implementing mechanisms. The introduction of technical solutions aimed at combining the actuator and the drive and, as a consequence, the increase in structural reliability, is one of the promising directions for solving this problem. The article shows an approach to the design, evaluation of reliability and technical implementation of switch drives. The obvious advantages of electrified transport, focused on the use of developed rail main lines, also confirm the relevance of the introduction of new types of drives with improved technical and economic parameters. Integration, analysis and use of an induction motor with a modified squirrel-cage rotor as part of an Electromechanical drive can improve the reliability of

transport systems due to a higher degree of automation, improve the dynamic characteristics and quality of technological processes of transport facilities.

**Ключевые слова:** стрелочный перевод, надёжность, комбинированный электропривод, приводной механизм.

**Key words:** pointer, reliability, combined electric drive, drive mechanism.

УДК 656.21/22

### Введение

Используемые на современных магистралях электрифицированные стрелочные переводы относятся к наиболее ответственным устройствам железнодорожных коммуникаций. В эксплуатационной практике известны случаи схода вагонов на стрелке вследствие рассоединения шибер электропривода с шарниром из-за выпадения пальца шарнира. Имеют место случаи несрабатывания стрелки в плюсовое положение из-за потери контакта между щёткой и коллектором электродвигателя. В зимний период работа стрелочных переводов дополнительно усложняется климатическими факторами, например, наблюдается неплотное прилегание остряков к рамному рельсу из-за напесковки снега в промежутке между отдельными элементами. Анализ типичных причин отказов существующих электроприводов стрелочных переводов показывает: около 50 % – отказы, связанные с нарушениями работы контактной группы автоматического переключателя, 30 % – неисправности приводного электродвигателя, 10 % – повреждения механической передачи, 5 % – выход из строя блокировочного устройства, 3 % – заклинивания шибера [1 – 4]. Если учесть возможную тяжесть последствий нарушения работоспособности перевода, то устранение или снижение вероятности возникновения любой из указанных причин логично ведёт к повышению надёжности процесса железнодорожных перевозок в целом. На сегодняшний день существует комплект нормативно-технической документации, строго регламентирующий все стадии работ, связанных с монтажными работами и техническим обслуживанием стрелочных переводов [5 – 7]. При этом основное внимание в нормах и правилах уделяется вопросам оперативного и технического обеспечения безотказной эксплуатации стрелочных переводов, что требует не только соблюдения правил техники безопасности и инструкций по техническому обслуживанию и ремонту устройств сигнализации, централизации и блокировки, но и ввода автоматизированных контрольно-управляющих модулей, позволяющих снизить влияние человеческих факторов на работу систем рельсового транспорта.

Перечень требований, предъявляемых к стрелочным переводам, чрезвычайно широк, что ещё раз указывает на их важность для транспортной системы. Так, стрелочные переводы должны иметь марки крестовин не круче указанных в табл. 1.

Таблица 1

Марки крестовин стрелочных переводов

Назначение стрелочных переводов	Марки крестовин стрелочных переводов, не круче
Обеспечение безостановочного пропуска поездов при разветвлении главного пути и в развязках путепроводов	1/18; 1/22; допускается 1/11
Приём и отправление пассажирских поездов по боковому пути	1/11; перекрестные и одиночные переводы, являющиеся продолжением перекрестных, 1/9
Приём и отправление грузовых поездов по боковому пути	1/9; симметричные 1/6
На соединительных и прочих станционных путях	1/9; симметричные 1/6
Станционные, погрузочные и разгрузочные пути на соединительных и подъездных путях (исключение: приёмо-отправочные, подгорочные и пути следования длинномерных сцепов)	1/7; симметричные 1/4,5

При укладке на главных путях обгонных пунктов, разъездов и станций, стрелочные переводы должны обеспечивать:

- по прямому направлению пропуск поездов со скоростью, не меньшей, чем на прилегающих перегонах;

- на главных путях новых линий при скоростях до 140 км/ч вставки длиной не менее 12,5 м;

- при скоростях свыше 140 до 200 км/ч – не менее 25,0 м.

Эти примеры показывают, что на техническом уровне при реализации стрелочного перевода необходимы конструкции, позволяющие повысить эффективность путевого оборудования. Одним из таких решений, рассматриваемых в данной статье, является использование привода стрелочного механизма на основе электромеханического преобразователя переменного тока с короткозамкнутым ротором [8].

### **Постановка задачи**

Стрелочный перевод – устройство, обеспечивающее возможность перемещения железнодорожного подвижного состава с одного пути на другой. Он состоит из стрелок, крестовин и соединительных железнодорожных путей между ними. При наличии крестовины с подвижным сердечником применяется специальный механизм (электропривод), управляемый с центрального диспетчерского пункта.

В Российской Федерации используются стрелочные переводы трёх видов: одиночные (более 90 %), двойные и перекрёстные. В свою очередь, они подразделяются на обыкновенные, симметричные и несимметричные, что отражается на предъявляемых к ним требованиях (см. табл. 1).

Топология и скоростные характеристики магистрали определяют выбор перевода. Симметричные стрелочные переводы используют при необходимости обеспечить высокие скорости движения по ответвляющимся путям, т.к. они не требуют основного прямолинейного пути. Это связано с тем, что угол отклонения пути от прямолинейного направления составляет половину угла крестовины, а переводная кривая имеет радиус вдвое больше. Находят применение на приёмочных и отправочных путях (1/11; 1/9), сортировочных участках (1/6), путях вагонных, локомотивных и грузовых хозяйств станции.

При сложной топологии станционных путей искривлённые участки пути, соответственно, используют несимметричные криволинейные переводы.

Двойные и перекрёстные стрелочные переводы позволяют реализовать транспортное соединение, объединить три пути в один или, наоборот, разветвить один путь на три.

Согласно правил технической эксплуатации на железных дорогах Российской Федерации на главных, приёмочных и отправочных пассажирских путях применяются переводы не круче 1/11, одиночные и перекрёстные переводы (если одиночные продолжают перекрёстные) не круче 1/9; на приёмочных и отправочных путях грузового движения – не круче 1/9 (симметричные – не круче 1/6). При движении пассажирских поездов со скоростями до 200 км/ч применяются стрелочные переводы типа Р65 марки 1/11 с крестовиной с непрерывной поверхностью катания и гибкими острьями. В порядке исключения и только по согласованию с ОАО «РЖД» при разветвлении главного пути, в путепроводных развязках и других тяжёлых условиях допускается применение переводов 1/18 и 1/22. При этом независимо от марки перевода они получают необходимое механическое усилие от приводного механизма [9].

Таким образом, основным силовым элементом стрелочного перевода является его приводной механизм. Объединение привода и исполнительного устройства, действующего на подвижный остряк, полностью соответствует тенденции прямого развития принципа построения рациональной машины: максимальное приближение места преобразования одного вида энергии (электрической) в другой (механическую) относительно последнего вала.

Сравнение существующих типов приводных механизмов позволяет выделить следующие преимущества электромеханического привода на базе асинхронного двигателя с модифицированным короткозамкнутым ротором:

- отсутствие наиболее напряжённых в механическом отношении промежуточных редукторов, трансмиссий, вариаторов, мультипликаторов, цепных и ременных передач;

- возможность синтеза и оптимизация конструкции без снижения качества основных характеристик за счёт уменьшения количества структурных элементов;
- автоматизация транспортных систем с сохранением регулировочных и динамических характеристик;
- комплексное повышение эффективности оборудования (экономичности, надёжности);
- улучшение весогабаритных показателей.

Интеграция исполнительного механизма в приводной и использование применительно к стрелочным переводным устройствам обеспечивают возможность экономичного и точного поддержания требуемых эксплуатационных показателей и отвечают современным требованиям не только технологичности, электробезопасности и надёжности, но и экологичности.

Структурная схема стрелочного перевода приведена на рис. 1. Она включает перемещаемый элемент стрелочного перевода – остряк, на который непосредственно воздействует движущийся в осевом направлении вал совмещённого электромеханического преобразователя СЭЛП, подключённого к сети переменного тока через преобразователь частоты ПЧ, необходимый не только для формирования требуемого сочетания «напряжение/частота», но и для обеспечения работы информационно-управляющей системы ИУС посредством её связи через аналоговые и/или цифровые входы/выходы преобразователя с первичной системой сбора, обработки и хранения информации (на рисунке не показана). В структуре перевода может быть предусмотрен механизм свободного перемещения МСП, позволяющий переходить на оперативное ручное управление при отсутствии сетевого напряжения.

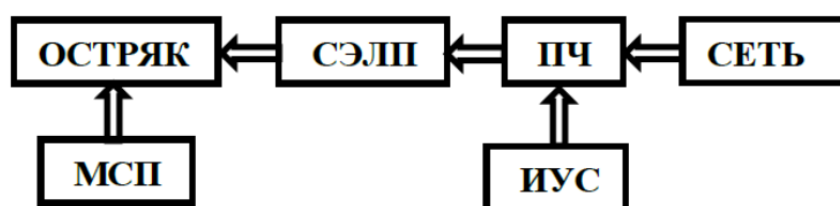


Рис. 1. Структура стрелочного перевода

Примером технической реализации привода является совмещённый электропривод с линейным перемещением исполнительного элемента (СЭЛП) на основе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, рассмотренный в [10]. Основным силовым элементом привода на базе электромеханического преобразователя с линейным перемещением исполнительного элемента является вращающаяся короткозамкнутая вторичная обмотка с внутренним расположением тяги, перемещение которой обеспечивает резьбовое соединение. Техническое решение конструктивно объединяет исполнительный и приводной механизмы, исключает дополнительные передаточные устройства и обеспечивает повышение эффективности привода.

Анализ напряжённо-деформированного состояния рассматриваемой конструкции показывает, что критериями работоспособности СЭЛП являются механическая устойчивость тяги и прочность элементов резьбовой части ротора и тяги, которые могут быть проверены в соответствии с существующей машиностроительной методикой [11]. Она позволяет выполнить проверочный расчёт и решить прямую задачу (оценить параметры спроектированного приводного механизма на соответствие заданным критериям) или обратную (определить размерные соотношения базового двигателя, удовлетворяющего эксплуатационным нагрузкам). Использование известной в теории надёжности модели «слабейшего звена» выделяет резьбовое соединение привода в качестве основного проектного параметра для анализа механической передачи. В условиях скольжения типа «винт-гайка» можно считать, что основным критерием работоспособности тяги является скорость износа резьбового сопряжения, на которое действуют растягивающие и сжимающие нагрузки, превышающие 20...25 кН при приведённой длине не выше 0,5 м.

### Теоретическая основа

В процессе разработки и проектирования СЭЛП возникает необходимость решения задачи немоделируемой динамики, обусловленной нелинейностью процессов преобразования энергии и необходимостью одновременного учёта связанных разнотемповых физических процессов [12]. На первом этапе допустимо аналитическое описание СЭЛП приближённой моделью обобщённого преобразователя, применяемой в электромеханике [13]. Введение модифицированного уравнения тяговой характеристики механизма линейного перемещения в математическую модель позволяет получить выражение для вращающего момента:

$$M_{вр} = 0,5F_p d_2 \left( \frac{D_{ср}}{d_2} f + \operatorname{tg}(\vartheta + \varphi) \right), \quad (1)$$

где  $M_{вр}$  – момент (вращающий) на валу;  $d_2$  – диаметр в резьбовой части вала ротора;  $D_{ср}$  – диаметр (средний) резьбовой части вращающегося ротора;  $f$  – коэффициент трения резьбового соединения;  $\vartheta$  – угол подъёма резьбы;  $\varphi = \operatorname{arctg}f_{пр}$ , здесь  $f_{пр}$  – коэффициент трения, приведённый к углу профиля.

Уравнение (1) определяет тяговую характеристику электромеханического преобразователя с линейным перемещением исполнительного элемента, устанавливающую связь с параметрами базового двигателя.

### Моделирование приводного механизма

Для точного определения диапазона выполнимости и целесообразности применения СЭЛП необходимо использование современной интегрированной САПР (CAD/CAE) системы для анализа напряжённо-деформированного состояния элементов перевода. Основные этапы и результаты моделирования привода рассмотрены в [10; 11]. Типовыми этапами проектирования являются следующие:

- создание твёрдотельной геометрической сборочной модели привода, интегрируемой в совмещённый с ним электромеханический преобразователь;
- создание параметрической сборочной 3D-модели и её параметризация;
- перенос расчётной геометрической модели в систему инженерного анализа с использованием нейтральных форматов (iges.) для обмена геометрическими данными между CAD/CAE-системами.

### Заключение

В статье предложен высокоэффективный механизм привода стрелочного перевода на базе совмещённого электромеханического преобразователя, разработанный с использованием 3D-моделирования. Определены основные эксплуатационные критерии работоспособности. Предложено аналитическое выражение, связывающее тяговые характеристики привода и размерные соотношения базового электромеханического преобразователя. Полученные результаты позволяют повысить надёжность и технологичность стрелочных переводов, применяемых для рельсового транспорта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Эксплуатационная работа станций и отделений / Э. З. Бройтман [и др.]; под ред. Э. З. Бройтмана. – М.: Желдориздат, 2002. – 424 с.
2. Савченко, И. Е. Железнодорожные станции и узлы / И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – М.: Транспорт, 1980. – 479 с.
3. Крейнис, З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути / З. Л. Крейнис, Н. П. Коршикова. – М.: УМК МГТС России, 2001. – 768 с.
4. Технология, механизация и автоматизация путевых работ / под ред. Э. В. Воробьева, К. Н. Дьякова. – М.: Транспорт, 1996. – 375 с.
5. Соколов, В. Н. Общий курс железных дорог / В. Н. Соколов [и др.]; под ред. В. Н. Соколова. – М.: УМК МПС России, 2002. – 296 с.
6. Инструкция по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации МПС РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n>.

7. СП 119.13330.2012. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95 / Департамент архитектуры, строительства и градостроительной политики. – М.: Минрегион России, 2012. – 52 с.
8. Пат. 2694933 Российская Федерация, МПК H02K 7/063, F16H 25/20, H02K 17/16. Электромеханическая система / А. А. Просолович [и др.]; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре филиал компании «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина». – № 2018122048; заявл. 14.06.2018; опубл. 18.07.2019. Бюл. № 2. – 2 с.
9. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации / Министерство транспорта Российской Федерации. – М.: ООО «Техинформ»; ООО Центр «Транспорт», 2012. – 521 с.
10. Иванов, С. Н. Моделирование комбинированного электропривода / С. Н. Иванов, К. К. Ким // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2019. – Т. 62. – № 3 (197). – С. 44-51.
11. Разработка и моделирование автоматического привода запорной арматуры локализации центробежного насоса / С. Н. Иванов и [др.] // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2019. – № II-1(38). – С. 69-75.
12. Синтез нечёткой системы управления герметичным приводом комплексной системы безопасности / О. С. Амосов и [др.] // XX Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2017). Сборник докладов в 3 томах. Т. 1. Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г. – С. 275-278.
13. Ким, К. К. Теплогенерирующие электромеханические устройства и комплексы: моногр. [Электронный ресурс] / К. К. Ким, С. Н. Иванов, В. М. Кузьмин. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. – 418 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/85851.html>.
14. Ким, К. К. Новый метод утилизации автомобильных шин с металлокордом / К. К. Ким, И. М. Карпова // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 11. – С. 24-27.
15. Пат. 2116604 Российская Федерация. МПК F41B6/00. Электродинамическая пушка / Гамаюнов А. В., Ким К. К.; заявитель и патентообладатель Петербургский государственный университет путей сообщения. – № 97106532/02; заявл. 18.04.1997; опубл. 27.07.1998. Бюл. № 2. – 2 с.