

УДК 62-592.52

## РАЗВИТИЕ ПРИВОДОВ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ТРОЛЛЕЙБУСОВ

**А.И. Сафонов, доцент, к.т.н., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь**

*Аннотация.* Проанализированы требования нормативных актов в отношении тормозных систем троллейбусов. Приведены отдельные результаты исследований, рассмотрены современные тенденции развития в данном направлении. Определен круг задач, решение которых нацелено на создание высокоэффективных тормозных систем, повышающих экономичность и безопасность троллейбусов.

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

## ROZVITOK PRIVODA GAL'MIVNIKH SISTEM TROLEYBUSIV

**А.І. Сафонов, доцент, к.т.н., Білоруський національний технічний університет м. Мінськ, Республіка Білорусь**

*Анотація.* Проаналізовано вимоги нормативних актів щодо гальмівних систем троллейбусів. Наведено окремі результати досліджень, розглянуто сучасні тенденції розвитку в даному напрямку. Визначено коло завдань, вирішення яких націлене на створення високоефективних гальмівних систем, що підвищують економічність і безпеку троллейбусів.

*Ключові слова:* троллейбус, гальмівна система, гальмо-сповільнювач

## THE DEVELOPMENT OF TROLLEYBUS DRIVE BRAKE SYSTEMS

**A. Safonau, Associate Professor, Candidate of Technical Science, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus**

*Abstract.* The requirements for trolleybuses brake systems are analyzed. Some results of the studies examined, contemporary trends of developing in this direction are shown. The range of problems whose solution is aimed at creating high-performance brake systems whose increase efficiency and safety of trolleybuses determined.

*Key words:* trolleybus, brake system, retarder.

### Введение

Тормозные свойства автомобилей в целом и троллейбусов в частности являются, несомненно, 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]. В соответствии с Правилами все тормозные системы, которыми оборудовано транспортные средства, включая и трол-

лейбус, должны удовлетворять требованиям в отношении систем рабочего, аварийного и стояночного торможения, а основными оценочными показателями эффективности систем являются, прежде всего, замедление и тормозной путь транспортного средства.

### Анализ публикаций

Анализ передовых разработок мировых фирм-производителей Wabco, Knorr-Bremse, Bosch и др., а также отдельных работ [3–6] ученых, известных в области систем активной безопасности транспортных средств, по-

казывает, 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.

Троллейбусы эксплуатируются в городских условиях, где движение транспорта осуществляется в режиме разгон-торможение, что обуславливается большой интенсивностью движения и регулированием транспортных потоков на перекрестках. Число торможений в этих условиях составляет от 1 до 4 за минуту [7]. Кроме того, троллейбус замедляет движение при подъезде к остановке и разгоняется, отъезжая от нее. В этой ситуации частое торможение троллейбуса приводит к тому, что его рабочая тормозная система является одной из наиболее нагруженных систем.

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 автобусах и туристических автобусах дальнего следования категории М3. В соответствии с Правилами, "система замедления" означает дополнительную систему торможения, обладающую способностью обеспечивать и поддерживать эффект торможения в течение длительного периода времени без значительного ухудшения эксплуатационных характеристик. Таким образом, ВТС формально не обязательна на троллейбусах, однако частые служебные торможения и возможность рекуперации энергии предопределяют ее применение.

Известно, что количество служебных торможений составляет 97...99 % от общего числа торможений [8]. При этом средняя величина замедления в городских условиях движения находится в пределах  $0,8...1,7 \text{ м/с}^2$  [7]. Нормативное же значение этого параметра при торможении двигателем должно составлять не менее  $0,5 \text{ м/с}^2$  [1]. Кроме того, эффективность торможения двигателем оценивается способностью ВТС стабилизировать скорость автомобиля в пределах  $30 \pm 5 \text{ км/ч}$  на затяжных спусках с уклоном 6% [1].

Основными вопросами при определении целесообразности применения ВТС на том или ином автомобиле, требующими детального изучения являются:

- определение тормозных характеристик ТЗ;
- определение эффективности ВТС.

Вопросы применения различного рода вспомогательных тормозных систем на транспортных средствах различного назначения рассматривались в работах Д.Т. Гапомяна, И.В. Балабина, М.П. Ивандикова, Н.В. Богдана и др. В большинстве работ рассматриваются моторные тормоза-замедлители, как наиболее распространенные на автомобилях с ДВС, и отличающиеся относительной простотой конструкции, надежностью и дешевизной, хотя при этом обладающие невысокой замедляющей способностью и чаще всего выполняемые нерегулируемыми. Наиболее целесообразным для использования на троллейбусах является электродинамический ТЗ, поскольку в основе представляет 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 с последующим рассеиванием в окружающую среду. При использовании же современных полупроводниковых систем управления двигателем значительная часть вырабатываемой электроэнергии может быть возвращена в контактную сеть либо накапливаться в накопительных установках, что существенно повышает экономичность троллейбуса. В отличие от моторных замедлителей электродинамические замедлители способны создавать достаточно большое замедление (до  $2 \text{ м/с}^2$ ) [9]. В этой связи при их использовании актуальна задача обеспечения регулирования тормозного момента в соответствии с перемещением органа управления. При этом следует учесть, 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.

Исследования по применению электродинамического ТЗ на троллейбусах ограничиваются работами И.С. Ефремова, Л.Я. Когана, Л.С. Байрыевой и др., в которых рассматриваются электромеханические характеристики вида  $M_T = f(I)$ ,  $\omega_{дв} = f(I)$  тяговых двигателей, работающих в тормозном режиме, где

$M_T$  – тормозной момент двигателя;  $\omega_{дв}$  – угловая скорость якоря электродвигателя;  $I$  – ток в обмотке 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.

### Цель и постановка задачи

Таким образом, на основе детального анализа нормативных требований, особенностей конструкций, условий эксплуатации, а также некоторых показателей эффективности тормозных систем троллейбусов, полученных экспериментальным путем, необходимо выявить круг вопросов, которые требуют детального исследования и формируют отдельное направление развития тормозных приводов троллейбусов в части создания автоматических систем по их управлению.

### Пути совершенствования тормозных приводов троллейбусов

ВТС применяемые на троллейбусах относятся к «встроенным системам замедления», то есть к системам замедления, устройство управления которыми совмещено с устройством управления рабочей тормозной системы таким образом, что система замедления и рабочая тормозная система включаются одновременно или в соответствующей последовательности с помощью комбинированного устройства управления [1]. При этом в начале хода тормозной педали происходит управление вспомогательной тормозной системой, а при дальнейшем ее ходе – регулирование эффективностью ВТС и рабочей тормозной системой. Однако, работая совместно, каждая из систем не «учитывает» влияние другой на общую эффективность торможения. Расчет же (выбор) тормозных камер и тормозных механизмов колес осуществляется без учета действия на них электродинами-

ческого ТЗ. Этот вопрос, очевидно, требует детального исследования с целью согласования работы двух систем, способного повысить эффективность и экономичность 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 образованный 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. В этой связи авторы некоторых работ, посвященных вопросу совместного использования вспомогательной и рабочей тормозных систем, делают вывод о целесообразности такого использования при условии  $M_{дв} > M_{ин}$ , то есть, когда двигатель способствует торможению. Однако при этом следует учесть, что рабочая тормозная система транспортного средства изначально проектируется на эффективность, близкую по сцеплению колес с дорогой, и очевидно, что дополнительный, тормозной момент на ведущих колесах от ВТС может привести к их блокировке, и как следствие, к ухудшению тормозных свойств и устойчивости движения машины. Обоснованность такого подхода подтверждают некоторые результаты исследований, проведенные на ОАО «Белкоммунмаш», частично представленные на рисунке 1 [10], а также описываемые в литературе изобретения, в которых предлагается, во избежание блокировки ведущих колес, уменьшать степень воздействия на них одной из совместно работающих тормозных систем (ВТС и РТС). Как видно из рисунка 2, при совместном использовании двух систем наблюдается резкое уменьшение угловой скорости и последующее блокирование ведущего колеса 2-го моста (кривая 4) через 2,1с после начала торможения, продолжающееся до полной остановки троллейбуса.

Таким образом, процесс совместного торможения вспомогательной и рабочей тормозными системами не рассматривался 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 за счет согласования в их работе. Это особенно актуально при использовании электродинамических вспомогательных тормозных сис-

тем троллейбусов способных развивать сравнительно высокое замедление машины. В этой связи требуется проведение дополнительных научных исследований, направленных на изучение процесса совместного торможения троллейбуса вспомогательной и рабочей тормозными системами.

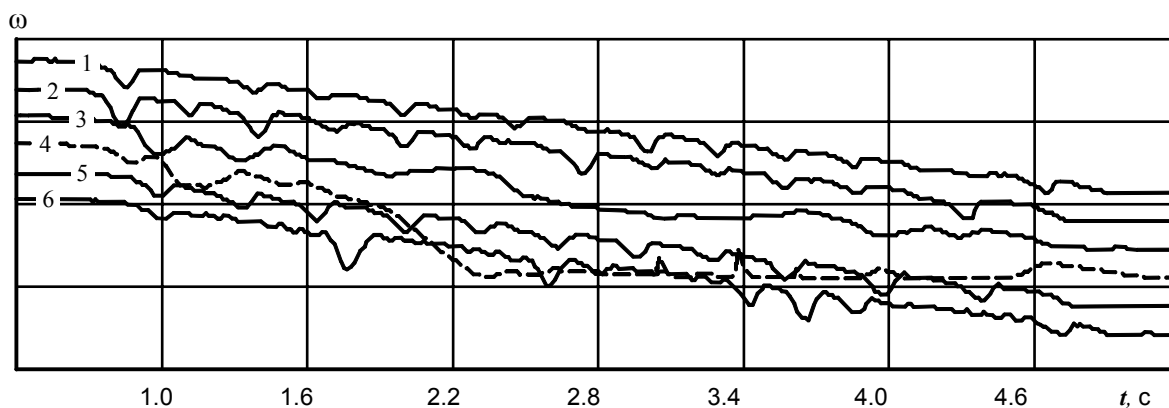


Рис. 1. Относительные угловые скорости колес при торможении сочлененного троллейбуса с использованием РТС совместно с ВТС: 1, 2 – передние управляемые колеса; 3, 4 – колеса ведущего моста; 5, 6 – колеса полуприцепа

Отдельного рассмотрения требует процесс создания тормозных систем сочлененных троллейбусов. Поскольку детальные исследования процесса торможения сочлененных троллейбусов не проводились, то при изучении данного вопроса отправной точкой могут стать труды в области динамики торможения автомобильных и тракторных поездов.

Одной из очевидных особенностей конструкции автопоезда, состоящего из тягача и полуприцепа, является шарнирная связь между звеньями, способствующая ухудшению устойчивости движения автопоезда при торможении. В процессе торможения полуприцеп, накатываясь на тягач, создает неблагоприятные усилия сжатия в сцепном устройстве. Это может привести к заносу колес заднего моста тягача и складыванию автопоезда. Для предотвращения этого нежелательного явления в пневмоприводах тормозных систем применяются, во-первых, устройства повышающие быстродействие срабатывания контура прицепа, а во-вторых, устройства обеспечивающие опережающее срабатывание привода прицепного состава.

Это различного рода ускорительные клапаны, клапаны управления тормозами прицепа, а также электропневматические приводы в целом, предусматривающие вышеназванные

функции. Также известны системы, в которых при торможении тягача моторным ТЗ обеспечивается подтормаживание колес прицепа постоянным небольшим по величине 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, а так же системы, в которых предусмотрено возрастание давления в тормозных камерах прицепа пропорционально росту давления в выпускном коллекторе двигателя. При этом комплексным параметром, оценивающим качество совместной работы, может являться усилие в тягово-сцепном устройстве [3, 6]. Следует, однако, учесть два негативных обстоятельства:

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

– если тормозные силы прицепа превысят силы сцепления колес с дорогой, то целесообразность повышения устойчивости автопоезда подобным образом может оказаться под вопросом [8].

Отмеченные недостатки характерны для автопоездов, в которых установка тормоза-замедлителя осуществлялась на тягаче. В этой связи актуально предложение о создании простых и эффективных конструкций ТЗ для прицепов, так как только этот вариант дает возможность однозначно решить проблему эффективного и безопасного торможения автопоезда с помощью ВТС [8]. Таким образом, очевиден вывод о проведении дополнительных комплексных исследований по изучению динамики торможения сочлененных троллейбусов с целью создания для них эффективных тормозных систем.

В зависимости от цели и задач исследований динамики торможения автомобильных и тракторных поездов работы [3, 6, 8, 11, 12 и др.] в данном направлении и математические модели в них предлагаемые, отличаются, прежде всего, степенью универсальности. Так в некоторых работах не учитывается наличие зазора и упруго-демпфирующих 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 упруго-демпфирующие свойства подвески и (или) перераспределение сцепного веса. В то же время отсутствуют модели, учитывающие данные свойства одновременно, что важно именно для троллейбуса (сочлененного троллейбуса с упругими шарнирами в тягово-сцепном устройстве) с тяговым приводом участвующим в процессе торможения.

### Выводы

Таким образом, с целью создания высокоэффективных тормозных систем, повышающих экономичность и безопасность троллейбусов необходимо решение следующих задач:

– определение механических тормозных характеристик тяговых электродвигателей с различными системами управления устанавливаемых на троллейбусах;

– разработка математической модели динамики торможения сочлененного троллейбуса, учитывающей: упруго-демпфирующие свойства шин, подвески и сцепного устройства, зазор в сцепном устройстве, инерционные и упруго-демпфирующие свойства

трансмиссии, характеристики двигателя, условия сцепления колеса с дорогой;

– определение алгоритма и характеристик регулирования ВТС, в том числе с проработкой вариантов установки ТЭД на разные оси сочлененного троллейбуса;

– определение критериев целесообразности, алгоритмов и характеристик совместного торможения РТС и ВТС.

### Литература

1. Единообразные 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 : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 280 с.
2. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования : ГОСТ 22895-77. – Введ. 01.01.81. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 20 с.
3. Ким В.А. Методология создания систем активной безопасности автотранспортных средств на основе силового анализа / В.А. Ким ; под ред. Р.И. Фурунжиева. – Могилев : Белорус.-российский ун-т, 2003. – 344 с.
4. Активная безопасность автомобиля / В.Г. Бутылин. – Минск : НИРУП «Белавтотракторостроение», 2002. – 183 с.
5. Ревин А.А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения / А.А.Ревин. – Волгоград : РПК «Политехник», 2002. – 372 с.
6. Богдан Н.В. Разработка теоретических основ и создание систем регулирования тормозных сил на осях тракторного поезда : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.03 / Н.В. Богдан. – Минск, 1983. – 357 л.
7. Гуревич Л.В. Некоторые результаты экспериментального определения режимов работы тормозных систем в эксплуатации / Л.В. Гуревич // Автомобильная промышленность. – 1972. – № 3. – С. 20-22.
8. Балабин И.В. Исследование устойчивости автопоездов при торможении вспомога-

- тельной тормозной системой / И.В. Балабин. – М. : НИИНАвтопром, 1977. – 42 с.
9. Высоцкий М.С. Грузовые автомобили : Проектирование и основы конструирования / М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес, С.Г. Херсонский. – М. : Машиностроение, 1995. – 256 с.
10. Сафонов А.И. Согласование работы вспомогательной и антиблокировочной тормозных систем троллейбуса / А. И. Сафонов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2006. – № 4. – С. 54–57.
11. Котельников В.Н. Исследование колебаний двухсекционных сочлененных машин с угловой упруго- демпфирующей связью секций : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / В.Н. Котельников; Волгогр. политехн. ин-т. – Волгоград, 1978. – 24 с.
12. Тракторные поезда / П.П. Артемьев; под ред. В.В. Гуськова. –М. : Машиностроение, 1982. – 183 с.

Рецензент: В.И. Клименко, к.т.н., профессор, ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 августа 2011 г.

---