

# Инновационная ходовая часть для вагонов трамвая с низким полом

Низкий пол в рельсовом подвижном составе позволяет повысить уровень комфорта для пассажиров, однако при этом требуется сконцентрировать в очень малом пространстве технические средства, выполняющие различные функции. Применение низкого пола в современных вагонах трамвая и подвижном составе городских железных дорог, начавшееся 20 лет назад, инициировало многочисленные инновационные решения в области ходовой части и другого оборудования. На основании результатов эксплуатационных испытаний с учетом растущих требований к оптимизации издержек производства, надежности и затрат жизненного цикла было решено отказаться от классической колесной пары и заменить ее так называемым колесным комплектом, в частности осью со свободно насаженными колесами.

Различные технические решения и множество инноваций в области рельсового транспорта обычно быстро внедряют в системе трамвая и значительно позже на другом подвижном составе. Это относится и к низкому полу, применение которого в значительной степени повлияло на конструктивное оформление ходовой части, тягового привода, тормозов и прочих компонентов подвижного состава. Разработанные в связи с этим технические средства часто воспринимались специалистами скептически в отношении эксплуатационной надежности, но со временем они получили признание и почти всегда находятся в центре внимания при закупке нового подвижного состава для трамвайных парков и городских железных дорог.

## Ходовые механизмы для низкого пола

Колесные пары рельсового подвижного состава должны воспринимать нагрузки и направляющие силы, а также передавать тяговые и тормозные силы в зону контакта колеса с рельсом. Конструкторские

и технологические решения ходовой части, принятые при переходе от классической колесной пары к оси со свободно насаженными колесами, вследствие своей специфич-

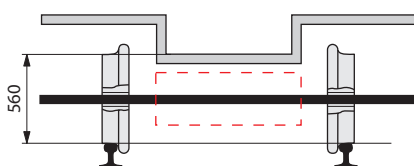


Рис. 1. Колесная пара с тяговым приводом и тормозным оборудованием, расположенными между колесами

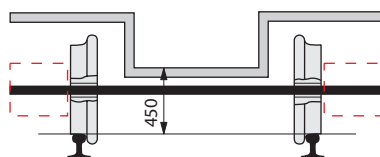


Рис. 2. Колесная пара с наружным расположением тягового привода и тормозного оборудования

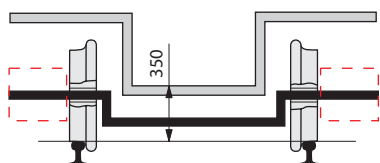


Рис. 3. Ходовой механизм со свободно насаженными колесами и наружным расположением тягового и тормозного оборудования

ности получили название колесных комплектов или блоков.

Высота пола в проходе в принципе определяется конструкцией ходовой части. Какая высота при этом может быть достигнута, зависит в основном от степени готовности к замене колесных пар, привода и тормоза традиционного исполнения. Почти все разработанные за прошедшие 20 лет конструкции ходовой части для низкого пола применительно к моторным и поддерживающим осям независимо от ширины колеи можно разделить на три группы по высоте пола при диаметре новых колес 560–600 мм (рис. 1, 2, 3):

- исполнение группы 1 имеет все признаки классических моторных и поддерживающих колесных пар (два колеса, жестко насаженные на одну ось и вращающиеся с одинаковой частотой). Компоненты поперечно расположенного привода, полностью подрессоренного, подвешенного на раме тележки и воздействующего на одну ось, а также тормозной диск, закрепленный на валу редуктора, размещены в пространстве между колесами и оптимизированы в соответствии с высотой пола (например, для всех вагонов трамвая с низким полом она принята равной 350 мм). Высота пола зависит от диаметра колес, строительной высоты тягового привода и тормоза, а также от хода рессор в первичном и вторичном подвешивании. Главная область применения конструкции группы 1 — моторные колесные пары в вагонах, не имеющих низкого пола по всей длине; доля таких вагонов на рынке в последние годы снова заметно возрастает. В зависимости от ширины колеи колесные пары могут быть

выполнены с внутренним (рис. 4) или наружным опиранием. Наружное опирание применено, например, у трамвайных вагонов с низким полом в Магдебурге (рис. 5);

- исполнение группы 2 отличается тем, что пространство между колесами свободно, а компоненты привода и тормоза расположены снаружи (перед колесами при внутреннем опирании) или перед подшипниками колесной пары (при наружном). Высота пола в этом случае зависит не только от диаметра колес и хода рессор, но и от диаметра оси колесной пары. Тележки с колесами диаметром 410 мм уже в самом начале применения низкопольных вагонов обеспечивали малую высоту пола в средней части вагона (например, в вагонах трамвая Женевы, Берна и Магдебурга). В вагонах семейства Flexity Outlook компании Bombardier Transportation (рис. 6) по принципу группы 2 выполнены моторные колесные пары (с колесами большого диаметра). Здесь тяговый агрегат каждой оси, расположенный продольно, подвешен к раме снаружи. В случае колеи шириной 1000 мм (далее — колея метровой ширины) передача крутящего момента осуществляется с помощью зубчатого зацепления на торце оси, а при нормальной колее — с помощью муфты, установленной на ступице колеса. На противоположной стороне оси расположен тормозной диск с фланцем;

- исполнение группы 3 — это высшая ступень низкопольной техники; отказ от оси колесной пары исключает взаимозависимость частот вращения колес. В этом исполнении колеса являются свободно насаженными (на конических роликовых подшипниках), а ось заменена неподвижной изогнутой (портальной) балкой. Компоненты привода и тормоза также расположены снаружи, при этом каждое колесо имеет индивидуальные устройства тяги и торможения. Высота пола зависит только от строительной высо-



Рис. 4. Вагон трамвая Flexity Classic в Лейпциге, имеющий ходовую часть с внутренним опиранием осей

ты портальной балки над УГР и от хода рессор в первичном и вторичном подвешивании. По этой причине ходовые механизмы исполнения группы 3 используют как в качестве моторных, так и поддерживающих на подвижном составе со 100%-ным низким полом. Помимо этой конструкции, используется также вариант со свободно вращающимися колесами, не связанными между собой жесткой осью. Колесные блоки индивидуально крепятся к портальной оси (трамвай ULF, рис. 7) или раме тележки (трамвай Variobahn, рис. 8). При этом создаются дополнительные возможности для выбора высоты пола. В группе 3 (исполнение со свободно насаженными колесами) имеется множество модификаций колесных комплектов.

#### Концепция, образцы, применение

Первые разработки отличались сложными техническими решениями проблемы низкого пола в зоне между колесами. В качестве приме-



Рис. 5. Трехвагонный трамвай в Магдебурге



Рис. 6. Вагон Flexity Outlook в Брюсселе





Рис. 7. Вагон трамвая ULF в Вене

ра следует назвать ходовой механизм с индивидуальным приводом колес (ЕЕФ), который был применен в первых вагонах с низким полом на 70% площади, выпущенных в 1990 г. для транспортной компании Касселя Verkehrs-Gesellschaft (рис. 9). Этот принцип использовали на поддерживающих ходовых механизмах, оборудованных тормозными устройствами. Идея была реализована с целью снижения массы ходовой части за счет отказа от колесной пары в пользу пары независимых колес.

При прохождении такой ходовой частью кривых обеспечивался минимальный износ, так как в этом случае не происходило вписывания классических колесных пар, а лишь поворачивались относительно вертикальной оси подвешенные к балке колесные блоки. Радиальная установка колес осуществлялась под действием боковых сил, возникающих между колесом и рельсом в точке контакта.

Основной элемент поддерживающего ходового механизма типа ЕЕФ — изогнутая балка, на кото-

рой попарно расположены снаружи (при нормальной колее) или внутри (при метровой колее) колесные блоки. Каждый такой блок состоит из подрезиненного колеса со встроенным роликовым подшипником, компонентов гидравлического дискового тормоза и поводка, соединенного с поперечной тягой, которая связывает оба колесных блока.

Принимая во внимание обычные в железнодорожном машиностроении затраты времени на разработку и опробование новых устройств, можно считать, что этот ходовой механизм получил признание в кратчайшие сроки. В Германии транспортные компании с 1990 г. эксплуатируют двухсекционные сочлененные вагоны с низким полом для нормальной и метровой колеи, оборудованные ходовой частью типа ЕЕФ. Однако дальнейшего ее распространения не последовало, так как появились новые виды подвижного состава (например, многосекционный сочлененный), для которого требовалась ходовая часть с более высокой несущей способностью. Кроме того, достаточно сложная конструкция рассмотренных колесных блоков затрудняла их обслуживание и ремонт.

В ходе совместных работ компаний MAN-GHН и Bremer Straßenbahn в 1989 г. был разработан вагон нового типа с низким полом



Рис. 8. Трамвай Variobahn в Людвигсхафене



Рис. 9. Трамвай NGT6C с ходовой частью типа ЕЕФ в Касселе

по всей площади (не только в области поддерживающего ходового механизма). Ходовая часть этого вагона состоит из уже отработанных компонентов, однако расположенных или скомпонованных иным образом. Этот вагон стал базовым для семейства подвижного состава трамвая GTx в четырех-, шести- и восьмиосном исполнении (рис. 10).

Ходовой механизм, конструкция которого одинакова как для метрополитенской, так и для нормальной колеи, состоит из одной пары свободно насаженных колес без привода и тормоза и второй такой же пары с тяговым приводом и тормозом. При этом привод моторной пары реализован на базе блока, состоящего из двух одинаковых редукторов (по одному на каждое колесо), объединенных жестким на скручивание валом, который в свою очередь соединен карданным валом с моторно-тормозным агрегатом, подвешенным к кузову (рис. 11). При движении в кривых этот ходовой механизм ведет себя как колесная пара, мнимая ось которой находится ниже уровня пола центрального прохода. Таким образом, этот ходовой механизм представляет собой гибрид 2-й и 3-й групп исполнения.

В системе этого привода использован продольно расположенный тяговый двигатель трехфазного тока, подвешенный к раме кузова. Крутящий момент, создаваемый двигателем, через карданный вал передается на коническую зубчатую передачу, а от нее, в свою очередь, на оба колеса редуктора. На валу тягового двигателя установлен диск электрогидравлического тормоза. Двигатель вместе с тормозным оборудованием образует компактный узел, подвешенный к кузову вагона. Последнее обстоятельство способствует повышению плавности хода, так как неподрессоренная масса, а также масса, поддрессоренная только на первой ступени, существенно уменьшена.

Начиная с момента создания подвижного состава семейства GTx



Рис. 10. Вагон трамвая GT6N в Бремене

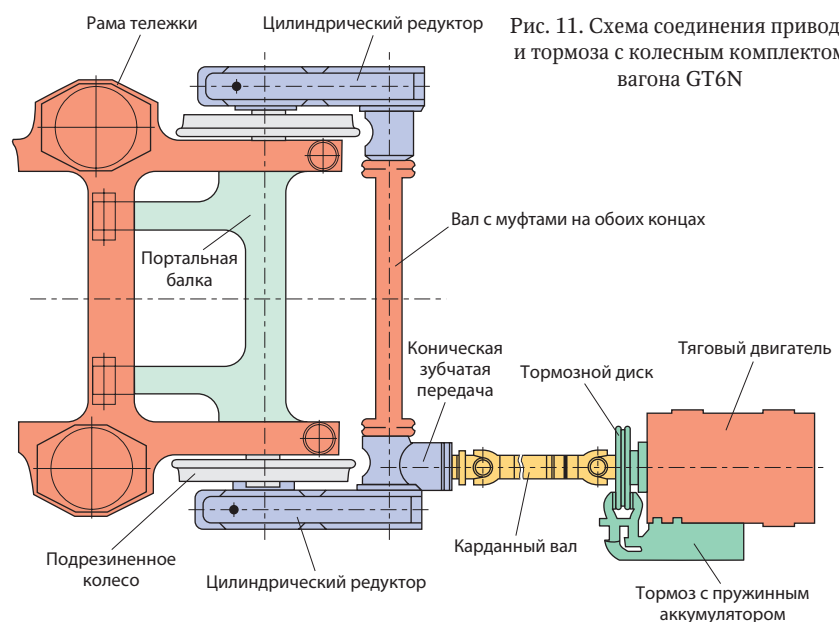


Рис. 11. Схема соединения привода и тормоза с колесным комплектом вагона GT6N

рассмотренной системой «привод — тормоз — колесная пара» оборудовано более 400 вагонов трамвая с низким полом. Впрочем, решение сделать вагон GT6N с высотой пола 350 мм на 100% площади было неглавным. В первую очередь стремились разработать вагон с признаком группы 2; он имеет много общего с вагонами типа Cityrunner или сегодняшними — семейства Flexity Outlook.

### Многообразие или стандартизация?

В Европе начало 1990-х годов характеризовалось большим спросом на вагоны с низким полом для трамвая и городских железных дорог, усиленным в Германии потребностью в них для земель бывшей ГДР. В условиях конкуренции между изготовителями подвижного состава почти каждый оператор полу-





Рис. 12. Трамвай с низким полом компании De Lijn (Бельгия)

чал выполненный по его требованиям подвижной состав со все новыми компонентами и системами в области ходовой части. Однако одновременно были сделаны первые попытки стандартизации применительно к конструкции колесных комплектов.

Во Франции (Гренобль) в 1987 г. был введен в эксплуатацию первый вагон с низким полом; он представлял собой экстремально короткий промежуточный вагон в составе, опирающийся на поддерживающие ходовые механизмы с четырьмя свободно насаженными колесами.

Подвижной состав этого вида в дальнейшем был усовершенствован и привел многих изготовителей к концепции так называемого многосекционного сочлененного состава, у которого длинный модуль кузова подвешен между двумя короткими модулями ходовых механизмов. Таким образом, модульная система с ограниченным числом модулей позволяла реализовать подвижной состав различной длины, чтобы максимальная осевая нагрузка соответствовала до-

пустимой для конкретной сети, линии или участка.

Для внедрения поддерживающего ходового механизма типа ЕЕFc в 1993 г. была разработана модульная система со свободно насаженными колесами (исполнение группы 3). При этом использование унифицированных конструктивных параметров (например, диаметров колес и тормозных дисков) и деталей позволило выполнить ходовые механизмы для различной ширины колеи (900 мм, 1000, 1435, 1450 и 1458 мм), а также давало возможность оборудовать их дополнительными элементами (например, заземляющим контактом) по мере совершенствования конструкций и оборудования. Готовая к монтажу ось со свободно насаженными колесами представляет собой неподвижную порталную балку, которая состоит из полой средней части прямоугольного сечения и приваренных к ней высокопрочных кованых торцовых частей. К ним крепятся цапфы, на которые устанавливают конические роликовые подшипники с пластичной смазкой, а на них

напрессовывают колеса с резиновым подрессориванием.

Как правило, в состав каждого колесного узла входит активный гидравлический дисковый тормоз (диск смонтирован на ступице колеса, которая одновременно фиксирует пару конических роликовых подшипников в осевом направлении). Отличительным признаком этой конструкции ходового механизма является первичное подвешивание (например, рессоры типа Megi), предназначенное для восприятия нагрузки и передачи продольных и поперечных сил, действующих между рамой ходовой части и осью со свободно насаженными колесами. Для этого на неподвижной оси выполнены соответствующие опорные площадки.

Примечательно также исполнение осей со свободно насаженными колесами (рис. 12) для трамвайного вагона с низким полом (метровая колея) бельгийской компании De Lijn. Здесь применено дисковое колесо SAB с резиновыми элементами. Для размещения 18 таких элементов в каждом колесе предусмотрено достаточное монтажное пространство. По концам оси предусмотрены места для крепления упругих поводков.

В одноосном ходовом механизме вагона Cobra Zürich, разработанного компанией Alstom Transport и предназначенного для метровой колеи, по конструктивным соображениям пришлось отказаться от сварной порталной оси с коваными частями (рис. 13). Здесь роль балки для пары колес выполняет плита, к концам которой болтами крепятся подступичные части с цапфами колес.

Для многосекционных сочлененных вагонов также создан ходовой механизм со свободно насаженными колесами. В этом случае четыре свободно вращающихся колеса крепят на раме и подрессоривают. Эта конструкция ходовой части реализована в вагоне трамвая

Variobahn в виде моторных и поддерживающих тележек (сейчас — Variotram компании Stadler).

В моторных тележках применен непосредственный тяговый привод от трехфазных двигателей с внешним ротором. Последний жестко связан с колесом, которое приводится во вращение без применения редуктора. В поддерживающих тележках все колеса оборудованы тормозами.

Конструкция колесных блоков в поддерживающей тележке сходна с колесами одноосного ходового механизма трамвайного вагона Variotram. Основное отличие состоит в том, что здесь каждое колесо установлено независимо от противоположащего, опирается на короткую прямую цапфу, которая с обеих сторон имеет присоединительные концы шестигранного профиля.

Все рассмотренные конструкции обеспечивают минимальную высоту пола в тамбурах и коридорах 300–350 мм. В 1997 г. в Вене был введен в эксплуатацию вагон ULF (Ultra Low Floor, сверхнизкий пол), у которого высота пола над УГР составляет всего 205 мм. Это стало возможным благодаря тому, что компоненты тягового привода вынесены за пределы зоны, находящейся между колесами ходовой части. В этом случае высота пола определяется только необходимым просветом при полном прогибе рессор.

Колесные комплекты вагона ULF для нормальной колеи относятся к группе 3, однако здесь вместо порталных балок для крепления колес используются высокие порталы, в нижней части которых на болтах закреплены колесные блоки и детали их подрессоривания. Порталы ясно видны на рис. 7. Тяговые колесные блоки оснащены муфтами для подсоединения тягового привода, а поддерживающие имеют фланцы для установки тормозных дисков. Дополнительно на переднем и заднем порталах



Рис. 13. Вагон Cobra с низким полом в Цюрихе

размещены узлы, ограничивающие угол поворота колесного блока максимум до  $\pm 5^\circ$ , что уменьшает угол набегания колеса при входе в кривую.

#### Модульное исполнение подвижного состава

Сегодня предложения поставщиков подвижного состава базируются на концепции модульного исполнения различных подсистем, в том числе и колесного комплекта. Это относится как к моторным, так и к поддерживающим ходовым механизмам. В их конструкции используют преимущественно унифицированные детали, чтобы выполнить требования заказчика в отношении низких издержек изготовления, высокой надежности и гарантированно низких расходов жизненного цикла.

Реализация модульной конструкции оси со свободно насаженными колесами может быть рассмотрена на двух примерах. Как в системном решении для колесного комплекта вагона Combino (мет-

ровая колея) компании Siemens Transportation Systems, так и в конструкции этих элементов вагона с низким полом Incentro (нормальная колея) компании Bombardier Transportation преследовалась одна цель — ограничение различий между моторным и поддерживающим ходовыми механизмами, в частности по узлам сопряжения колесных блоков с тяговым приводом и компонентами тормоза. Однако конструкция соединяющих осей (портальных балок и высоких порталов) не может быть унифицирована.

В ходовом механизме вагона Combino на торцах моторных колесных блоков монтируется элемент для передачи тягового усилия с помощью полого вала, а на поддерживающих парах колесных блоков — фланцы для установки тормозного диска. Системное решение поддерживающих колесных блоков предусматривает также монтаж тормозных клещей дискового тормоза, а также герметичное исполнение диска импульсного датчика, используемого для измерения частоты вращения колеса. Этот параметр



Рис. 14. Поезд Combino Plus компании Siemens в Будапеште



Рис. 15. Поезд Regio Citadis компании Alstom в Касселе

необходим для систем регулирования, а также для работы защиты от юза при торможении. Несущие компоненты (U-образная порталная балка с присоединенными колесными осями), колесо и контакт заземления образуют унифицированный модуль, который может использоваться как для моторных, так и для поддерживающих пар колесных блоков.

В ходовых механизмах вагона Incentro различия между тяговыми колесными блоками и поддерживающими блоками, несущими тормозное оборудование, также сведены к минимуму: установка переходника для тягового привода или фланца для тормозного диска на унифицированную ось колеса позволяет использовать колесный блок в качестве как моторного, так и поддерживающего тормозного. Наряду со снижением издержек при изготовлении и монтаже это дает возможность будущему оператору оптимизировать запасы резервных осей и деталей к ним, закупая их отдельно.

Применение одинаковых готовых деталей, по крайней мере одинаковых заготовок, позволяет снижать затраты на изготовление. В моторных и поддерживающих ходовых механизмах вагонов, предназначенных для нормальной ко-

леи, ранее использовали порталные оси в сварном исполнении, которые имели заметные геометрические различия, обусловленные применением кованных торцовых частей, связанных с колесом. Следствием этого было раздельное изготовление моторных и поддерживающих осей на всех этапах, начиная от заготовок и кончая готовыми к монтажу деталями.

В новом исполнении осей со свободно насаженными колесами вагона Combino Plus для компании Metro Transportes do Sul (MTS) и трамвая Будапешта эти различия минимизированы за счет замены прежней ковано-сварной конструкции монолитной заготовкой, получаемой методом объемной штамповки (рис. 14). Однако в этом случае затраты на сложный штамп окупятся только при серийном выпуске такой порталной оси. Тем не менее исключение сварочных операций и необходимых подготовительных работ приводит к значительному снижению затрат. Технологии изготовления порталных осей для ходовых механизмов обоих видов различаются теперь только операциями механической обработки.

При выполнении ремонтных работ на подвижном составе с низким полом, а также в процессе тех-

нического обслуживания к снижению затрат приводит возможность свободного доступа персонала к регулярно обслуживаемым подсистемам: например, гораздо удобнее открыть смотровой люк в нижней части боковой стенки, закрывающей ходовую часть, чем использовать специальный путь с рабочей канавой в депо.

Как правило, рассматриваемые ходовые механизмы комплектуют гидравлическими дисковыми тормозами, датчиками частоты вращения, необходимыми для защиты от юза, а также контактом заземления. Для контроля состояния этих устройств, замены фрикционных накладок и угольных щеток необходимо обеспечить к ним простой доступ. В результате совершенствования конструкции удалось этого добиться, расположив указанные устройства со стороны торца оси. Примером этого служит поддерживающий ходовой механизм для поезда городской железной дороги в Касселе Regio Citadis компании Alstom Transport (рис. 15), на котором обеспечен удобный доступ к отмеченному оборудованию при открытии клапана фартука.

*Glaser's Annalen*, 131, Tagungsband SFT, Грац, 2007, S. 211–223; материалы компании *Gutehoffnungshütte Radsatz*.