

УДК 629.4.027.4:656.2

DOI: 10.12737/18171

В.И. Воробьев, А.Г. Стриженок, О.В. Измеров

## ПОИСК НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ РЕДУКТОРНОГО И БЕЗРЕДУКТОРНОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЛОКОМОТИВА С ЧАСТИЧНЫМ ОБРЕССОРИВАНИЕМ МАСС

Рассмотрена задача поиска новых конструктивных схем тягового привода локомотива с частичным обрессориванием масс. Предложены новые конструктивные схемы: привод с подвижным соединением тягового электродвигателя и осевого

редуктора и привод с дисковым двигателем с разделением статора и ротора.

**Ключевые слова:** синтез технических решений, тяговый привод, подвижной состав железных дорог, энергосберегающие технологии.

V.I. Vorobiyov, A.G. Strizhenok, O.V. Izmerov

## SEARCH OF NEW DESIGN SCHEMES OF GEARED AND DIRECT-DRIVE TRACTION MECHANISM OF LOCOMOTIVE WITH MASS PARTIAL SPRINGING

The problem of search new design schemes of a traction mechanism for a locomotive with mass drive partial springing is under consideration. New design schemes are offered: a drive with a movable joint of a drive motor and an axial reducing gear and a drive with a disk motor with the separation of a stator and rotor. The authors offer to return to the development of support-frame drives with an axial reducing gear as it is simpler in manufacturing and assemblage on the basis of updated data of their operating modes. The authors also offer their own design of an integrated traction drive with a swivel of a motor and reducing gear which is simpler in manufacturing and assemblage as com-

pared with the foreign analogues.

The introduction of non-synchronous traction electric motors having a smaller mass and higher reliability as compared with commutator motors resulted in new designs of a support-axial drive by foreign manufacturers and their introduction in the market of domestic rolling-stock. This work shows an attempt to determine possibilities to eliminate dependence mentioned by means of the analysis of basic problems in the development of support-axial drive design and new structural scheme searches.

**Key words:** synthesis of engineering solutions, traction drive, rolling-stock, power-saving techniques.

Внедрение асинхронных тяговых электродвигателей (ТЭД), имеющих меньшую массу и более высокую надежность по сравнению с коллекторными, привело к созданию новых конструкций опорно-осевого привода зарубежными фирмами и внедрению их на рынок отечественного подвижного состава. Настоящая статья представляет собой попытку выявить возможности устранения данной зависимости путем анализа основных про-

блем развития конструкции опорно-осевых приводов и поиска их новых конструктивных схем. Поскольку схема опорно-осевого привода является одним из вариантов реализации принципа частичного обрессоривания масс привода [3], схема синтеза конструкций имеет вид, представленный на рис. 1. Наиболее применяемые схемы редукторных приводов показаны на рис. 2.

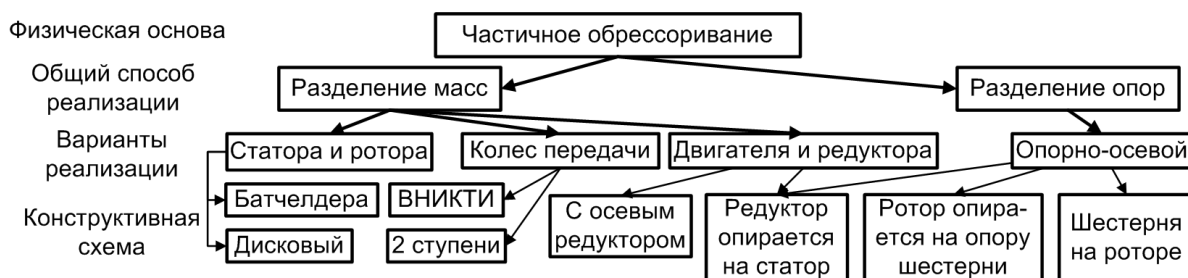


Рис. 1. Принцип синтеза конструкций тяговых приводов с частичным обрессориванием масс

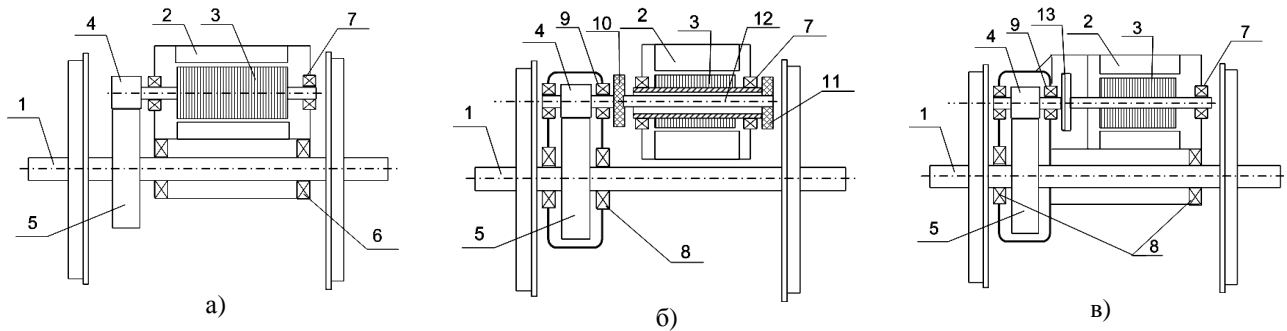


Рис. 2. Варианты редукторного тягового привода: 1 – колесная пара; 2 – статор ТЭД; 3 – ротор ТЭД; 4 – малое зубчатое колесо; 5 – большое зубчатое колесо; 6 – моторно-осевой подшипник; 7 – подшипник ротора ТЭД; 8 – осевой подшипник редуктора; 9 – подшипник оси малого зубчатого колеса; 10, 11 – компенсирующие муфты; 12 – торсионный вал; 13 – дисковая муфта

Консольное расположение малого колеса тяговой передачи (рис. 2а) обеспечивает простоту и удобство обслуживания и ремонта. Такое расположение малого колеса ограничивает возможности снижения его диаметра по условиям надежности посадки на вал ТЭД и прочности хвостовика вала, что мешает повысить число оборотов ТЭД и снизить его массу.

Схема с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором (рис. 2б) позволяет обеспечить надежную работу зубчатых колес при технологической простоте изготовления (симметричное расположение опор, простота деталей корпуса и удобство их обработки). Однако размещение торсиона внутри полого вала при повышении числа оборотов ТЭД мешает уменьшить диаметр подшипников ротора ТЭД для снижения их нагрева. Наружный диаметр вала асинхронного ТЭД СТА-1200 мощностью 1200 кВт электровоза ДСЗ близок к 190 мм и почти на 40 мм больше диаметра вала ТЭД при схеме на рис. 2а. Частота вращения ТЭД мощностью 1200 кВт в таком приводе составляет  $2700-2900 \text{ мин}^{-1}$ , в то время как в приводах электровозов с асинхронным ТЭД той же мощности и цельным валом она доходит до  $3400-3500 \text{ мин}^{-1}$ .

В интегрированной схеме (рис. 2в) ТЭД частично использует для опирания статора и ротора подшипники осевого редуктора. На отечественных железных дорогах внедряется показанный на рис. 2в вариант с соединением ротора ТЭД и вала редуктора через диафрагменную муфту. При этом требуется более высокая точ-

ность обработки поверхностей, так как положение большого и малого зубчатых колес осевого редуктора определяется более длинной размерной цепью, в которую помимо корпуса редуктора входят один из подшипниковых щитов и остов ТЭД. Базирование деталей осуществляется по поверхностям, находящимся во взаимно перпендикулярных плоскостях. Изгиб оси колесной пары под действием нагрузок со стороны букс вызывает статический и динамический перекося зубчатых колес редуктора относительно друг друга, что приводит к неравномерному распределению нагрузки по длине зубьев колес и снижает долговечность передачи, а отсутствие элементов, амортизирующих крутильные колебания, в известных конструкциях такого привода (электровоз 2ЭС10 [2]) увеличивает динамические нагрузки в передаче и может приводить к росту склонности к боксованию и более высокой интенсивности износа бандажей (на 15% выше, чем в приводе с упругим зубчатым колесом) [1]. Утрачиваются основные преимущества опорно-осевых приводов с коллекторными ТЭД перед опорно-рамными приводами – конструктивная простота и низкая стоимость производства, причем без существенного выигрыша в весе узла. Как видно из таблицы, переход к интегрированному приводу и повышение частоты вращения ТЭД с  $2700-2900$  до  $3400-3600 \text{ мин}^{-1}$  ведет к снижению массы ТЭД в среднем на 15%, т. е. не более чем на 500 кг, в то время как замена коллекторных ТЭД на асинхронные ведет к снижению массы на 1500-

2000 кг. Повышение мощности в асинхронных ТЭД в 1,5-2 раза по сравнению с коллекторными не приводит к росту крутящего момента на валу. На электровозе

ЧС2Т тяговый момент на торсионном валу составляет примерно 10 кНм и равен тяговому моменту асинхронных ТЭД СТА-1200 и НТА-1200.

Таблица

Параметры электродвигателей

Параметр	СТА-1200	НТА-1200	ДТА-1200А	ТЭД 2ЭС10	GB4843
Привод	ОРП-ОР	ОРП-ОР	ООП интегр.	ООП интегр.	ООП интегр.
Мощность, кВт	1200	1200	1200	1200	1400
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	2900	2680	3532	3425	3600
Масса, кг	2300	2400	1960	-	2380
Уд. масса, кг/кВт	1,92	2,0	1,63	-	1,7

Диаметр торсионного вала более 80 мм соответствует диаметру торсионного вала, спроектированного для материалов и условий обработки, отвечающих технологической базе 1960-х годов. Зазоры между торсионным валом и полым валом ротора ТЭД в 30 мм на сторону приняты для привода тепловоза 2ТЭ121 с одноступенчатым рессорным подвешиванием, у которого вертикальное перемещение букс относительно рамы тележки в первоначальном варианте достигало 30 мм, что больше перемещения букс первой ступени при двух ступенях рессорного подвешивания.

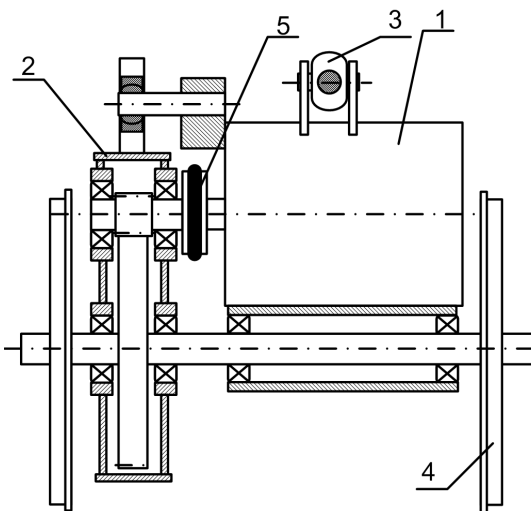


Рис. 3. Предлагаемая схема опорно-осевого тягового привода

В связи с этим авторы предлагают вернуться к исследованиям и проработкам вариантов конструкции опорно-рамных тяговых приводов с осевым редуктором для перспективных грузовых локомотивов на основе уточнения данных об условиях

работы таких приводов и современных технологий изготовления их узлов и деталей. Авторами также предложена новая схема тягового привода, показанная на рис. 3. Статор ТЭД 1 и редуктор 2 одной стороной опираются через подшипники на ось колесной пары 4. Другой стороной ТЭД подвешен с помощью тяги 3 к раме тележки, а редуктор 2 соединен с остовом ТЭД шарнирным соединением. Ротор ТЭД соединен с валом-шестерней редуктора 2 упругой компенсирующей муфтой 5. Шестерня осевого редуктора расположена симметрично относительно подшипниковых опор, и ее положение относительно большого зубчатого колеса определяется только размерными цепями корпуса редуктора; таким образом, требования к точности изготовления осевого редуктора и сложности монтажа ниже, чем у привода «Siemens», и не превышают существующих для электровоза ЭП1. Величина несоосности валов, которую должна компенсировать муфта 5, определяется погрешностями изготовления деталей привода и зазорами в шарнирном соединении редуктора с остовом ТЭД, что позволяет применить для компенсации одинарную упругую муфту, например брусковую. Упругое звено между ротором ТЭД и редуктором снижает динамические нагрузки, уменьшает склонность к боксованию и износ рельсов. На предложенную конструкцию тягового привода авторами подана заявка на получение патента на полезную модель.

Ведущими производителями подвижного состава выполняются работы по созданию непосредственного тягового привода с синхронным электродвигателем. По заключению О.Н. Назарова, заведующего отделением ОАО «ВНИИЖТ», внедрение таких приводов снизит затраты на электроэнергию, топливо и масло на 6%, а на ремонт и обслуживание тяговых двигателей – в два раза. В настоящее время используются варианты конструкций, приведенные на рис. 4.

Тяговый привод с жестким опиранием всего тягового электродвигателя на ось колесной пары (рис. 4а) использован для трамвая «Variobahn», электропоезда с изменяемой шириной колеи, в приводе «Syn-tegra» для вагонов метро фирмы «Siemens» и др. Конструкция привода проста и надежна при бесколлекторном ТЭД. Корпус двигателя связан с рамой тележки либо горизонтальной реактивной тягой (рис. 4а), либо пружинной подвеской, аналогичной применяемой в опорно-осевом приводе. Для электровозов масса тихоходного ТЭД составит порядка нескольких тонн, а непосредственная опора ТЭД на ось приведет к высоким значениям неподрессоренной массы и росту воздействия на путь. Для ремонта ТЭД и его подшипников необходимо расформирование колесной пары.

Тяговый привод с опиранием ТЭД на раму тележки и полым валом ТЭД (рис.

4б) использован для электровоза 85Е0 «Шкода», а также в опытных тяговых приводах с синхронными ТЭД компании «Magnetmotor». Ведется разработка привода такого типа для электропоезда ICE3. Данный вариант позволяет разместить ТЭД больших размеров и массы, однако необходимость применения для связи вала ТЭД и колесной пары компенсирующих муфт ограничивает возможности его использования для грузовых локомотивов. Необходимо обеспечить зазор между осью и валом ТЭД около 50 мм, что увеличивает внутренний диаметр подшипников ТЭД с 200-250 до 350-400 мм и усложняет их выбор. Для ремонта ТЭД и подшипников необходимо расформирование колесной пары.

Тяговый привод с упругим опиранием ТЭД на ось колесной пары (рис. 4в) применен компанией «JR East» на электропоезде «Advanced Commuter Train». По данным ВНИКТИ, зазор между валом ротора ТЭД и осью колесной пары при упругом опирании может быть сокращен примерно до 20 мм, что облегчает выбор подшипников, а надежность упругих элементов для опирания ТЭД на ось или колесный центр может быть достаточной для передачи момента, требуемого для грузового локомотива. Привод требует расформирования колесной пары при ремонте.

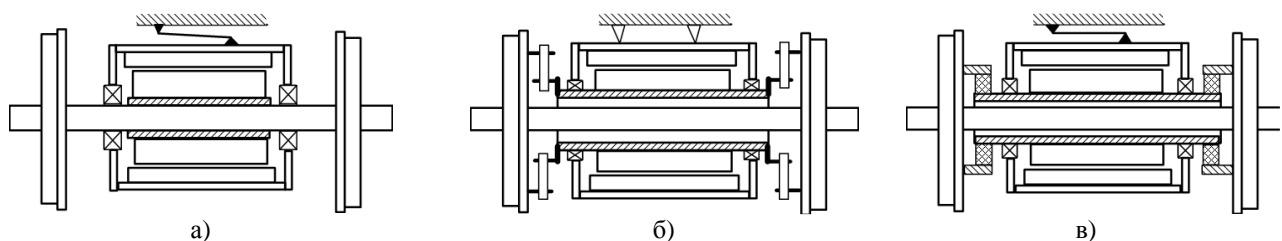


Рис. 4. Варианты компоновки непосредственного тягового привода: а – жесткое опирание ТЭД на ось; б – опирание ТЭД на раму тележки; в – упругое опирание ТЭД на ось

Анализ классификации [3] показал, что среди возможных вариантов на практике не применяется привод, где частичное обрессоривание достигается за счет разделения статора и ротора, который был реализован Батчелдером в его двухполюсном двигателе. Применение коллекторного

двигателя с радиальным магнитным потоком привело к большому весу якоря на оси, ненадежности коллекторно-щеточного узла и обмоток на неподрессоренной массе. Для устранения недостатков авторами предложен тяговый привод, изображенный на рис. 5.

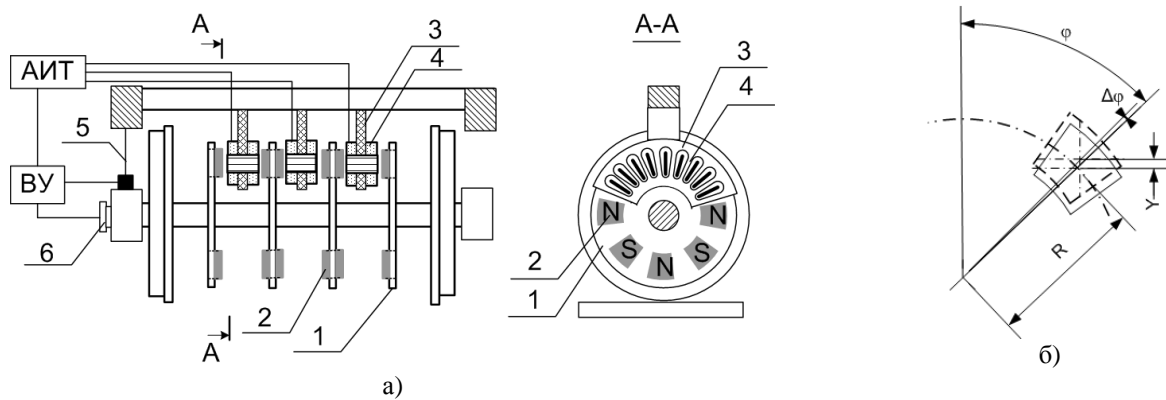


Рис. 5. Тяговый привод с разделением статора и ротора: а – устройство; б – пояснение коррекции угла коммутации фаз

Ротор выполнен в виде расположенных на оси колесной пары дисков 1 с постоянными магнитами 2, статор – в виде закрепленных на раме тележки секторов 3 с фазными обмотками 4, ток в которых коммутируется автономным инвертором тока (АИТ). АИТ управляется вычислительным устройством (ВУ), на вход которого поступают сигналы от датчика 6 углового положения ротора и датчика 5 вертикального перемещения буксы относительно рамы тележки, благодаря чему коммутация фазных обмоток осуществляется с учетом перемещения магнитов относительно обмоток при колебаниях тележки на рессорном подвешивании. При проезде неровностей пути, вызывающих колебания тепловоза на рессорном подвешивании, диски ротора 1 перемещаются вертикально в зазоре между магнитами 2 и обмотками 4 статора 3. При вертикальном перемещении дисков ротора 1 угол между установленными на дисках постоянными магнитами 2 и обмотками 4 статора 3 изменяется (рис. 5б) на величину

$$\Delta\varphi = \arcsin((Y/R) \sin \varphi),$$

где  $\varphi$  – угол между серединой постоянного магнита 3 и вертикалью;  $R$  – средний радиус расположения магнитов 3;  $Y$  – вертикальное перемещение колесной пары 1 относительно рамы тележки.

Вертикальное перемещение колесной пары относительно рамы тележки меняет угловую скорость движения магнитов 2

#### Выводы:

1. Применение асинхронных ТЭД в приводе грузовых локомотивов с опорно-осевым подвешиванием ТЭД привело к

относительно обмоток 4, нарушая синхронность между перемещением постоянных магнитов и вращением магнитного поля статора. Для обеспечения устойчивой работы АИТ на ВУ подается сигнал в виде цифрового кода от датчика расстояния между колесной парой и рамой тележки, на основании которого вычислительное устройство определяет сдвиг угла коммутации каждой из обмоток.

Предложенный тяговый привод не содержит частей, требующих обслуживания и ремонта, что сокращает эксплуатационные расходы. На предложенную конструкцию тягового привода подана заявка на получение патента на полезную модель. Возможен вариант развития данной конструктивной схемы на основе вентильно-индукторных ТЭД. В настоящее время Новочеркасским электровозостроительным заводом создан индукторный ТЭД НТИ-350 для электропоездов, в Харьковском политехническом институте ведутся работы по созданию индукторного ТЭД для безредукторного привода по схеме на рис. 4б. Известны вентильные двигатели с осевым магнитным потоком, имеющие конструкцию ротора в виде диска. В связи с этим имеет смысл проведение исследований конструкций дисковых вентильно-индукторных двигателей как возможного варианта развития ТЭД с ротором на оси колесной пары и статором на раме тележки.

использованию конструктивных схем привода, требующих заказа данного узла у зарубежных фирм и имеющих недостатки в

виде возникновения перекоса зубчатых колес передачи вследствие прогиба оси колесной пары и высоких динамических моментов из-за отсутствия амортизирующих элементов в валопроводах привода. Перспективные конструкции привода с опорно-осевым ТЭД по сложности производства и ремонта не имеют явных преимуществ перед приводами с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором.

2. Предложено в требованиях к перспективным грузовым локомотивам указывать не тип подвешивания ТЭД, а степень обрессоривания масс привода (частичное или полное) и вернуться к исследованиям и проработкам вариантов конструкции опорно-рамных тяговых приводов с осевым редуктором для перспективных грузовых локомотивов. Предложена новая конструктивная схема привода с частичным обрессориванием масс, в которой осевой редуктор связан с ТЭД подвижным

соединением, отличающаяся простотой изготовления, точностью установки зубчатых колес и меньшими динамическими моментами.

3. Известные конструкции непосредственного тягового привода содержат изнашиваемые детали (подшипники на оси колесной пары, компенсирующие муфты), замена которых может требовать расформирования колесной пары. Предложена конструкция непосредственного тягового привода с ротором ТЭД на оси колесной пары и статором, подвешенным к раме тележки, не содержащая деталей, подверженных износу, в которой для обеспечения устойчивости коммутации преобразователя тока введена поправка, учитывающая перемещение колесной пары относительно рамы тележки. Имеет смысл проведение исследований дисковых вентильно-индукторных двигателей как возможного варианта такого привода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И.В. Бирюков. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
2. 2ЭС10.00.000.000 РЭЗ. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС10 с асинхронными тяговыми электродвигателями. Описание и работа. Механическое оборудование и системы вентиляции. – Ч. 4. – 90 с.
3. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – №4. (39). – С. 53-60.
1. Biryukov, I.V. Traction Gears in Railway Electric Rolling-Stock / I.V. Biryukov. – М.: Transport, 1986. – pp. 256.
2. 2ЭС10.00.000.000 REP. Electric Freight DC Locomotive 2ЭС10 with Asynchronous Traction Electric Motors. Description and Functioning. Engineering Equipment and Ventilation Systems. – 4.4. –

3. Izmerov, O.V. Classification as instrument in synthesis of engineering part in traction drives of rolling-stock / O.V. Izmerov, G.S. Mikhailchenko // World of Transport and Engineering machinery. – 2012. – №4. (39). – pp. 53-60.
3. Izmerov, O.V. Classification as instrument in synthesis of engineering part in traction drives of rolling-stock / O.V. Izmerov, G.S. Mikhailchenko // World of Transport and Engineering machinery. – 2012. – №4. (39). – pp. 53-60.

*Статья поступила в редколлегию 15.01.2016.*

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета Горленко О.А.*

#### Сведения об авторах:

**Воробьев Владимир Иванович**, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 56-04-66.

**Стриженов Александр Георгиевич**, к.т.н., профессор кафедры «Детали машин» Брянского государственного

**Vorobiyov Vladimir Ivanovich**, Can.Eng., Assistant Prof. Of the Dep. "Rolling-Stock", Bryansk State technical University, Phone: (4832) 56-04-66.

**Strizhenok Alexander Georgievich**, Can.Eng., Prof. of the Dep. "Machinery", Bryansk State Technical

дарственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-12.

**Измеров Олег Васильевич**, соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 56-14-44.

University, Phone: (4832) 58-82-12.

**Izmerov Oleg Vasilievich**, Competitor of the Dep. "Rolling-Stock", Bryansk State technical University, Phone: (4832) 56-14-44.