

О развитии тормозных систем троллейбусов

На основании анализа требований нормативных актов к тормозным системам троллейбусов рассмотрены тенденции их развития, направленные на обеспечение экономичности и безопасности троллейбусов.

Ключевые слова: троллейбус, тормозная система, тормоз-замедлитель, безопасность.

On the basis of analysis of the requirements of normative acts to the trolleybus brake systems the progress trends of their development, directed on security of the efficiency and safety of the trolleybuses, are considered.

Keywords: trolleybus, brake system, retarder, security.

Тормозные свойства автомобилей в целом и троллейбусов в частности являются наиболее важными среди прочих, влияющих на безопасность дорожного движения. Требования к тормозным системам автомобилей в Республике Беларусь регламентированы международными Правилами № 13 ЕЭК ООН [1] (далее Правила) и ГОСТ 22895—77 [2]. Тормозные системы транспортных средств, к которым относятся и троллейбусы, должны удовлетворять этим требованиям относительно систем рабочего, аварийного и стояночного торможения. Основными оценочными показателями эффективности таких систем являются, прежде всего, замедление и тормозной путь транспортного средства. В целом к тормозным системам предъявляются следующие общие требования:

минимальный тормозной путь или максимальное установившееся замедление в соответствии с требованиями нормативных документов;

стабильность тормозных свойств при многократных торможениях;

силовое следящее действие тормозного привода, т. е. пропорциональность усилия на педали и тормозного момента;

минимальное время срабатывания тормозного привода;

надежность всех элементов тормозных систем;

наличие сигнализации, оповещающей водителя о неисправности тормозной системы.

В тормозных системах большинства автомобилей средней и большой грузоподъемности категорий N2, N3, а также пассажирских транспортных средств категории M3, к которым относятся и троллейбусы, широко используются пневматический привод и исполнительные тормозные механизмы барабанного типа. Эти системы во многом схожи по функциональному обеспечению, схемному решению, конструктивному исполнению и подробно описаны в публикациях, также известны методики расчета тормозных механизмов, элементов питаю-

щей, исполнительный и управляющий частей пневматического привода. Основополагающими при расчете (выборе) отдельных элементов и пневмопривода в целом являются требования нормативных актов [1, 3], касающиеся прежде всего надежности, давления воздуха в системе, времени заполнения ресиверов (производительности) и запаса сжатого воздуха в них, времени срабатывания привода.

Анализ передовых разработок мировых фирм-производителей Wabco, Knorr-Bremse, Bosch и др., а также отдельных работ [4—7] ученых, известных в области систем активной безопасности транспортных средств, показывает, что наиболее перспективными являются тормозные системы с электронным управлением. При этом их управление может осуществляться электронным блоком, входящим в состав той или иной системы активной безопасности автомобиля — антиблокировочной системы (ABS), системы ESP (Electronic Stability Program) и др. Однако детальный анализ нормативных требований [3], особенностей конструкций, условий эксплуатации, а также некоторых показателей эффективности тормозных систем троллейбусов, полученных экспериментальным путем, позволил определить круг вопросов, которые требуют детального исследования и формируют отдельное направление развития тормозных приводов троллейбусов, относящееся к созданию автоматических систем их управления.

Троллейбусы эксплуатируются в городских условиях в режиме разгон—торможение, что обусловливается большой интенсивностью движения и регулированием транспортных потоков на перекрестках. Число торможений в этих условиях составляет от 1 до 4 в минуту [8]. Кроме того, троллейбус замедляет движение при подъезде к остановке и разгоняется, отъезжая от нее. Частые торможения троллейбуса приводят к тому, что его рабочая тормозная система является одной из наиболее нагруженных.

Известно, что при торможении машины ее кинетическая и потенциальная энергии переходят в тепловую, что сопровождается нагревом тормозных механизмов и, как следствие, увеличением износа фрикционных пар и снижением их коэффициента трения вплоть до 40 % [9]. Снижение коэффициента трения приводит к тому, что механизмы рабочей тормозной системы (РТС) не в состоянии обеспечить нормативные требования к тормозным свойствам транспортного средства. Кроме того, нагрев тормозных механизмов нарушает правильную работу подшипников ступиц колес, приводит к нарушению регулировки тормозов, что в сложных го-

родских условиях снижает безопасность движения и производительность подвижного состава городского транспорта.

Известным решением данной проблемы является использование тормозов-замедлителей (ТЗ) в составе вспомогательной тормозной системы (ВТС). Следует отметить, что в отношении пассажирских транспортных средств Правила предписывают обязательное наличие ВТС, т. е. "системы замедления", только на междугородных и туристических автобусах дальнего следования категории МЗ. В соответствии с Правилами "система замедления" — дополнительная система торможения, которая обеспечивает и поддерживает эффект торможения в течение длительного времени без значительного ухудшения эксплуатационных характеристик. Таким образом, формально установка ВТС на троллейбусах не обязательна, однако частые служебные торможения и возможность рекуперации энергии определяют ее применение.

Известно, что число служебных торможений составляет 97÷99 % от общего числа торможений [10]. В городских условиях среднее замедление движения находится в пределах 0,8÷4,7 м/с² [8], нормативное его значение при торможении двигателем должно составлять не менее 0,5 м/с² [1]. Кроме того, эффективность торможения двигателем оценивается способностью ВТС стабилизировать скорость автомобиля в пределах 30 ± 5 км/ч на затяжных спусках с уклоном 6 % [1]. Целесообразность применения ВТС на том или ином автомобиле определяется в основном тормозными характеристиками ТЗ и эффективностью ВТС, которые требуют детального изучения.

Применение разного рода ВТС на транспортных средствах рассматривается в работах Д. Т. Гапояна, И. В. Балабина, М. П. Ивандикова, Н. В. Богдана и др. В большинстве работ рассматриваются моторные ТЗ как наиболее распространенные на автомобилях с ДВС и отличающиеся относительной простотой конструкции, надежностью и небольшой стоимостью, хотя и обладающие невысокой замедляющей способностью и выполняемые чаще всего нерегулируемыми.

Известны способ автоматического поддержания постоянной скорости движения машины на затяжном спуске путем периодического включения и выключения нерегулируемого замедлителя, а также вариант регулирования величины замедления при торможении моторным ТЗ пропорционально перемещению органа управления ВТС [7]. Наиболее целесообразным для использования на троллейбусах является электродинамический ТЗ, по сути представляющий собой уже имеющийся тяговый электродвигатель (ТЭД), способный работать в генераторном режиме для создания тормозного момента. Вырабатываемая при этом электроэнергия превращается в тормозных реостатах в тепловую,

V , км/ч F , В, кН

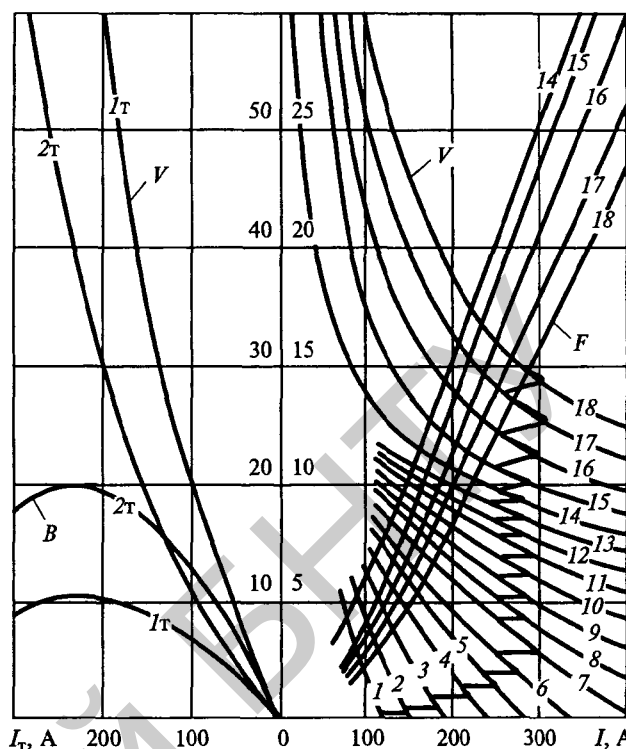


Рис. 1. Электромеханические характеристики тягового электродвигателя ЭК-213 с реостатно-контакторной системой управления

которая рассеивается в окружающую среду. При использовании же современных полупроводниковых систем управления двигателем значительная часть вырабатываемой электроэнергии может быть возвращена в контактную сеть либо накапливаться в специальных установках, что существенно повышает экономичность троллейбуса. В отличие от моторных электродинамических замедлителей способны создавать достаточно большое замедление (до 2 м/с²) [11]. При их использовании актуальна задача обеспечения регулирования тормозного момента в соответствии с перемещением органа управления. При этом следует учитывать, что тормозной момент в свою очередь зависит от типа и параметров самого двигателя, его системы управления, а также от скорости движения, при которой производится торможение.

Применение электродинамического ТЗ на троллейбусах исследовали И. С. Ефремов, Л. Я. Коган, Л. С. Байрыева и др., которые рассматривали электромеханические характеристики вида $M_T = f(I)$, $\omega_{дв} = f(I)$ тяговых двигателей, работающих в тормозном режиме (здесь M_T — тормозной момент двигателя; $\omega_{дв}$ — угловая скорость якоря электродвигателя; I — ток в обмотке якоря). Пример такой характеристики электродвигателя, применяемого на троллейбусах с реостатно-контакторной системой управления (РКСУ), показан на рис. 1 [12]. В первом квадранте приведены зависимости (1÷18),

отражающие работу в тяговом режиме для 18 ходовых ступеней контроллера системы управления. Во втором квадранте представлен тормозной режим (кривые 1т и 2т) для двух ступеней контроллера. Из рис. 1 видно, что изменения скорости V троллейбуса, тяговой F и тормозной B сил на ведущих колесах зависят от тока I якоря. Однако для теоретического исследования динамики автомобиля, как известно, приемлемы механические характеристики, представляющие собой зависимости силовых параметров двигателя от угловой скорости его выходного вала. Зачастую отсутствующую механическую характеристику электродвигателя с конкретной системой управления [РКСУ, тиристорно-импульсная (ТИСУ), транзисторная (IGBT)] можно получить экспериментальным путем либо путем перестроения его электромеханических характеристик. Следует отметить, что работы по комплексному исследованию эффективности ВТС на троллейбусах практически отсутствуют.

ВТС, применяемые на троллейбусах, относятся к системам замедления, устройство управления которыми совмещено с устройством управления РТС таким образом, что система замедления и РТС включаются одновременно или в соответствующей последовательности с помощью комбинированного устройства управления [1]. При этом в начале хода тормозной педали происходит управление ВТС, а при дальнейшем ее ходе — регулирование эффективности ВТС и РТС. Однако, работая совместно, каждая из систем не учитывает влияния другой на общую эффективность торможения. Расчет же (выбор) тормозных камер и тормозных механизмов колес осуществляется без учета действия на них электродинамического ТЗ. Этот вопрос, очевидно, требует детального исследования с целью согласования работы двух систем для повышения эффективности и экономичности троллейбуса в целом. Кроме того, данный вопрос актуален в связи с требованием проведения испытаний по определению тормозных качеств только с подсоединенным двигателем, когда транспортное средство полностью или частично использует электродвигатель, постоянно подсоединенный к колесам [1].

При торможении двигателем на ведущие колеса транспортного средства действует момент, образо-

ванный двумя составляющими: тормозной $M_{дв}$ и противоположно ей направленной инерционной $M_{ин}$. Влияние последней с увеличением интенсивности торможения возрастает, а эффективность использования моторного тормоза при этом падает. Авторы некоторых работ, посвященных совместному использованию ВТС и РТС, делают вывод о его целесообразности при условии $M_{дв} > M_{ин}$, т. е. когда двигатель способствует торможению. Однако при этом следует учитывать, что РТС изначально проектируется на эффективность при условиях, близких к условиям сцепления колес с дорогой, и очевидно, что дополнительный тормозной момент на ведущих колесах от ВТС может привести к их блокированию, и, как следствие, ухудшению тормозных свойств и устойчивости движения машины. Обоснованность такого подхода подтверждают некоторые результаты исследований, проведенных на ОАО "Белкоммунмаш", частично представленные на рис. 2 [13], а также описанные в изобретениях, в которых предлагается во избежание блокирования ведущих колес уменьшать воздействие на них одной из совместно работающих тормозных систем (ВТС или РТС). Из рис. 2 видно, что при совместном использовании двух систем наблюдаются резкое уменьшение угловой скорости и последующее блокирование ведущего колеса второго моста (кривая 4) через 2,1 с после начала торможения до полной остановки троллейбуса.

Таким образом, совместное торможение ВТС и РТС не рассматривалось в должной мере с точки зрения возможности реализации суммарной тормозной силы по условиям сцепления ведущих колес с дорогой, а также с точки зрения повышения общей эффективности тормозных систем в результате согласования их работы. Это особенно актуально при использовании в троллейбусах электродинамических ВТС, способных развивать сравнительно высокое замедление машины. В связи с этим требуются дополнительные научные исследования торможения троллейбуса при совместном действии ВТС и РТС.

Отдельно следует рассматривать создание тормозных систем сочлененных троллейбусов. Поскольку детальные исследования их торможения не проводились, то при изучении данного вопроса от-

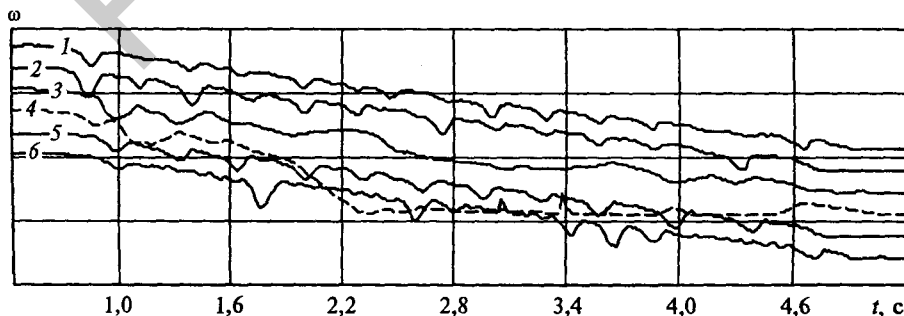


Рис. 2. Относительные угловые скорости колес при торможении сочлененного троллейбуса с совместным использованием ВТС и РТС в зависимости от времени:

1 и 2 — передние управляемые колеса; 3 и 4 — колеса ведущего моста; 5 и 6 — колеса полуприцепа

правной точкой могут стать труды в области динамики торможения автомобильных и тракторных поездов.

Одной из очевидных особенностей конструкции автопоезда — тягача с полуприцепом, является шарнирная связь между звеньями, ухудшающая устойчивость его движения при торможении. В этом случае полуприцеп, накатываясь на тягач, сжимает сцепное устройство, что способствует заносу колес заднего моста тягача и складыванию автопоезда. Для предотвращения этого в пневмоприводах тормозных систем применяют, во-первых, устройства, повышающие быстродействие срабатывания контура прицепа, а во-вторых, устройства, обеспечивающие опережающее срабатывание привода прицепного состава: разного рода ускорительные клапаны; клапаны управления тормозами прицепа; электропневматические приводы с вышеназванными функциями. Также известны системы, в которых при торможении тягача моторным ТЗ обеспечивается подтормаживание колес прицепа постоянным небольшим давлением с помощью релейного электромагнитного клапана. Известны изобретения, описывающие: тормозную систему автопоезда, позволяющую пропорционально перемещению органа управления ВТС создавать не только тормозной момент двигателя, но и тормозную силу на колесах прицепа; системы, в которых предусмотрено повышение давления в тормозных камерах прицепа, пропорциональное росту давления в выпускном коллекторе двигателя. При этом комплексным параметром, оценивающим качество совместной работы, может быть усилие в тягово-сцепном устройстве [4, 7]. Однако следует учитывать два негативных обстоятельства:

постоянное подтормаживание прицепа при использовании ВТС может приводить к перегреву тормозных механизмов, потере их эффективности и интенсивному изнашиванию;

при тормозных силах прицепа, превышающих силы сцепления колес с дорогой, целесообразность повышения устойчивости автопоезда подобным образом может оказаться сомнительной [10].

Отмеченные недостатки характерны для автопоездов, в которых ТЗ устанавливаются на тягаче. В этом случае актуально создание простых и эффективных конструкций ТЗ для прицепов, так как только этот вариант позволяет однозначно решить проблему эффективного и безопасного торможения автопоезда с помощью ВТС [10]. Таким образом, очевидна необходимость дополнительных комплексных исследований динамики торможения сочлененных троллейбусов с целью создания для них эффективных тормозных систем.

В зависимости от целей и задач исследований динамики торможения автомобильных и тракторных поездов работы в данном направлении [4, 7, 10, 14, 15 и др.] и предлагаемые в них математиче-

ские модели отличаются прежде всего степенью универсальности. Так, в некоторых работах не учитывается наличие зазора и упругодемпфирующих свойств сцепного устройства. В отдельных исследованиях трансмиссия не рассматривается как звено расчетной схемы системы либо рассматривается в виде двух-, трехмассовой модели. В некоторых исследованиях не учитываются упругодемпфирующие свойства подвески и (или) перераспределение сцепного веса. В то же время отсутствуют модели, одновременно учитывающие данные свойства, что важно именно для троллейбуса (сочлененного троллейбуса с упругими шарнирами в тягово-сцепном устройстве) с тяговым приводом, участвующим в торможении.

Таким образом, с целью создания высокоэффективных тормозных систем, повышающих экономичность и безопасность троллейбусов, необходимо решить следующие задачи:

определить механические тормозные характеристики тяговых электродвигателей с различными системами управления, устанавливаемых на троллейбусах;

разработать математическую модель динамики торможения сочлененного троллейбуса, учитывающую: упругодемпфирующие свойства шин, подвески и сцепного устройства; зазор в сцепном устройстве; инерционные и упругодемпфирующие свойства трансмиссии; характеристики двигателя; условия сцепления колеса с дорогой;

определить алгоритм и характеристики регулирования ВТС, в том числе с проработкой вариантов установки ТЭД на разные оси сочлененного троллейбуса;

определить критерии целесообразности, алгоритмы и характеристики совместного торможения РТС и ВТС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. **Единые** предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения: Правила ЕЭК ООН № 13 (10) / Пересмотр 6. Введ. 01.07.10. Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. 280 с.
2. **ГОСТ 22895—77**. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования: Введ. 01.01.81. Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. 20 с.
3. **ГОСТ 4364—81**. Приводы пневматические тормозных систем автотранспортных средств. Общие технические требования. Введ. 01.01.82. Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. 12 с.
4. **Ким В. А.** Методология создания систем активной безопасности автотранспортных средств на основе силового анализа / Под ред. Р. И. Фурунжиева. Могилев: Беларус.-российский ун-т, 2003. 344 с.
5. **Активная безопасность автомобиля** / В. Г. Бутылин и др. Минск: НИРУП "Белавтоагропротроение", 2002. 183 с.