Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института, том XXII, 1948

Горное дело

К некоторым вопросам теории рудничной электровозной откатки

Доц. *А. В. Рысьев*

Произведенные нами наблюдения электровозной откатки на рудниках Коунрада, Магнитогорска, Караганды и Черемхово выявили значительное несоответствие производительности с проектными данными. В ряде случаев фактическая производительность электровозной откатки не достигала и 50% от расчетной. Хронометражные данные по Магнитогорскому руднику открытых горных разработок, а также по шахтам Черемховского угольного бассейна, свидетельствуют о непроизводительном расходовании времени на различные задержки и аварии из-за несогласованности в работе отдельных звеньев транспорта, транспорта с участками и карьерами, из-за отсутствия графика движения и плохого состояния путей и подвижного состава.

Произведенный нами хронометраж за работой 7-тонных электровозов на шахте имени Кирова Черемховского угольного бассейна в 1944 г. из 36 наблюдений дал следующие средние значения использования времени электровозов в процентах:

1. На движение порожних составов к пунктам погрузки	17%
2. На движение груженых составов к рудничному двору	20 „
3. На формирование груженых составов у пунктов погрузки	38 „
4. На разгрузку и дополнительные маневры в рудничном дворе	9 „
5. На набор песку и смазку подшипников электровоза и вагонов	4 „
6. На дополнительные простои в рудничном дворе	2 „
7. На непредвиденные задержки в пути .	10 „
Всего	100%

Из хронометражных данных видно, как непомерно велико время, затрачиваемое на формирование груженых составов у пунктов погрузки — 38% времени работы электровоза при такой значительной длине откатки (3,7—4,5 км).

Велико также время (9%), расходуемое на разгрузку саморазгружающихся вагонов типа Санфорд-Дей, какие эксплоатируются на шахте, и слишком велико время на другие простои и задержки. Такие значительные непроизводительные расходы времени на электровозную откатку объясняются, в первую очередь, плохой организацией труда и состоянием подвижного состава и откаточных путей. Ряд мероприятий, устраняющих имеющиеся недостатки в этом направлении на электровозной откатке, был дан в научно-исследовательской работе, проведенной кафедрой горной электротехники Ленинградского Горного института под руководством Феликса Николаевича Шклярского.

В данной работе ставится целью осветить некоторые вопросы, связанные с работой собственно электровозов. Нами было установлено, что низкая производительность электровозной откатки объясняется также плохим сцеплением колес электровоза с рельсами; что работа собственно электровоза не отвечает проектным данным. Фактические скорости движения электровозов едва достигают 50% скоростей, полученных по характеристикам двигателя, и величина состава поезда много меньше расчетной. Если по характеристикам установленных на них тяговых двигателей при данной силе тяги средняя скорость движения порядка 3,2 м/сек, то фактически мы имели скорость всего лишь 1,55 м/сек. Примерно такое же расхождение мы имели и по величине состава поезда по сравнению с расчетным.

Такая низкая скорость движения электровозов объясняется наличием проскальзывания — буксования колес электровоза. Этим в первую очередь и обусловлен такой большой износ (30—35 мм) бандажей колес электровоза, когда с внешней стороны колеса образуется как бы вторая реборда, значительно ухудшающая эксплоатационные качества электровозов. При этом нарушении профиля бандажей еще более уменьшается коэфициент сцепления колес с рельсами, а при движении на кривых происходит захват головки рельса или двустороннее трение.

Нами наблюдалось, что проскальзывание колес было беспрерывным при движении составов, даже с применением песка, причем величина потребления силы тока двигателями свидетельствовала о малых величинах коэфициента сцепления колес с рельсами, иногда не достигающих и одной трети от обычно принимаемых. Проскальзывание иногда начиналось сразу же при пуске двигателей в ход, чаще же — при переходе с последовательного на параллельное включение тяговых двигателей, при этом сила тока на два двигателя типа ДК 801А не возрастает и до 40 а, а следовательно, коэфициент сцепления колес с рельсами не достигает 0,073 против обычно принимаемых 0,2 без песка и 0,25 с песком. Иногда опытному машинисту электровоза удавалось обильным подсыпанием песка под колеса восстановить работу электровоза без скольжения колес, обычно же движение электровоза происходило с беспрерывным буксованием колес. Естественно, что такой необычайный режим работы электровоза вносит неко-

торые изменения в вопросы теории электровозной откатки в шахтных условиях. На открытых горных разработках по наблюдениям автора коэфициент сцепления колес с рельсами колеблется в пределах 0,17—0,23, и только при очень неблагоприятной сырой погоде наблюдается буксование колес на тяжелых подъемах. В условиях жел.-дор. тяги на торфопредприятиях (л. 2), в связи с весьма спокойным профилем пути и менее интенсивным движением, коэфициент сцепления принимается еще более высоким. И не на всех шахтах коэфициент сцепления одинаково низок. Даже на одной и той же шахте, где меньше налета угольной пыли на рельсы или рельсы омываются шахтной водой, коэфициент сцепления несравненно выше. Черемховские длиннопламенные угли дают пыль, весьма уменьшающую коэфициент сцепления. Для того чтобы установить точные зависимости величины коэфициента сцепления колес с рельсами от различных факторов, необходимо провести соответствующие испытания применительно к условиям отдельных шахт как угольных, так и рудных. Испытания на определение коэфициента сопротивления движению проводились для различных условий, но не было проведено испытаний на определение коэфициента сцепления колес с рельсами, и поэтому иногда они принимаются при расчетах неправильно.

Принцип действия электровоза

При работе электровоза без скольжения колес усилия двигателей через зубчатые передачи создают момент вращения относительно мгновенных центров в точках касания (сцепления) колес электровоза с рельсами, превращаясь тем самым в силу тяги на крюке электровоза. В работе электровоза при наличии скольжения колес сила тяги на ободе колес будет создаваться на принципе работы фрикциона трения, в результате трения колес о рельсы. И очевидно, сила тяги электровоза в данном случае, представляя собой реакцию сил трения на ободе колес, будет прямо пропорциональна величине коэфициента трения колес с рельсами.

Коэфициент сцепления колес электровоза с рельсами

Под коэфициентом сцепления колес электровоза с рельсами (ψ) понимается величина несколько меньшая, чем коэфициент трения (φ). Инженер Пуаре установил, что при прочих равных условиях коэфициент трения между колесом паровоза и рельсом зависит от скорости движения поезда следующим образом

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{1 + 0{,}02\,v},$$

где φ_0 — коэфициент трения в покое порядка 0,3,

v — скорость км в час.

Для рудничных условий, где скорость движения порядка 10—20 км/час, эта формула дает незначительные снижения коэфициента трения до $\varphi = 0{,}29$. Профессор Ломоносов рекомендовал пользоваться вообще величиной коэфициента покоя, считая, что точка касания

колеса с рельсом является мгновенным центром вращения бандажа, в которой скорость между колесом и рельсом равна нулю.

В действительности, при движении электровоза мы имеем проскальзывание колес вследствие неравенства диаметров и деформирования бандажей. Поэтому величина (ψ) несколько меньше (φ).

Позднейшие опыты показали справедливость этого предположения. В частности, по данным Grahm Wright,[1] значение коэфициента сцепления ( ) у подземных рудничных электровозов: для чугунных колес без песка — 0,2, при применении песка 0,25—0,3, для стальных колес без песка — 0,25, при применении песка 0,3—0,33.

По нормам шахтостроя для рудничной электровозной откатки принимается (ψ) равным: для мокрых (сырых) рельсов 0,15, для сухих рельсов 0,2; при подсыпке песка — 0,25. Как показали многочисленные опыты, на открытых горных разработках коэфициент сцепления зависит в сильной степени от атмосферных условий. Для сухих и теплых дней коэфициент трения можно принять $\varphi = 0{,}2$, при подсыпании песка он справедлив и для мокрых рельс. Для суровых климатических условий для морозных дней (φ) колеблется в пределах 0,167—0,15, причем это значение (φ) может быть реализовано при помощи песка в снежные дни и в присутствии наледи на рельсах.

Профессор В. А. Тимофеев рекомендует средний коэфициент сцепления принимать на 10% ниже коэфициента трения, учитывая пределы колебания от средней величины силы тяги при пуске двигателей в ход при помощи пусковых реостатов.

На основании наших наблюдений можно смело утверждать, что коэфициент сцепления для ряда случаев подземной электровозной тяги и открытых горных разработок значительно отличается от вышеприведенных значений, он в сильной степени зависит и от налета пыли и крошек полезного ископаемого на рельсы и от скорости движения электровоза.

С увеличением скорости движения электровоза из-за неровностей пути в профиле и в плане, в стыковых соединениях и из-за деформаций бандажей колеса подпрыгивают сильнее, происходит поочередная разгрузка осей. В связи с этим меньшая доля сцепленного веса электровоза реализуется в силу тяги. Кроме того, из-за неравенства диаметров бандажей, поворотов на закруглениях пути и более сильного «виляния» электровоза с увеличением скорости, увеличивается проскальзывание колес электровоза, которое само по себе резко снижает коэфициент трения.

В этом случае мы в некоторой доле имеем дело перехода от сцепления в режим работы трущихся поверхностей обода колес о рельсы, а следовательно, уже здесь применимы коэфициенты трения скольжения, а не покоя. Величина последних, как показали опыты, еще поставленные Дугласом Гальтоном, резко снижается от величины скорости трущихся поверхностей и от времени трения. При увеличении скорости от 0 до 100 км/час коэфициент трения плавно уменьшался от 0,3 до 0,06, и при постоянной скорости 38,3 км/час от начала трения в течение 40 сек. коэфициент трения упал с 0,18 до 0,09.

---

[1] Cool Mining Stand. Haudbook for El. Eng. § 229.

В нашем случае мы имеем дело с режимом работы, несколько отличающимся от условий чистого трения скольжения, однако присутствие пыли, крошек угля или других смазывающих рельсы веществ всегда может вызвать условия буксования колес. Начавшееся буксование наряду с движением поезда будет отличаться от чистого трения колес о рельсы лишь величиной относительной скорости, а следовательно, для условий частичного буксования вполне применимы законы трущихся поверхностей и справедливы коэфициенты трения скольжения, а не покоя.

Работа, производимая тяговыми двигателями

Работа электровозных двигателей при этом режиме расходуется не только на движение состава поезда, а и на трение колес электровоза о рельсы, снашивая до основания головку рельса железнодорожных путей и протирая желоба на бандажах колес электровоза. При этом моменты вращения на осях полускатов электровоза, производящий полезную работу движения состава поезда и вредную — трение колес о рельсы, будут равны между собой, так как плечи и силы их равны. Следовательно, работа, затраченная на эти две операции во времени, будет прямо пропорциональна их угловым скоростям при вращении колес; т. е. работа полезная, затраченная на движение состава поезда, будет прямо пропорциональна угловой скорости колес, превращенной в линейную скорость движения состава; а работа, затраченная на вредное действие трения колес о рельсы, будет прямо пропорциональна угловой скорости проскальзывания — буксования колес электровоза. Очевидно, для того чтобы установить доли вредной и полезной работы тяговых двигателей, достаточно определить соотношение скоростей проскальзывания — буксования колес и движения состава.

Скорости движения электровоза и пробуксовки колес

Очевидно, для эксплоатационных расчетов средняя скорость движения электровоза может быть определена делением длины пути на время движения. Истинная скорость вращения колес при наличии пробуксовки может быть определена по электромеханическим характеристикам тяговых двигателей, как отвечающая вполне определенной силе тяги при данном составе поезда, или определена при помощи спидометра, установленного на полускате электровоза. Тогда скорость проскальзывания — пробуксовки колес может быть найдена как разность между истинной скоростью на ободе колес электровоза и скоростью движения поезда.

Сила тяги электровоза и двигателей

В данном случае — при наличии скольжения сила тяги электровоза строго ограничивается коэфициентом трения колес о рельсы, при данном сцепном весе электровоза. При постоянной величине коэфициента трения будет постоянной величина силы тяги, вне зависимости

от возможностей двигателей. При постоянной величине силы тяги и при переменных уклонах профиля пути, скорость движения состава будет также переменной и в более резкой форме, чем в обычном режиме работы электровоза. При увеличении коэфициента трения, сила тяги увеличивается и вызывает увеличение скорости движения состава поезда, при некотором снижении скорости вращения двигателей, со-

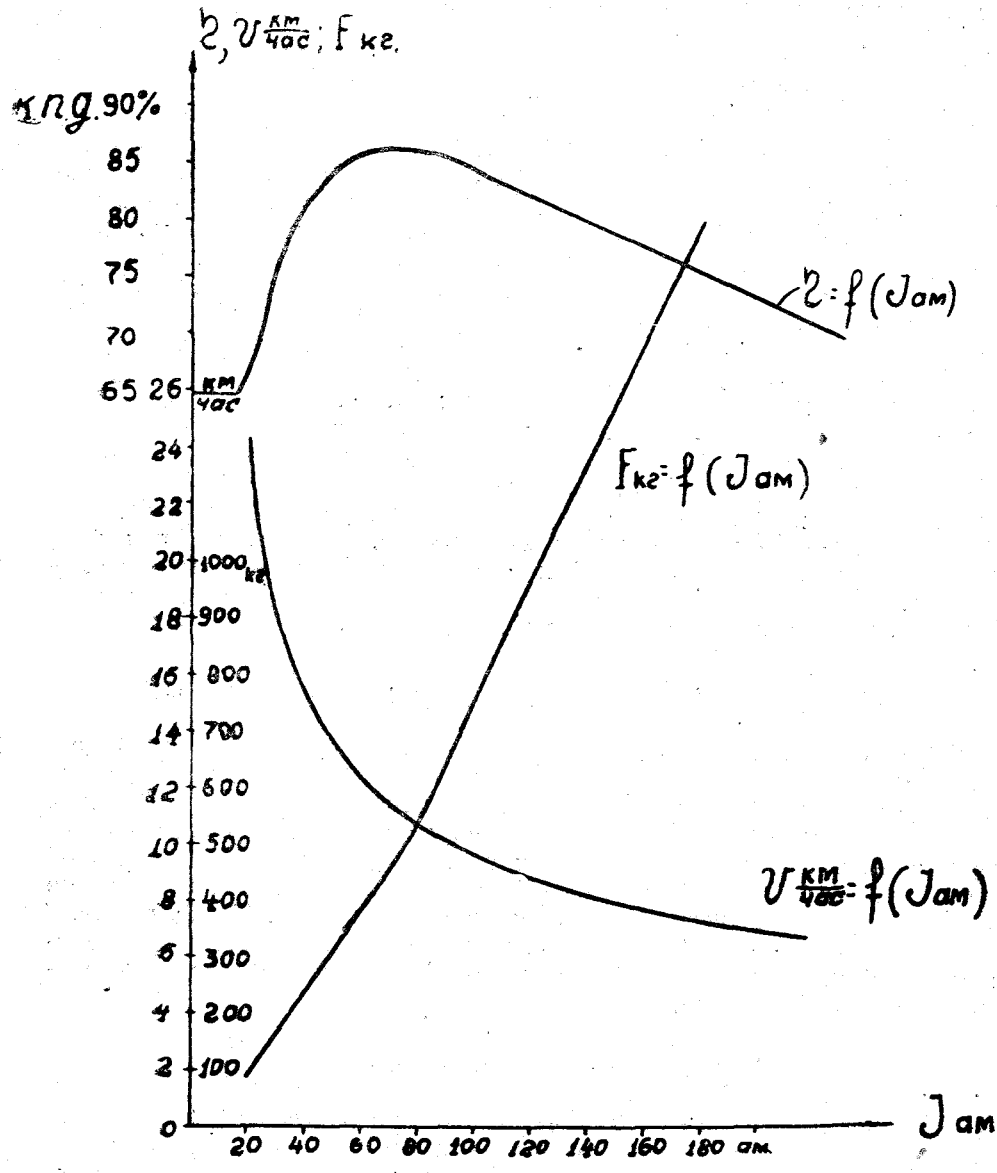


Рис. 1.

гласно их электромеханическим характеристикам; следовательно, скорость пробуксовки колес уменьшится, уменьшится доля работы на бесполезное трение колес. Тогда электровоз будет находиться в своеобразном движении с ускорением, хотя одновременно с увеличением силы тяги скорость вращения двигателей согласно характеристикам падает. Такой режим работы возможен до полного уничтожения скольжения, когда момент вращения двигателей целиком превращается в силу тяги электровоза. На участках пути, где коэфициент сцепления не обеспечивает необходимую величину силы тяги, наблюдается обратное явление. Здесь скорость движения электровоза начинает уменьшаться, нарастает величина проскальзывания — буксования колес, а скорость вращения двигателей увеличивается при уменьшении силы тяги в соответствии с скоростными характеристиками (рис. 1). Вопреки увеличению скорости вращения двигателей электровоз будет находиться в своеобразном периоде движения с замедлением. Если участок пути, где коэфициент трения не обеспечивает необходимую величину силы тяги для данного состава поезда, оказывается по длине больше, чем способен электровоз пройти с замедляющейся скоростью, то наступает полная остановка электровоза при буксующих колесах. Однако машинисты электровоза, как правило, не допускают до полной остановки электровоза, своевременно подсыпают песок на рельсы, искусственно увеличивая коэфициент трения колес с рельсами, а следовательно и силу тяги электровоза. Как уже установлено, что из-за переменного профиля пути даже при одной и той же величине коэфициента трения можно ожидать значительные изменения скорости движения электровоза, а если еще учесть, что на отдельных участках пути из-за различной степени засоренности, влажности путей не одинаков также и коэфициент трения, то становится понятным, почему так резко и беспрерывно изменяется величина скорости движения электровозов, работающих на автоматических характеристиках двигателей. Некоторым фактором, демпфирующим силу тяги на крюке, а следовательно, стабилизирующим скорость движения состава, является инерция движущихся масс поезда. Опытные машинисты, умело ее используя, водят поезда такой величины, для которых у менее опытных машинистов приходится применять двойную тягу. Как видно, в связи с необходимостью искусственного увеличения коэфициента трения в нужных случаях и использования инерционных масс поезда при движении, роль машиниста в производительности электровоза в данном случае увеличивается.

Коэффициент полезного действия электровоза

При нормальном режиме работы электровоза, когда коэффициент сцепления колес с рельсами обеспечивает необходимую силу тяги, при работе электровоза можно говорить лишь о к.п.д. двигателей и зубчатой передачи. При работе электровоза с пробуксовкой колес, естественно, дополнительно возникает вопрос о к.п.д. электровоза как фрикциона передачи силы тяги на ободе колес. Понимая под полезной работой работу, затраченную на движение состава, а под вредной — работу трения колес о рельсы, к. п. д. электровоза как фрикциона

трения — передачи может быть выражено отношением полезной работы к полной работе, совершенной двигателями. Следовательно, для определения к. п. д. электровоза как фрикциона передачи необходимо знать время движения, состав поезда и характеристику пути — длину и профиль. По величине состава и профилю пути можно определить силу тяги электровоза, последняя дает возможность найти скорость вращения двигателей. Эти две величины при известном времени позволяют определить полную работу двигателей, полезная же работа определяется по длине пути и силе тяги электровоза. Этот к. п. д. может быть найден также из соотношения скоростей движения состава к общей скорости на ободе колес.

Условия параллельной работы тяговых двигателей

В обычном режиме работы электровоза, без пробуксовки колес, параллельная работа тяговых двигателей при равенстве нагрузок обеспечивается следующими условиями или связями:

1. Одинаковой величиной напряжения на клеммах двигателей, питающихся от общей контактной сети.

2. Подобием электромеханических характеристик, имеющим максимальные отклонения 5—7%.

3. Одинаковой величиной коэфициента сцепления колес с рельсами.

4. Одинаковой величиной скорости на ободе колес заднего и переднего полускатов, если пренебречь возможными незначительными отклонениями в величине диаметров колес, в связи с их износом.

5. Одинаковой величиной силы нажатия колес на рельсы.

При обычной работе электровоза в двигательном режиме эти 5 связей надежно нивелируют возможные кратковременные отклонения по величине нагрузки двигателей и обеспечивают спаренную работу последних.

При работе электровоза с частичным буксованием колес, когда коэфициент сцепления колес не обеспечивает необходимую величину силы тяги, две из перечисленных 5 связей приобретают некоторую степень свободы. При буксовании может не сохраняться постоянство скорости заднего и переднего полускатов, и коэфициент сцепления колес с рельсами утрачивает свое значение.

Однако появляется дополнительная связь — равенство коэфициентов трения заднего и переднего полускатов, находящихся в одинаковом положении. Легко доказать, что дополнительная связь с тремя оставшимися в силе и в этом режиме работы электровоза обеспечивает спаренную работу двигателей при равенстве нагрузок. На самом деле, если представить себе, что один из полускатов получил значительное приращение скорости, следовательно, его ведущий двигатель сбросил с себя часть нагрузки. При подобии электромеханических характеристик двигателей, эту часть нагрузки должен принять на себя второй двигатель, в силу того, что суммарная нагрузка не может измениться. Однако второй двигатель, чтобы принять на себя большую величину силы тяги по сравнению с первым, должен иметь большей величины коэфициент трения или давления на ось, а так как эти ве-

личины суть равные у обоих полускатов, то, очевидно, равновесие нагрузок на двигатели должно восстановиться.

Очень непродолжительное по времени наблюдалось расхождение в нагрузках двигателей, когда один из полускатов работал без пробуксовки, а второй частично буксовал. Это явление объясняется тем, что коэфициент трения покоя несколько выше коэфициента трения скольжения, а полускат, работающий без пробуксовки, оказывается в данном случае при большей величине коэфициента трения покоя; полускат же, работающий с пробуксовкой, имеет коэфициент трения скольжения. Однако такое неравновесие нагрузок является весьма неустойчивым и наблюдается только при малых скоростях, чаще в период пуска электровоза и то только до первого стыкового соединения рельс. При движении электровоза такого неравенства в скоростях вращения колес не наблюдается, так как беспрерывно происходит разгрузка то одной, то другой оси полускатов в стыках рельс, тем самым всякое неустойчивое равновесие нарушается.

Таким образом, как видно из вышесказанного, четыре связи, остающиеся в силе, обеспечивают равенство нагрузок тяговых двигателей и в этом, несколько необычном, режиме работы электровоза.

Нагрев тяговых двигателей

Как известно, величина нагрузки на двигатель, в первую очередь, определяется допустимой величиной нагрева по классу изоляции машины. Величина нагрева двигателей пропорциональна силе тока нагрузки и обратно пропорциональна времени охлаждения. При обычной работе двигателей электровоза, когда нет пробуксовки колес полускатов, сила тока нагрузки прямо пропорциональна силе тяги электровоза. Сила тяги электровоза определяется по заданной величине состава, при известном профиле пути. Таким образом, в этом случае нагрев двигателей, а следовательно, их мощность могут быть определены по силе тяги электровоза, при известных величинах времени их действия.

Иначе обстоит дело с нагревом двигателей при работе с частичным буксованием колес электровоза. В этом случае нагрузка на двигатели складывается из полезной — на движение состава поезда и вредной — на трение колес о рельсы. Следовательно сила тока и нагрев двигателей здесь определяется не только работой, произведенной на движение состава поезда, но и вредной работой — трения колес о рельсы.

В данном случае величина силы тока также может быть определена по силе тяги из характеристик двигателя, и по силе тяги может быть найдена скорость вращения двигателя, отнесенная к ободу колес электровоза. Однако эта скорость не будет истинной скоростью движения электровоза, и по ее величине нельзя найти величины времени движения электровоза, необходимого при определении нагрева двигателей.

Истинная скорость движения состава поезда может быть найдена произведением скорости двигателей, взятой из характеристик, на коэфициент полезного действия электровоза как фрикциона передачи,

который выражает отношение скоростей: полезной скорости движения к полной скорости вращения колес, включая и скорость буксования.

При этом режиме работы электровоза снижается максимальная величина нагрузки на двигатели, однако в значительной степени возрастает время нахождения двигателей под нагрузкой. Это объясняется тем, что коэфициент трения сравнительно меньше коэфициента сцепления колес с рельсами, а скорость движения электровоза значительно снижена. Суммарная работа двигателей естественно больше, чем в обычном случае работы электровоза без пробуксовки колес.

Расход энергии и контактная сеть

Расход энергии на электровозную откатку определяется произведением времени работы на величину силы тока и напряжения соответственно контактной сети или на шинах преобразовательной подстанции. Как известно, величина силы тока прямо пропорциональна только коэфициенту трения колес о рельсы. Имея в виду, что коэфициент трения всегда меньше коэфициента сцепления, очевидно и сила тока по своей величине ниже той расчетной, по которой определяется сечение контактной сети с учетом пик нагрузки. Следовательно, при работе электровоза с буксованием колес происходит некоторая разгрузка мощности контактной сети и преобразовательной подстанции.

Иначе дело обстоит с расходом энергии на один рейс и удельным расходом энергии на тонно-километр откатки. Как известно, при наличии буксования колес, часть энергии тратится на вредную работу и, следовательно, общий расход энергии за один рейс на движение состава поезда будет больше на величину потерь на трение колес о рельсы. Соответственно будет больше и удельный расход энергии на тонно-километр откатки.

Для определения этих величин требуется полезный расход энергии на движение состава разделить на к. п. д. электровоза как фрикциона трения передачи, который всегда меньше единицы. Имея в виду, что коэфициент трения зависит от степени влажности, засоренности путей, а величина пробуксовок находится в прямой зависимости от коэфициента трения, следовательно и расход энергии на откатку будет в прямой зависимости от состояния железнодорожных путей. В этом случае засоренность откаточных путей влияет на величину расхода энергии как по линии увеличения коэфициента сопротивления движению состава поезда, так и по линии увеличения работы трения колес электровоза о рельсы.

Нетрудно убедиться, что при режиме работы электровоза с буксованием колес расход энергии в большей степени зависит от воли и сноровки машиниста электровоза. Произвольным увеличением коэфициента трения при помощи песка он может снижать степень буксования колес, а следовательно, снижать величину вредной работы трения колес о рельсы, снижая тем самым общий расход энергии на откатку. Следовательно, применение песка при данном режиме работы электровоза ведет к уменьшению расхода энергии на откатку.

Тот факт, что коэфициент трения колес о рельсы увеличивается с уменьшением скорости вращения колес, на практике учитывается

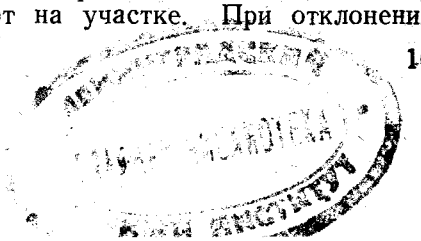
машинистами электровоза, и они при значительной пробуксовке колес иногда переводят контроллер управления электровоза на ступени пониженной скорости, чаще на последовательное включение двигателей. Это приводит к дополнительным потерям энергии в пусковых реостатах, но факт работы при последовательном включении двигателей компенсирует часть вредных потерь, уменьшая степень пробуксовки колес электровоза, а следовательно, увеличивая к. п. д. электровоза как фрикциона передачи.

График движения электровозов

При наличии буксования колес значительные изменения претерпевает график движения электровозов. Время движения в отдельные периоды удлиняется соответственно с увеличением степени проскальзывания буксования колес электровоза. Нарушается зависимость скорости движения состава поезда от величины нагрузки. По характеристикам тяговых двигателей интегрирование графика движения электровоза невозможно. Для определения истинной скорости движения в каждый данный момент необходимо скорость тяговых двигателей, отнесенную к ободу колес электровоза, умножать еще на к. п. д. электровоза как фрикциона передачи. То же необходимо сделать и при определении средней скорости движения состава, за некоторый промежуток времени или за полный рейс. Имея в виду, что скорость движения электровоза зависит не только от формы характеристики двигателей и профиля пути, но также и от величины коэфициента трения колес о рельсы, который в свою очередь может быть переменным из-за различного состояния путей или по воле машиниста, от степени подсыпки песка на рельс. Очевидно, теоретический график движения при таком режиме работы будет еще более отличаться от фактически исполненного. Здесь в исполненном графике движения в большей степени играет роль квалификация и сноровка машиниста. Степень неравномерности движения электровозов по времени здесь будет больше.

По нашему мнению, построение графика движения электровозной откатки в данном случае должно исходить из несколько иных предпосылок, чем в обычных случаях. Обычно в построении графика движения электровозов определяют время интервала между последовательно движущимися электровозами, как что-то стационарное незыблемое и на основании этого интервала и известных, тоже постоянных, скоростей наносится сетка графика движения по времени.

Как показывает опыт, в нашем случае при построении графика движения электровозов должны быть положены в основу возможные отклонения — изменения времени интервала между поездами и возможные способы компенсаций по времени отдельных операций тяги другими операциями. Например, при экономии времени, т. е. при отклонении в сторону уменьшения его при ходе с порожняком, компенсация избытка времени должна быть произведена за счет маневровых работ на участке. При отклонении времени в данной операции в сторону завышения, компенсация недостатка времени также должна быть произведена за счет сборочных работ на участке. При отклонениях



времени при движении с грузом компенсация должна производиться за счет маневровых операций при разгрузке вагонов и переменой маршрутов для данного состава на более дальние или более ближние участки. Однако все эти возможные вариации отклонений должны быть учтены, а компенсации времени не должны происходить случай-

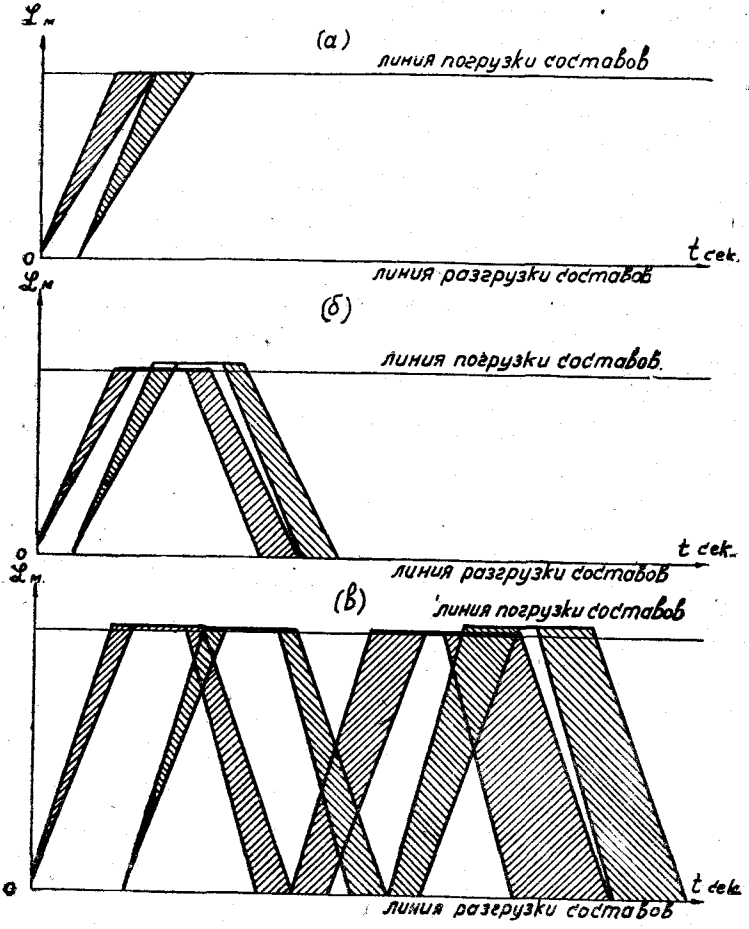


Рис. 2.

ным образом — только лишь по сигналу диспетчера, они должны представлять собой закономерный график всех операций электровозов, увязанных друг с другом.

При построении графика движения может быть три случая. Первый, когда количество электровозов на линии настолько велико, что интервал между составами позволяет отклонения-вариации по времени в пределах движения только в одном направлении, т. е. неравномерность движения, например, только в порожняковом направлении может дать отклонение по времени; равное времени интервала

между поездами. Второй случай, когда интервал между поездами позволяет вариации по времени движения в пределах полного рейса, т. е. возможные максимальные отклонения по времени при ходе электровоза туда и обратно, включая маневры на погрузке, не превышают времени интервала между поездами. И третий случай, когда вариации по времени движения возможны в пределах нескольких рейсов. (см. соответственно графики а, б, в, на рис. 2).

Примеры и хронометражные данные

Данные наблюдений по электровозной откатке на шахте им. Кирова Черемховского бассейна в 1943 г.

№ по порядку	Заданный маршрут	Средняя длина откатки	Чистое время хода поезда	Средняя фактическая скорость движения состава	Число вагонов в составе и их вес	Эквивалентный уклон пути	Сила тяги электровоза на крюке	Полная скорость по характеристике двигателя ДК 801-А	% проскальзывания колес	К. п. д. электровоза как фрикциона передачи
		м	минут	м/сек	Число вагон. штук × т.	‰	кг	м/сек	%	
1	11 штрек уч. 1 и 2	3520	25	2,34	8 × 1,5	+ 0,72	166	4,7	50	0,5
	то же	3520	18	3,27	7 × 4,5	+ 0,07	234	4,17	22	0,78
2	11 штрек	3520	17	3,45	7 × 1,5	0,72	155	5,0	31	0,69
	11 „	3520	20	2,93	9 × 4,5	0,07	288	3,84	24	0,76
3	11 штрек	3520	18	3,27	8 × 1,5	0,72	166	4,7	31	0,695
	11 „	3520	20	2,93	8 × 4,5	0,07	261	4,0	27	0,73
4	13 штрек	3860	19	3,38	7 × 1,5	пор. 1,23	162	4,7	28	0,72
	13 „	3860	33	1,95	6 × 4,5	гр. 0,31	193	4,5	57	0,432
5	13 штрек	3860	20	3,22	7 × 1,5	1,23	162	4,7	32	0,685
	13 „	3860	27	2,38	6 × 4,5	—0,31	193	4,5	47	0,53
6	13 штрек	3860	22	2,93	7 × 1,5	1,23	162	4,7	38	0,623
	13 „	3860	27	2,38	5 × 4,5	—0,31	168	4,7	50	0,506
7	14 штрек	4310	22	3,27	6 × 1,5	пор. 1,86	158	5,0	34	0,655
	14 „	4310	19	3,78	8 × 4,5	гр. 0,36	242	4,17	10	0,91

Как видно из приведенной таблицы хронометражных данных, скольжение колес электровоза колеблется в пределах от 10 до 50% по его средним значениям, при движении в одном направлении.

По хронометражным данным аспиранта ЛГИ Комаровой В. П. в 1944 г. на той же шахте расхождение в скоростях фактической и скорости двигателей наблюдается еще в больших пределах. Средние значения чистого времени движения из 38 рейсов при известных параметрах состава поезда и откаточных путей дают следующие величины.

Таблица 2

Маршруты	Средняя длина откатки, в м	Чистое время хода поезда, в мин.	Средняя фактическая скорость движения поезда, в м/сек.	Число вагонов в составе и их вес, шт × т	Эквивалентный уклон пути, экв. ‰	Сила тяги электровоза на крюке в кг	Полная скорость по характеристикам двигателя ДК 801 А, в м/сек	К. п. д. электровоза как фрикциона передачи
13-й и 14-й	4300	33	2,17	8 × 1,5	+ 1,86	187	4,5	0,482
Штреки	4300	36	2,00	8 × 4,5	— 0,36	242	4,17	0,480

Аналогичные данные получены при испытании новой серии рудничных электровозов Т-Р-2 в Донбассе на шахте «Челюскинцев» треста Сталинуголь в 1938 г. работниками завода «Динамо» им. Кирова (л. 3).

Таблица 3

Скорость движения электровоза и относительная скорость буксования в процентах

№ п/п	Характеристика состава поезда и пути	Длина пути	Время движения	Средняя скорость 2-го полуската[1]	Средняя скорость электровоза	Процент пробуксовки 2-го полуската	Удельный расход энергии
		м	сек.	км/час	км/час	%	$\frac{вт/т}{т/км}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	25 порожних вагонов $i_{экв} = + 6‰$	1397	751	7,56	6,70	12,3	—
2	40 порожних вагонов $i_{экв} = + 6‰$	1615	899	—	6,46	—	204,0

[1] Спидометр был установлен на втором полускате.

№ п/п	Характеристика состава поезда и пути	Длина пути	Время движения	Средняя скорость 2-го полуската	Средняя скорость электровоза	Процент пробуксовки 2-го полуската	Удельный расход энергии
3	58 порожних вагонов $i_{экв} = +6‰$	1615	1004	9,67	5,80	67	160,5
4	60 порожних вагонов $i_{экв} = +6‰$	1615	772	9,33	7,53	24	134,6
5	80 порожних вагонов $i_{экв} = +6‰$	188,0	181	6,97	3,74	83	—
5а	80 порожних вагонов $i_{экв} = +6‰$	1615	1400	—	4,15	—	—
6	60 вагонов с углем $i_{экв} = -6‰$	1130	435	10,4	9,34	11,1	18,0

Как видно из таблицы, процент пробуксовки увеличивался с увеличением количества вагонов в составе от 12% до 83% при 80 вагонах. Причем сравнительно высокий процент пробуксовки при 58 вагонах в составе объясняется тем, что в пути кончился песок в песочницах и езда осуществлялась без применения песка. В связи с этим производительность еще более резко уменьшалась по сравнению с расчетной. Процент пробуксовки пропорционален снижению производительности электровоза при одной и той же величине состава. С увеличением состава процент пробуксовки увеличивался, фактическая скорость движения состава уменьшалась. В связи с изменением длины состава величина силы тяги электровоза менялась в пределах 220—510 кг, соответственно коэфициент сцепления (трения) имел значения 0,0344—0,08. Расход энергии при 60 вагонах в составе был зафиксирован:

а) в порожнем направлении $2458 \cdot 10^3$ а²сек,

б) в грузовом направлении $678 \cdot 10^3$ а²сек.

По существующим методам определения расхода энергии в данном случае имеем:

силу тяги электровоза $F = (Q + P)\ (w \pm i_{экв})$ кг;

а) в порожняковом направлении $F_п = (6{,}4 + 60 \cdot 0{,}375)(8 + 6) = 405$ кг,

б) в грузовом направлении $F_г = (6{,}4 + 60 \cdot 1{,}125)\ (8 - 6) = 150$ кг,

которая отвечает соответственно на каждый мотор:

силе тока а) $I_{пор} = 36$а, б) $I_{гр} = 19$а и скорости движения $v_{пор} = 16$ км/час $= 4{,}45$ м/сек, $v_{гр} = 25$ км/час $= 6{,}9$ м/сек.

Время движения определится:

а) в порожняковом направлении $t_{пор} = \frac{1615}{4{,}45} = 363$ сек,

б) в грузовом направлении $t_{гр} = \frac{1615}{6{,}9} = 244$ сек.

Тогда расход энергии будет:

а) в порожняковом направлении $(36)^2 \cdot 363 = 942 \cdot 10^3 а^2 сек$,

б) в грузовом направлении $(9)^2 \cdot 244 = 176 \cdot 10^3 а^2 сек$.

Как видно из примера, расход энергии превышает расчетный более чем в два раза. Удельный расход энергии при напряжении $U = 250$ в в ватт-часах на тонно-километр определяется:

а) для порожнякового направления:

$$A_{пор} = \frac{2I_{пор} \cdot t_{пор} \cdot U_в \; 1{,}1}{3600 \times км \; 0{,}9 \cdot 0{,}85} = \frac{2 \cdot 36 \cdot 363 \cdot 250 \cdot 1{,}1}{3600 \cdot 28{,}9 \cdot 1{,}615 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}85} =$$

$$= 65 \frac{вт.час}{т.км}.$$

Здесь 1,1 коэфициент, учитывающий дополнительные потери при пуске электровоза в ход:

0,9 — к. п. д. зубчатой передачи,

0,85 — к. п. д. тяговых двигателей,

б) для грузового направления:

$$A_{груз} = \frac{2I_{гр} \cdot t_{гр} U_в \; 1{,}1}{3600 \times км \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}85} = \frac{2 \cdot 19 \cdot 224 \cdot 250 \cdot 1{,}1}{3600 \cdot 67 \cdot 5 \cdot 1{,}615 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}85} =$$

$$8 = \frac{вт.час}{т.км}.$$

Делением полученных величин на замеренные (табл. 3, гр. 8), находим к. п. д. электровоза как фрикциона передачи по расходу энергии (0,48 и 0,4). Результаты (табл. 4, гр. 6).

Затем обратной задачей, по замеренным удельным расходам энергии из формулы находим силу тока (графа 7) и соответственную ей скорость движения электровоза из характеристик двигателей (графа 8). При сравнении полученной скорости с средней фактической (табл. 3, гр. 6) определяется к. п. д. электровоза как фрикциона передачи по скоростям (табл. 4, гр. 9). То же самое получаем делением фактической скорости (табл. 3, гр. 6) на расчетную (табл. 4, гр. 2).

Как видно из таблицы, к. п. д. электровоза как фрикциона передачи колеблется в пределах от 0,41 до 0,56. В среднем фактический расход энергии при любых сравнениях превышает расчетный в два раза. Некоторые отклонения от средних потерь объясняются, в первую очередь, сноровкой и квалификацией машиниста, который в нужных моментах увеличивает коэфициент сцепления колес с рельсами подсыпкой песка на рельсы. Наличие лишних остановок в пути заметной разницы в расходе энергии не давало.

Небольшая доля из этих потерь может быть отнесена на то, что тяговые двигатели фактически работают с более низким к. п. д., чем это принимается в расчетах.

Таблица 4

Поряд. № граф	Наименование единиц	Количество вагонов в составе				
		40 порожних	58 порожних	60 порожних	60 гружен.	80 порожних
1	Расчетная сила тяги электр., кг	300	395	405	105	510
2	Соответственная скорость по характеристикам двигателя, км/час	18	16,3	16	24,8	14,7
3	Сила тока из характеристик, а	30	25	36	19	42
4	Теоретическое время движения электровоза, в сек . . .	323	360	363	244	393
5	Теоретический удельный расход энергии, $\frac{вт/час}{т/км}$ . . .	84	81,5	65	8,0	70
6	К. п. д электровоза как фрикциона передачи по энергии	0,42	0,50	0,48	0,44	—
7	Средняя сила тока по замеренной мощности, а	38,5	36,1	45,7	24,2	—
8	Соответственная скорость движения по характеристикам, км/час	15,8	16,4	14,0	21,0	—
9	К. п. д. электровоза как фрикциона передачи по скорости движения	0,41	0,35	0,54	0,56	—

В расчетах обычно принимают к. п. д. двигателя 0,85. В нашем случае для двигателей ДК 801-А эта величина к. п. д. отвечает силе тяги в пределах от 350 до 640 кг на один двигатель, от 700 до 1280 кг на крюке. В наших примерах сила тяги на крюке имела пределы от 244 до 360 кг, что отвечает значениям к. п. д. двигателей 0,72—0,79. Отсюда видно, что порядка 10% потерь энергии может быть отнесено за счет работы двигателей фактически на более низком к. п. д., чем принимается в расчетах, но главное около 40% энергии теряется на вредное трение колес электровоза о рельсы откатных путей.

Выводы и предложения

Фактическая производительность электровозов в шахтных условиях значительно ниже расчетной, и по причине малых значений коэфициента сцепления колес электровоза с рельсами последний иногда не достигает и одной трети от расчетного. Электровозы работают, как правило, на режиме «перемоторенных» электровозов, с силой

тяги на крюке свыше допустимой по сцепному весу электровоза. Вследствие чего при ходе электровоза наблюдается беспрерывное буксование колес, и энергия тратится не только на движение состава, но и на трение колес о рельсы откаточного пути, в связи с чем общий расход энергии значительно превышает расчетный. При буксовании коэфициент сцепления колес с рельсами колеблется в широких пределах и значительно возрастает при снижении скорости движения состава.

Для увеличения коэфициента сцепления при электровозной откатке на шахтах применяют в большом количестве песок, несколько повышая тем самым производительность откатки. Для увеличения производительности электровозной откатки и снижения расхода энергии необходимо экспериментальным путем установить истинные величины коэфициента сцепления колес с рельсами в различных условиях и не допускать работу электровоза с пробуксовкой колес.

Увеличение силы тяги необходимо вести по линии увеличения сцепного веса электровоза, с применением более тяжелого типа рельс. Надлежит не допускать пилообразного профиля пути, резко изменяющего величину силы тяги в недопустимых пределах.

На уклонах, превышающих допустимые по силе тяги электровоза, при данном коэфициенте сцепления колес с рельсами, необходимо применять реечно-зубчатые передачи электровоза на пониженных скоростях движения.

Применение песка должно производиться только как исключение в некоторых случаях, а не как необходимое средство для увеличения скорости.

В некоторых шахтах с возможным засорением поверхности рельс угольной пылью, необходимо рекомендовать специальную промывку поверхности рельс напором струи воды из промывочных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный бюллетень зав. «Динамо», № 6—7, 1939 г. Статья «Испытание первых образцов новой серии рудничных электровозов» — инж. Ю. В. Сорокин.
2. Доц. Алаторцев С. А. и др. с уч. автора. Применение электровозной откатки на торфопредприятиях. Журнал «Торфяная промышленность», № 7, 1946 г.