Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLV, вып. 1, 1961 г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ РУДНИЧНОЙ ЭЛЕКТРОВОЗНОЙ ОТКАТКИ

А. В. Рысьев

При современном состоянии электровозная откатка наиболее трудно поддается автоматизации в цепи всех процессов технологии добычи, поэтому в рудничном транспорте пока ограничиваются лишь производственной сигнализацией и связью. Иногда автоматизируют лишь перевод стрелок и открывание дверей при проходе электровоза. Основными препятствиями для автоматизации электровозной откатки являются неудовлетворительные характеристики подвижного состава, состояние откаточных путей и системы электроснабжения. Плохое верхнее строение и неровный профиль путей в выработках, где одновременно с движением электровозов проходят люди, усложняют операции управления электровозом. Из-за тяжелых условий работы электровозы оборудованы сериесными двигателями. Мягкость тяговых характеристик двигателей усугубляет неустойчивость режимов работы электровоза. Подвеска контактных проводов часто осуществляется неудовлетворительно, в питающих линиях отмечаются большие колебания напряжения.

Для автоматизации электровозной откатки необходимо коренное улучшение условий работы электровозов на линии и изменение элементов оборудования подвижного состава и систем электроснабжения. Автоматизированные электровозы должны быть освобождены от маневровых операций на обменных пунктах по комплектованию составов. Они должны совершать лишь челноковое движение на двухпутных линиях в пределах обменных пунктов. При подходе к обменному пункту электровоз автоматически должен быть перемещен из «головы» доставленного состава на смежный параллельный путь в «голову» нового состава. Для этого обменные пункты необходимо оборудовать специальными автоматическими передвижными площадками. При перемещении электровоза на параллельный путь одновременно автоматически должна осуществляться перецепка составов. Все движение вагонов на обменных пунктах в подготовке порожняка и разгрузке составов должно производиться другими механизмами по независимой схеме автоматизации.

Безотказная работа автоматизированных электровозов требует улучшения их тяговых характеристик. Скорость движения электровоза от момента разгона до подхода к специальным амортизирующим устройствам перед обменными пунктами должна быть практически постоянна. Это может быть достигнуто заменой сериесных двигателей другими, имеющими более устойчивые характеристики скорости.

Сотрудники кафедры общей электротехники и электрических машин Ленинградского горного института Д. В. Стрепетов и А. И. Иванов провели эксперимент получения нужных характеристик скорости. У компаундного двигателя постоянного тока мощностью 3,5 *квт*, из расчета полного насыщения магнитной системы на полюсах, были размещены две дополнительные компенсационные обмотки*. Обмотки включались между главными и вспомогательными щетками на коллекторе двигателя так, что одна из них питалась э. д. с., обусловленной магнитным полем междужелезного пространства под набегающей кромкой полюсов, а другая — под сбегающей кромкой полюсов. Компенсационные обмотки наматывались на полюсы машины по направлению магнитных полей одна навстречу другой. Причем обмотка, обусловленная величиной поля и э. д. с. набегающей кромки полюсов, при двигательном режиме усиливала ампер-витки сериесной обмотки машины. Следовательно, чем больше была нагрузка машины, тем мягче становилась характеристика скорости, приближаясь к сериесной. Вторая компенсационная обмотка, включенная на э. д. с., обусловленную индукцией под сбегающей кромкой полюсов, при этом незначительно ослабляла ампер-витки сериесной обмотки. При уменьшении нагрузки двигателя, особенно при переходе с двигательного на генераторный режим, магнитное поле под набегающей кромкой полюсов ослабевало, а под сбегающей кромкой полюсов усиливалось. При этом автоматически под действием компенсационных обмоток характеристика скорости двигателя становилась более жесткой и устойчивой. С уменьшением тока в якоре уменьшались ампер-витки главной сериесной обмотки и компенсационной, которая ее подмагничивала, и одновременно увеличивались встречные ампер-витки второй компенсационной обмотки, обусловленной величиной э. д. с. и поля под сбегающей кромкой полюсов. Пограничная скорость определялась ампер-витками только шунтовой обмотки машины.

При эксперименте было получено также эффективное улучшение скоростной характеристики в тормозном генераторном режиме. Обычно с переходом в генераторный режим при изменении направления тока в якоре ампер-витки сериесной обмотки размагничивают компаундную машину, и характеристика скорости становится неустойчивой. В экспериментируемой машине размагничивающее действие сериесной обмотки компенсировалось дополнительными обмотками. Компенсационная обмотка, подмагничивающее действие которой обусловлено индукцией под сбегающей кромкой полюсов, в генераторном режиме значительно усиливала магнитный поток и давала более устойчивую характеристику скорости.

Таким образом, использовав естественные автоматические изменения величины индукции в междужелезном пространстве машины при изменении нагрузки, получили автоматическое улучшение скоростной характеристики двигателя постоянного тока. На фактически полученной скоростной характеристике машины (рис. 1) видно, что скорость в зоне малых нагрузок весьма устойчива. Она остается устойчивой и в генераторном режиме до полной нагрузки. При больших нагрузках в двигательном режиме характеристики скорости значительно смягчаются. При автоматизированной откатке двигатели электровоза будут работать только в двигательном режиме, так как откаточные выработки проектируются с постоянным уклоном равного сопротивления. На основании лабораторных данных такой двигатель можно рекомендовать для полупромышленного испытания в автоматизированной электровозной откатке.

---

* Подробное описание устройства машины см. А. В. Рысьев. Двигатели рудничного автоматизированного электровоза. Записки ЛГИ, 1956, т. XXXIII, вып. 1.

Вторым весьма важным условием надежности работы автоматизированного электровоза является стабилизация силы тяги электровоза. Как известно, сила тяги на крюке электровоза обусловлена не только мощностью и надежностью работы двигателей, но и условиями сцепления колес электровоза с рельсами. В рудничной откатке, как правило, величина силы тяги лимитируется условиями сцепления колес электровоза с рельсами, а не мощностью двигателей. Машинисты электровоза для увеличения силы тяги часто подсыпают песок под ведущие колеса.

При исследовании режима работы электровозов в шахтах установлено, что одновременно с качением колеса ведущих осей имеют пробуксовку. Пробуксовки иногда составляют большой процент от окружной скорости, что существенно снижает производительность откатки и увеличивает общий расход энергии на истирание ходовых частей электровоза и головок откаточных рельсов. Кроме того, при движении электровоза непрерывно изменяется величина давления колес на рельсах, что обусловлено динамическими нагрузками на крюке и колебательными процессами подрессорной части конструкции электровоза. Эти явления, в свою очередь, вызывают резкие изменения величины силы тяги электровоза.

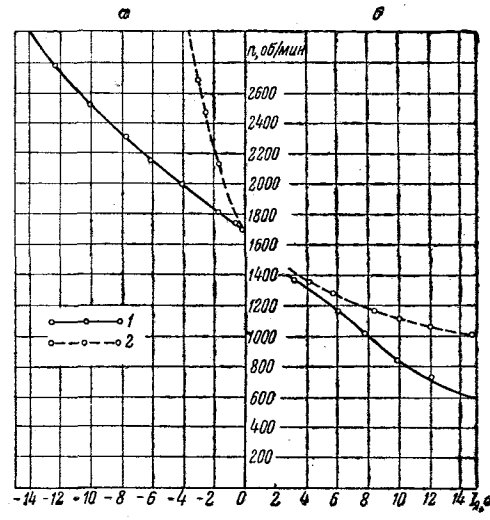


Рис. 1. Скоростные характеристики в генераторном (*а*) и двигательном (*б*) режимах:

n — число оборотов якоря, *об/мин*; $I_я$ — ток нагрузки якоря, *а*; *1*, *2* — характеристики соответственно с компенсационными обмотками и без них

С целью устранения указанных недостатков в работе электровозов и получения возможности регулирования величины силы тяги электровоза сотрудники кафедры общей электротехники, аспиранты и студенты электромеханического факультета провели большую научно-исследовательскую работу по изучению стабилизации силы тяги ведущих осей методом подмагничивания колес электровоза. Было установлено, что в существующих конструкциях полускатов электровозов катушки электромагнитов для подмагничивания колес лучше располагать с охватом ими нижней части колеса, как показано на рис. 2. В этом случае удобно подводить ток возбуждения к катушкам электромагнитов, прикрепленным к раме электровоза. Магнитное поле высокой индукции концентрируется в контакте колеса с рельсами.

При движении электровоза отскакивание колес или проскальзывание их относительно рельсов вызывает изменение (нарушение) магнитных полей в контактах, а следовательно, по закону электромагнитной индукции — индуктирование вихревых токов в массах колес и рельсов. Индуктирующиеся токи полями обратного знака препятствуют всякому изменению полей, связывающих колеса с рельсами. Механическое проявление изменения полей в контакте колеса с рельсами по закону электромагнитных сил стабилизирует процессы сцепления и увеличивает сцепную силу тяги электровоза. Рядом лабораторных и полупромышленных испытаний доказана возможность без изменения основных элементов конструкции ходовых частей увеличить силу тяги электровоза подмагни-

чиванием колес на 30—35%. Подмагничивание колес резко уменьшает пробуксовку и препятствует отрыву колес от рельсов при колебаниях электровоза.

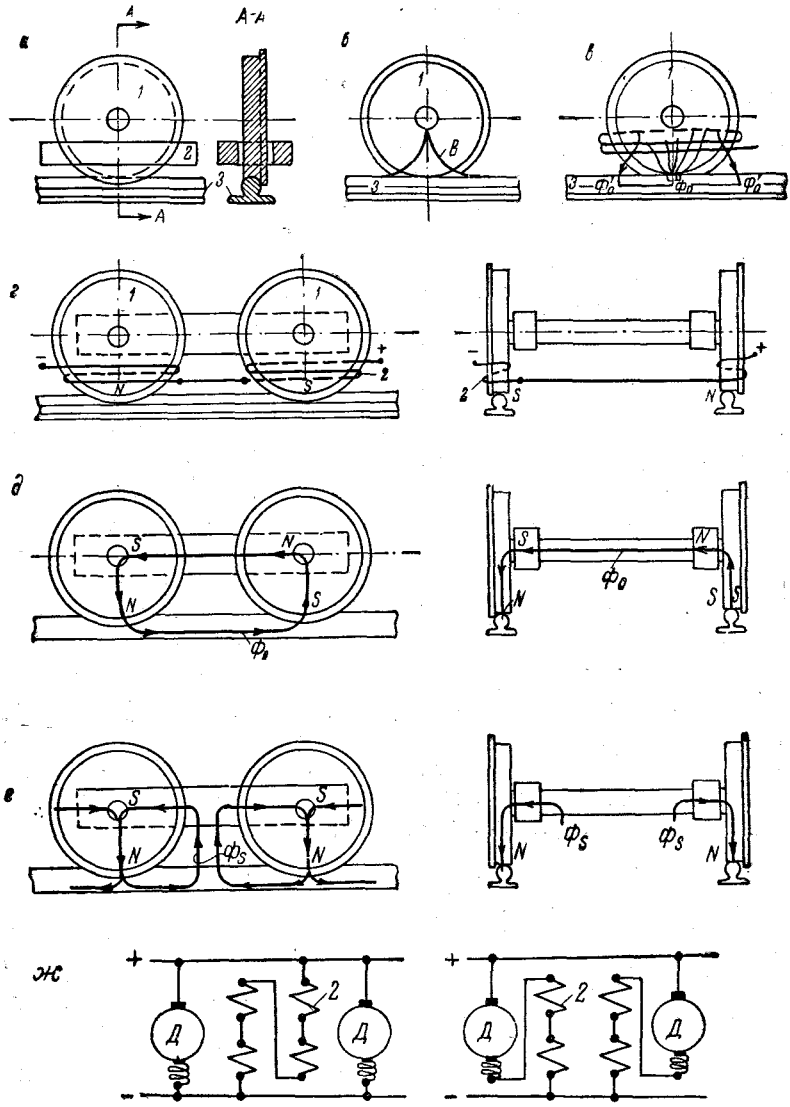


Рис. 2. Схемы включения электромагнитов:

а — расположение катушек относительно колес; *б* — кривая индукции поля в контакте колеса с рельсом; *в* — распределение силовых линий поля; *г* — последовательность включения катушек; *д* — контур поля при согласованной полярности катушек; *е* — контуры полей при несогласованной полярности катушек; *ж* — параллельное и последовательное включение катушек с тяговыми двигателями; *1* — колесо; *2* — катушка электромагнита; *3* — рельсы

На рис. 3 представлена осциллограмма, снятая при испытании электровоза типа АР-113 с подмагничивающими устройствами. На осциллограмме при записи слева направо от нижней нулевой линии фиксировались ординаты: силы тяги F и намагничивающего тока I, от верхней нулевой линии — поступательной скорости электровоза $v_п$ и полной скорости вращения колеса, включая пробуксовку $v_к$. В начале пуска при

некоторой величине силы тяги F имела место полная пробуксовка колеса при скорости $v_к$. С увеличением намагничивающего тока I в катушках сила тяги электровоза F увеличивалась, пробуксовка уменьшалась до нуля при постепенном увеличении $v_п$.

Результаты последних (1959 г.) полупромышленных испытаний рудничного электровоза с подмагничиванием колес, проведенных институтом Гипроникель в содружестве с Ленинградским горным институтом, дали основание рекомендовать внедрение таких электровозов в промышленность. Александровский машиностроительный завод изготовит опытный

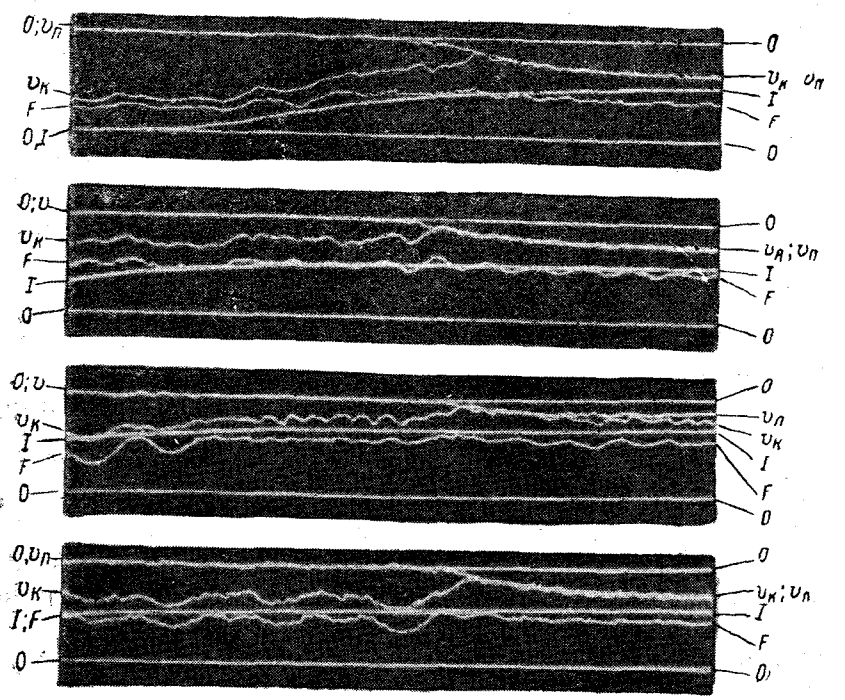


Рис. 3. Осциллограммы записи:

F — силы тяги; I — намагничивающего тока; $v_к$ — скорости вращения колеса; $v_п$ — поступательной скорости; 0 — нулевых линий

образец электровоза с электромагнитными стабилизаторами. Промышленное испытание электровоза предполагается провести на шахтах Эстонсланца.

В свете задач полной автоматизации электровозной откатки в вопросе электромагнитной стабилизации силы тяги остается еще ряд нерешенных вопросов. Необходимо более тщательно изучить возможность увеличения к. п. д. подмагничивающих устройств, комплексно с подмагничиванием колес решить вопрос электромагнитного торможения составов. Эффект подмагничивания возрастает с увеличением числа колес электровоза, поэтому необходимы дополнительные испытания многоколесного электровоза специальной конструкции. При этом должна быть изучена возможность простой гидравлической передачи момента вращения от общего двигателя на все ведущие оси электровоза. Надо провести дополнительные эксперименты с подмагничивающими устройствами при расположении катушек электромагнитов внутри разрезного колеса (рис. 4). В этом случае эффект подмагничивания будет значительно

эффективнее, так как магнитный поток в большей части будет замыкаться по железу колеса и рельсов, а не через воздух. При этом катушки хорошо защищаются от механических повреждений и не мешают устройству колодок — механических тормозов.

Полная автоматизация электровозной откатки потребует также изменения существующих схем электроснабжения. Наиболее простой схемой полной автоматизации будет такая, при которой управление электровозами на линии может осуществляться с общего пульта через контактную сеть. В этом случае откаточные выработки, пройденные в целиках и хорошо вентилируемые, должны быть изолированы от прохода людей. Тяговая сеть должна секционироваться на отдельные участки, питаемые индивидуальными сталеалюминиевыми проводами от тяговой подстанции через автоматические выключатели. Блокировка автоматических выключателей должна обеспечить положение, при котором на каждом секционированном участке сети находился бы в движении один электровоз. Во избежание наезда одного поезда в «хвост» другому за каждым из движущихся электровозов одна секция сети должна автоматически обесточиваться на время движения электровоза по секции. На тяговой подстанции должны быть источники постоянного тока с двумя напряжениями: одно — для питания постоянным напряжением всех секций сети, кроме тех, где возможен пуск электровоза в ход, другое — с непрерывно меняющимся напряжением для питания секций сети, где повторно подается напряжение на отключенную секцию за движущимся электровозом и где возможен пуск электровоза в ход. Напряжение на этих участках сети должно постепенно возрастать от нуля до максимума, обеспечивая плавный разгон электровоза, затем снова падать до нуля. Подключение этих секций сети через автоматы должно производиться только при напряжении, близком к нулю, и как только напряжение достигнет максимума, секции должны автоматически переключаться на источники тока с постоянным напряжением. Этим достигается автоматическое регулирование скорости электровоза при разгонах.

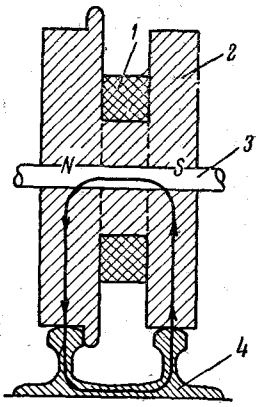


Рис. 4. Схема расположения катушек электромагнитов внутри колеса:
1 — катушка; *2* — колесо; *3* — ось; *4* — рельсы

Для питания всех движущихся электровозов на линии можно использовать ртутные выпрямители. Для питания пускаемых в ход электровозов необходим двигатель-генератор с автоматически непрерывно регулируемым напряжением по определенному закону, обеспечивающему плавный разгон электровоза при пуске в ход.

Таким образом, при двух видах напряжения на тяговой подстанции сравнительно простая блокировка автоматических фидерных выключателей позволяет получить полную автоматизацию электроснабжения и управления электровозами на линии. При этом рабочий будет совершенно освобожден от выполнения монотонных и утомительных операций при управлении электровозом. За ним останутся лишь функции общего наблюдения и устранения неполадок в схеме автоматики. Для удобства наблюдения за действием схемы автоматики и движущимися составами на пульте управления может быть устроена мнемосхема, которая должна воспроизводить световые сигналы по всем секциям тяговой сети, где в настоящее время ток потребляется электровозом.

При такой схеме автоматизации конструкция электровоза может быть весьма простой. Он должен иметь компаундный двигатель с пере-

дачами на ведущие оси, электромагнитные стабилизаторы для увеличения силы тяги и надежный многодуговой токосъемник. В каких-либо приборах управления, защитных приспособлениях, тормозах или песочницах на электровозе нужды нет. По предварительным расчетам, при полной автоматизации, даже при малой скорости движения, может быть достигнута весьма высокая производительность электровозной откатки и снижена себестоимость транспортирования. Например, при производительности крыла 350 *т/ч* и длине откатки 10 км, при скорости движения всего 5 *км/ч* потребуется 15 десятитонных электровозов весьма простой конструкции. При полезном весе поезда 100 *т* интервал между поездами будет 16 *мин.* Вся тяговая сеть может быть разбита на участки по 0,5 *км.* Электровоз на каждом участке сети будет двигаться в течение 6 *мин.* При такой малой скорости движения обеспечивается высокая надежность работы всех элементов оборудования схемы автоматики и движения поездов. При необходимости перевозки людей по этим же линиям могут быть пущены специальные быстроходные электровозы, управляемые машинистами.

По предварительным расчетам, предлагаемый вариант дает снижение стоимости перевозки на 45—50%.

Для производственных испытаний схемы полной автоматизации рудничной электровозной откатки необходимо осуществить на одной из шахт такую экспериментальную транспортную установку на большую длину и высокую производительность.

В настоящее время горная промышленность ставит неотложные вопросы изучения возможности применения частичной автоматизации электровозной откатки. Так, работники некоторых шахт Кольского полуострова и сотрудники Ленинградского горного института разработали следующие задачи: а) надежные схемы автоматизации и привода стрелочных переводов; б) конструкцию поворотного токосъемника для электровозов; в) надежные схемы автоматизации и привода для шахтных вентиляционных дверей.

При исследовании автоматизации стрелочных переводов ставилась задача усовершенствования соленоидного привода. Существующие соленоидные приводы на постоянном токе отличаются неудовлетворительной характеристикой силы тяги: в начале хода якоря соленоида сила тяги мала, к концу хода она резко возрастает. В результате начальное усилие часто является недостаточным для перевода стрелки, а увеличение силы тяги к концу хода вызывает удар. Существующие приводы не обеспечивают надежной фиксации положений стрелки. При проходе состава вагонов перья стрелки часто отжимаются от рельсов, и вагоны забуриваются. Применение же механических фиксаторов уменьшает и без того недостаточную начальную силу тяги привода, когда соленоид еще предварительно должен преодолеть силу пружин фиксатора. В лабораторных и полупромышленных испытаниях лучшие характеристики были получены для привода видоизмененной конструкции (рис. 5). Этот привод имел два соединенных медными болтами магнитно-изолированных корпуса с отдельными соленоидными катушками и якорями. Усилия на тягу стрелочного перевода передавались через мотыль, скрепленный с якорями в средней части привода. Положение стрелки фиксировалось специальным электромагнитным фиксатором-защелкой. Для расфиксирования якорей при переводе стрелки катушка фиксатора включалась при включении главных соленоидов с некоторым опережением.

Улучшение тяговой характеристики привода было получено магнитной изоляцией двух корпусов привода и особым расположением катушек соленоидов относительно их якорей. При этом уничтожалось магнитное

прилипание якоря в начале хода и отпадала необходимость предолевать пружины фиксатора. Удар в конце ослаблялся увеличением сопротивления магнитному полю при разрыве магнитной цепи по железу якоря и тем, что к концу хода центр массы якоря выходил за середину катушки соленоида и сила тяги меняла знак на обратный. Привод мог заглубляться под рельсы и не мешать движению по выработке. Герметичность привода достигалась тем, что подвижная тяга из привода выходила только в верхней части соединительной коробки через сальники.

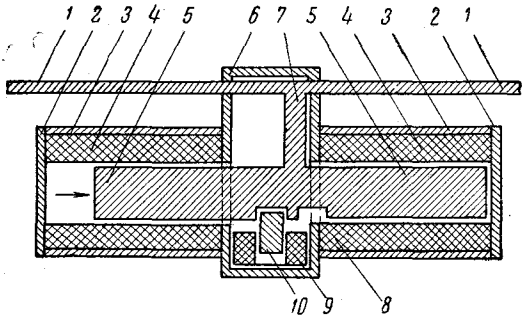


Рис. 5. Схема конструкции стрелочного привода с двумя магнитно-изолированными цилиндрами и электромагнитным фиксатором положения стрелки:

1 — тяга к острекам стрелки; *2* — торцовые фланцы; *3* — цилиндры корпуса; *4* — катушки соленоидов; *5* — подвижной якорь; *6* — соединительная изолирующая коробка; *7* — мотыль тяги; *8* — паз фиксатора; *9* — электромагнитная катушка фиксатора; *10* — сердечник фиксатора

При дальнейшем изучении вопросов улучшения тяговых характеристик, стрелочных переводов исследовалась возможность применения электропривода на переменном трехфазном токе с бегущим полем (рис. 6). Принцип действия и тяговые характеристики такого привода аналогичны характеристикам асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В отличие от обычного двигателя обмотка возбуждения здесь с большим числом пар полюсов создает не вращающееся, а бегущее магнитное поле. По законам электродинамики это бегущее поле вызывает продольное перемещение железного якоря привода.

При разработке конструкции поворотного дугового токосъемника для электровозов ставилась задача возможности токосъема с контактного провода, расположенного как в средней части выработки над путями, так и с боку выработки в местах, где средняя часть занята люковыми устройствами для выпуска руды.

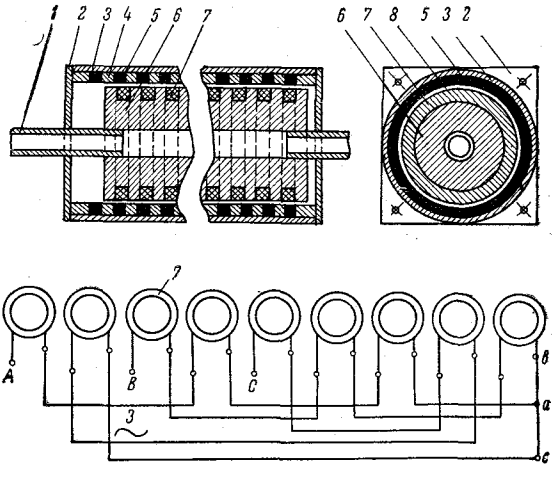


Рис. 6. Схемы конструкции и обмотки возбуждения стрелочного привода с электромагнитным бегущим полем:

1 — тяга к острекам стрелки; *2* — торцовые фланцы; *3* — корпус — железная труба; *4* — железные кольца; *5* — медные кольца; *6* — подвижной якорь с пазами; *7* — обмотка возбуждения; *8* — междужелезное пространство

В лабораторных и полупромышленных испытаниях на руднике удовлетворительно показал себя поворотный дуговой токосъемник следующей конструкции (рис. 7). Поворот токосъемника осуществляла самотормозящей червячной передачей при помощи рукоятки из кабины машиниста. Такая передача позволяет легко и быстро повернуть дугу в любом направлении и надежно фиксирует положение токосъемника. Дуга представляет собой двоякоизогнутую латунную петлю, удобную для цен-

трального и бокового токосъема с поджатием к проводу снизу. Опускание дуги токосъемника при повороте осуществлялось сжатием его пружины при помощи специального кулачкового устройства, действующего одновременно с поворотом червячного колеса. Такая конструкция токосъемника позволяет на ходу поезда в течение 5 *сек* переводить электровоз с центрального на боковой токосъем. В отличие от роликовых или ползунковых токосъемников, не было необходимости в воздушных стрелках на линии.

При решении вопросов автоматизации шахтных вентиляционных дверей ставилась задача улучшения надежности действия привода. Шахтные

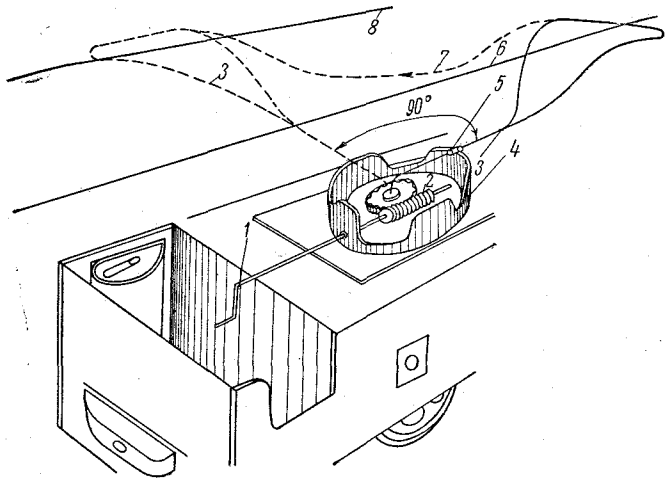


Рис. 7. Схема поворотного дугового токосъемного рудничного электровоза:

1 — рукоятка управления; *2* — червячная передача; *3* — дуга токосъемника; *4* — кулачковое устройство; *5* — ролик трения; *6, 8* — контактный привод; *7* — траектория поворота дуги токосъемника

испытания дверей с пневматическими двигателями позволили выявить недостатки этой системы и в первую очередь — неудовлетворительную динамику действия привода. Работники энергомеханической службы Мончегорского рудника в автоматизированной двери использовали гидроэлектрический привод поршневой системы, где асинхронный двигатель при помощи масляного насоса нагнетает масло в рабочий цилиндр и действием поршня через систему рычагов плавно открывает створки двери. Закрываются двери при помощи контргруза с одновременным выпуском масла из рабочего цилиндра в исходный резервуар. Такая конструкция дверей оказалась надежной при продолжительной работе в тяжелых шахтных условиях.

Для улучшения характеристик привода автоматизированных дверей и упрощения их конструкции в Ленинградском горном институте изучается возможность применения в качестве привода секторных двигателей трехфазного переменного тока с бегущим полем. Такие двигатели могут обладать хорошими пусковыми свойствами и без редуцирования скоростей и дополнительных передач надежно открывать и закрывать двери.