

В. В. Равино, канд. техн. наук, доцент, БНТУ; С. М. Минюкович, канд. техн. наук,
П. М. Галямов, аспирант ГНУ «ОИМ НАН Беларуси»;
А. Г. Куприянов, инженер КУП «Минсктранс»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ВЕДУЩЕГО МОСТА МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

In the article an analysis of wood transport vehicle trailer trains exploitation conditions is considered. Requirements to transmission design of perspective wood transport trailer train based on exploitation conditions analyses are set up. This trailer train is suitable for transport wood materials in long-length logs or in short-length logs both on wood roads and hard-coated roads. The advantages of using active semitrailer for this vehicle trailer train are shown.

An analysis existing trailer trains type of active trailer drives is carried out. An advantage of electric drive is shown for this purpose. The electrical machines are selected and constructive design is worked out of perspective wood transport vehicle trailer train active semitrailer electric drive. The results of experimental research of dynamic loads in rear driving semi-axle of MAZ-103T trolleybus are presented. These results may be used for development perspective wood transport vehicle control system of active semitrailer axle electric drive.

Введение. Работа лесного хозяйства в значительной степени зависит от качества работы лесовозного автотранспорта. Специфика транспорта леса состоит в том, что для перевозок используются как лесные дороги с низкими тягово-сцепными свойствами, так и сеть дорог общего пользования с твердым покрытием [1]. Такое разнообразие природно-производственных условий выдвигает специфические требования к конструкции лесовозных автопоездов: они должны сочетать в себе эксплуатационные свойства автомобилей повышенной проходимости (иметь высокий коэффициент использования сцепного веса), а также обладать высоким коэффициентом полезного действия и низким уровнем шума трансмиссии как скоростные магистральные автопоезда. Конструкция перспективного лесовозного автопоезда должна быть максимально унифицирована по основным агрегатам с серийными автомобилями МАЗ, чтобы экономически оправдать их мелкосерийный выпуск в условиях Минского автомобильного завода.

Основная часть. Тягово-сцепные свойства лесовозных автомобилей играют первостепенную роль при движении по лесным дорогам. По этой причине на лесозаготовительных предприятиях концерна «Беллесбумпром» в качестве тягачей для лесовозных автопоездов используют полноприводные автомобили МАЗ-5434, Урал-4320 и ЗИЛ-131 [1]. Однако наличие сложных систем распределения мощности между ведущими мостами (межосевых дифференциалов, раздаточных коробок) снижает КПД трансмиссии, увеличивает эксплуатационные затраты, расход топлива и уровень шума при движении по дорогам общего пользования, где они не требуются.

В существующих лесовозных автопоездах, несмотря на наличие полноприводного тягача, сцепной вес используется не оптимально: в загруженном состоянии нагрузка, приходящаяся

на передний ведущий мост тягача, вдвое меньше, чем на ведомые колеса полуприцепа. И возможности для ее увеличения ограничены, так как на переднем мосту автомобиля применяются колеса с односкатной ошиновкой. Следовательно, активация моста полуприцепа является более эффективным средством повышения тягово-сцепных свойств лесовозного автопоезда, чем использование тягача с передним ведущим мостом.

Обзор состояния вопроса. Седельно-сцепное устройство придает автопоезду необходимую маневренность за счет наличия шарнирного сочленения. Поэтому для активации ведущего моста полуприцепа лесовозного автопоезда следует использовать «гибкие» [2] трансмиссии – гидрообъемные или электрические.

Расчеты автопоезда с гидрообъемным приводом полуприцепа показывают, что его активация позволяет на 20–30% повысить суммарное сопротивление, преодолеваемое автопоездом [3]. Однако гидрообъемный привод характеризуется синхронным вращением гидронасоса и гидромотора. Это вызывает экспериментально выявленную [3] циркуляцию мощности между тягачом и активным полуприцепом, приводящую к дополнительным нагрузкам в трансмиссии и усиленному износу шин.

Поэтому перспективен электрический привод. Он обладает более высоким коэффициентом полезного действия, чем гидрообъемный [4, с. 12], не требует применения рабочих жидкостей и способен передавать мощность на значительные расстояния, что важно для длиннобазных машин.

Специалистами БелАЗ совместно с НАМИ (г. Москва) был изготовлен опытный образец активного автопоезда с электроприводом оси активного одноосного полуприцепа периодического действия на базе одноосного тягача БелАЗ-531Т. Система управления электропри-

водом полуприцепа выполнена таким образом, что пользоваться им разрешается на двух первых передачах переднего хода, а также на заднем ходу, то есть на наиболее тяжелых режимах движения. Это позволило применить электрические машины сравнительно небольшой мощности (генератор ДК-512А на 85 кВт, электродвигатель ДК-308А на 75 кВт) при мощности двигателя внутреннего сгорания Д-12А-450 330 кВт [5]. Названный автопоезд был испытан в НАМИ. Испытания показали, что применение указанного электропривода полуприцепа увеличивает силу тяги автопоезда на 30–35%, автопоезд может преодолевать подъемы до 15° на влажном грунте, покрытом дерном в летний период, а также двигаться по заснеженным грунтовыми дорогам зимой, что было невозможно без электропривода.

Конструкция и компоновка перспективного лесовозного автопоезда. Перспективный лесовозный автопоезд должен обеспечивать перевозку одной пачки хлыстов либо двух пачек сортиментов как по лесным дорогам, так и дорогам общего пользования. Поэтому в качестве прототипа был взят автопоезд в составе автомобиля-тягача МАЗ-64227 (6×4) и одноосного полуприцепа ОдАЗ-93571. Для активации последнего решено использовать тяговый электропривод постоянного тока на основе электрических машин с номинальным напряжением 275 В. В качестве генератора предполагается использовать трамвайный тяговый электродвигатель КР251 (50 кВт, 120 рад/с) с измененными обмоточными данными главных полюсов, а в качестве тягового электродвигателя – двигатель КР309А для автомобильных кранов (52 кВт, 133/425 рад/с) без изменений. Данные электромашин взяты из [6, с. 43–47]. Общий вид разработанного автопоезда представлен на рис. 1.

Привод тягового генератора 2 осуществляется от шестерни отбора мощности, имеющейся на промежуточном валу основной коробки передач ЯМЗ-238П автомобиля-тягача 1 через карданную передачу. Во избежание перегрузок привода промежуточного вала использование

электропривода разрешено только на первых трех передачах переднего хода, а также на низшей передаче заднего хода. Соответствующие концевые выключатели установлены в механизме переключения передач. Электрическая энергия генератора передается на полуприцеп 4 по гибким кабелям для питания тягового электродвигателя 5. Электронный блок управления 3 на основе сигналов электрических обратных связей задает величину тока якоря тягового электродвигателя и закон его нарастания, которые определяют величину развиваемого им крутящего момента и закон его изменения.

Постановка задачи исследования. Известно, что динамические нагрузки в трансмиссиях мобильных машин определяются двумя факторами: внешними воздействиями и преобразующими свойствами трансмиссии как динамической системы [7]. Анализ экспериментальных данных по нагруженности трансмиссий мобильных машин с электроприводом показывает, что максимальные динамические нагрузки в их трансмиссиях возникают в переходном процессе трогания, причем одним из факторов, определяющих их величину, является окружной люфт. Например, наличие окружного люфта величиной 20° в трансмиссии троллейбуса 8ТР-8 увеличивает пиковый динамический момент в ней на 30% [8]. Поскольку движение лесовозного автопоезда в трудных дорожных условиях сопряжено с частыми переходными режимами, то экспериментальное исследование динамических процессов в трансмиссиях мобильных машин представляется актуальным.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта экспериментальных исследований был выбран троллейбус МАЗ-103Т. Его трансмиссия по конструктивным и упруго-диссипативным параметрам близка к трансмиссии привода активного полуприцепа предлагаемого перспективного автопоезда. Предметом исследования были переходные процессы в электрической и механической частях тягового электропривода.

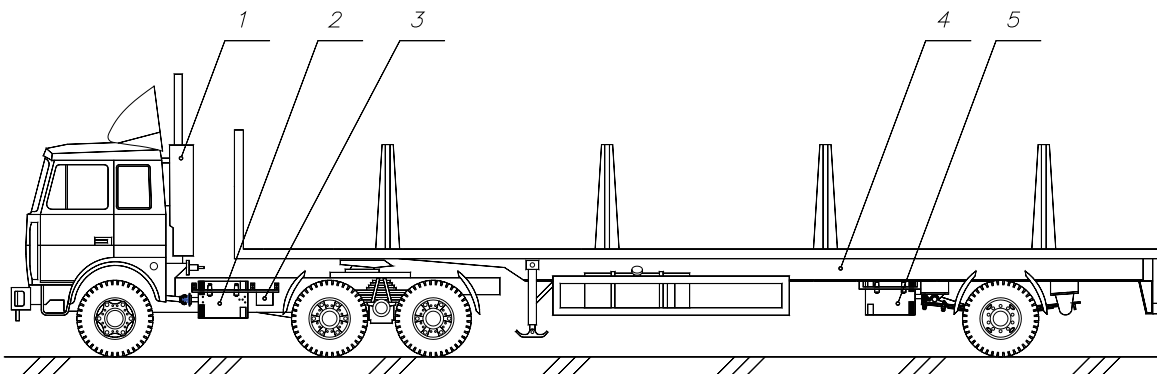


Рис. 1. Общий вид перспективного лесовозного автопоезда с электроприводом активного полуприцепа: 1 – автомобиль МАЗ-64227; 2 – генератор тяговый КР251; 3 – электронный блок управления; 4 – полуприцеп ОдАЗ-93571; 5 – электродвигатель тяговый КР309А

Методика и результаты исследования.

Испытания проводились сотрудниками Минского автомобильного завода и Объединенного института машиностроения НАН Беларуси на территории филиала «Троллейбусный парк № 4» КУП «Минсктранс» на горизонтальном участке дороги на троллейбусе снаряженной массы.

Испытываемый троллейбус имел окружной люфт трансмиссии величиной 45° . В связи с этим была принята следующая методика испытаний: перед включением тягового электропривода троллейбуса якорь тягового электродвигателя отводился до полной выборки всех окружных зазоров в сторону, соответствующую движению троллейбуса вперед (по часовой стрелке, если смотреть со стороны коллектора), или в противоположную сторону. В первом случае устанавливался окружной люфт 0° , а во втором – 45° соответственно. После установки необходимой величины окружного люфта трансмиссии водитель приводил троллейбус в движение резким нажатием на ходовую педаль до упора и удерживал ее в данном положении в течение 5 с, после чего троллейбус останавливался.

В ходе проведения экспериментальных исследований записывались следующие параметры переходного процесса трогания троллейбуса:

- крутящий момент на левой полуоси ведущего моста, Н·м;
- ток якоря тягового электродвигателя, А;
- сигнал, пропорциональный степени нажатия ходовой педали водителем (входной сигнал задатчика интенсивности), В;
- сигнал фактического задания тока якоря тягового электродвигателя (выходной сигнал задатчика интенсивности), В.

Для записи указанных сигналов использовался измерительный комплекс, включающий щеточный токосъемник SK-6, тензоусилитель KWS-3073 (фирма HBM, Германия) и многоканальную регистрирующую систему M3 INTEGRA (фирма B+S Multidata, Германия).

На рис. 2–3 представлены временные диаграммы переходного процесса трогания троллейбуса МАЗ-103Т со штатной системой управления тяговым электродвигателем.

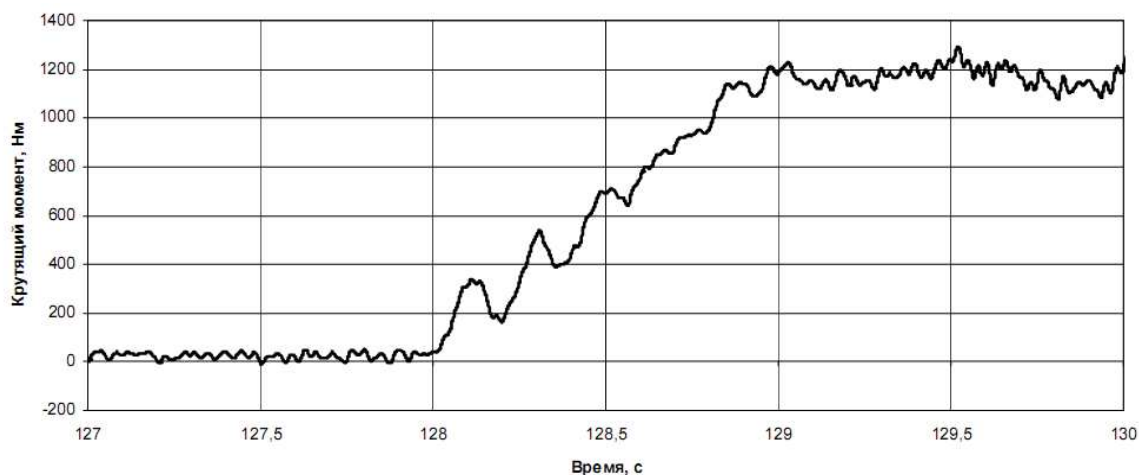


Рис. 2. Временная диаграмма крутящего момента на полуоси ведущего моста при резком трогании троллейбуса с места, установлена штатная система управления тяговым двигателем (окружной люфт в трансмиссии 0°)

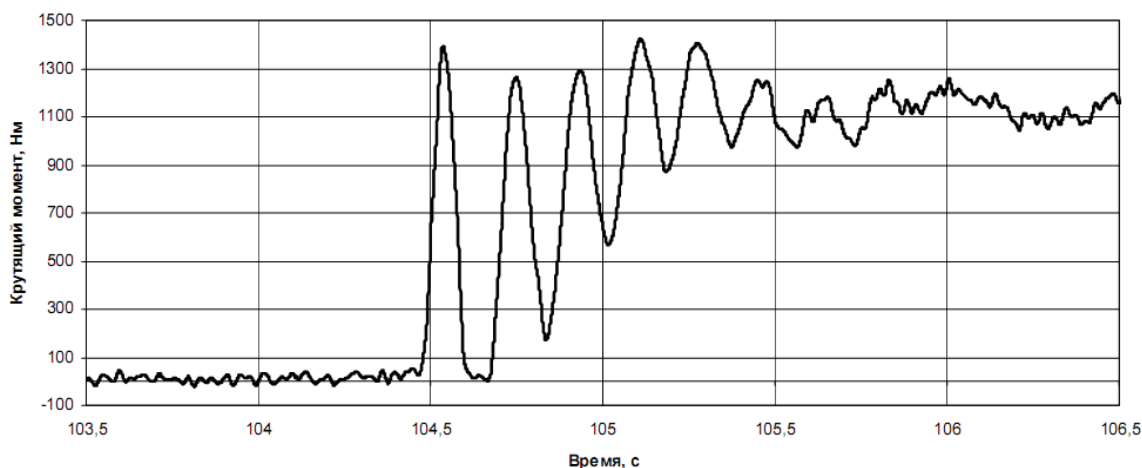


Рис. 3. Временная диаграмма крутящего момента на полуоси ведущего моста при резком трогании троллейбуса с места, установлена штатная система управления тяговым двигателем (окружной люфт в трансмиссии 45°)

Из данных осциллограмм следует, что наличие окружного люфта в трансмиссии приводит к тому, что процесс трогания троллейбуса сопровождается крутильными колебаниями, дополнительно нагружающими трансмиссию и ухудшающими плавность разгона машины.

Причиной неудовлетворительного качества переходного процесса является линейная переходная характеристика штатного задатчика интенсивности, приводящая к тому, что чем больше окружной люфт в трансмиссии, тем при большем крутящем моменте тягового электродвигателя он выбирается, что усиливает нагруженность трансмиссии по мере ее износа.

Для устранения указанного недостатка в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси совместно с Минским автомо-

бильным заводом был разработан задатчик интенсивности с нелинейной переходной характеристикой, обеспечивающей выбор окружного люфта в трансмиссии при пониженном токе якоря тягового электродвигателя вне зависимости от действий водителя.

Результаты испытаний представлены на рис. 4–5.

Сопоставляя результаты испытаний троллейбуса МАЗ-103Т со штатной и предлагаемой системами управления тяговым электродвигателем, мы видим, что использование предлагаемой системы управления тяговым электродвигателем позволяет добиться существенного снижения нагруженности трансмиссии в переходном процессе трогания.

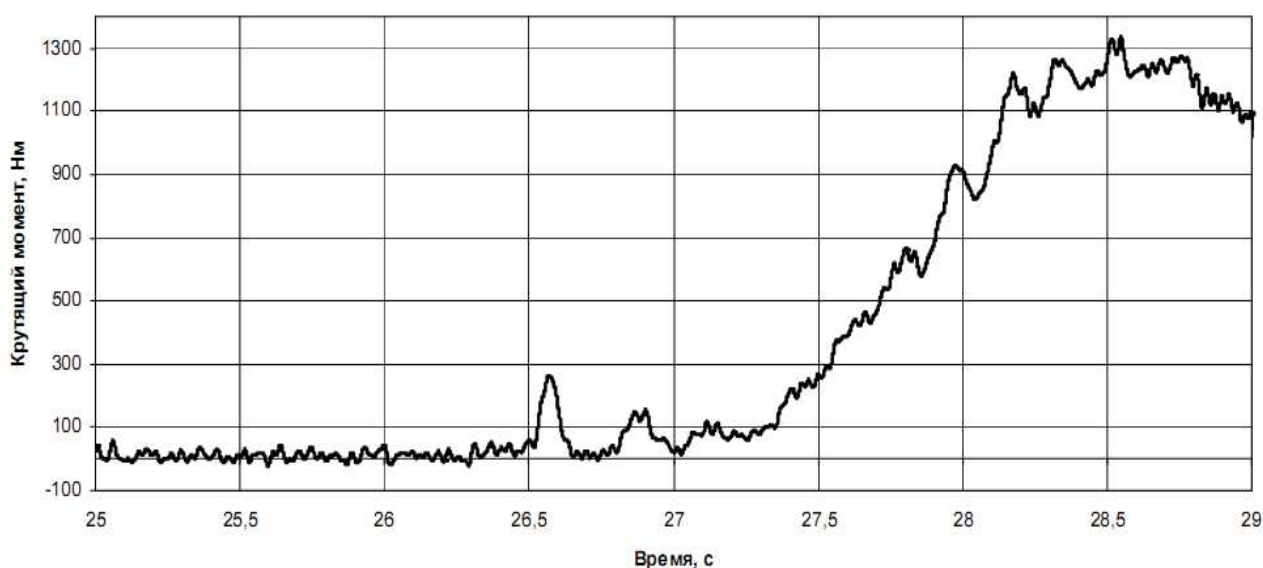


Рис. 4. Временная диаграмма крутящего момента на полуоси ведущего моста при резком трогании троллейбуса с места, установлена опытная система управления тяговым двигателем (окружной люфт в трансмиссии 0°)

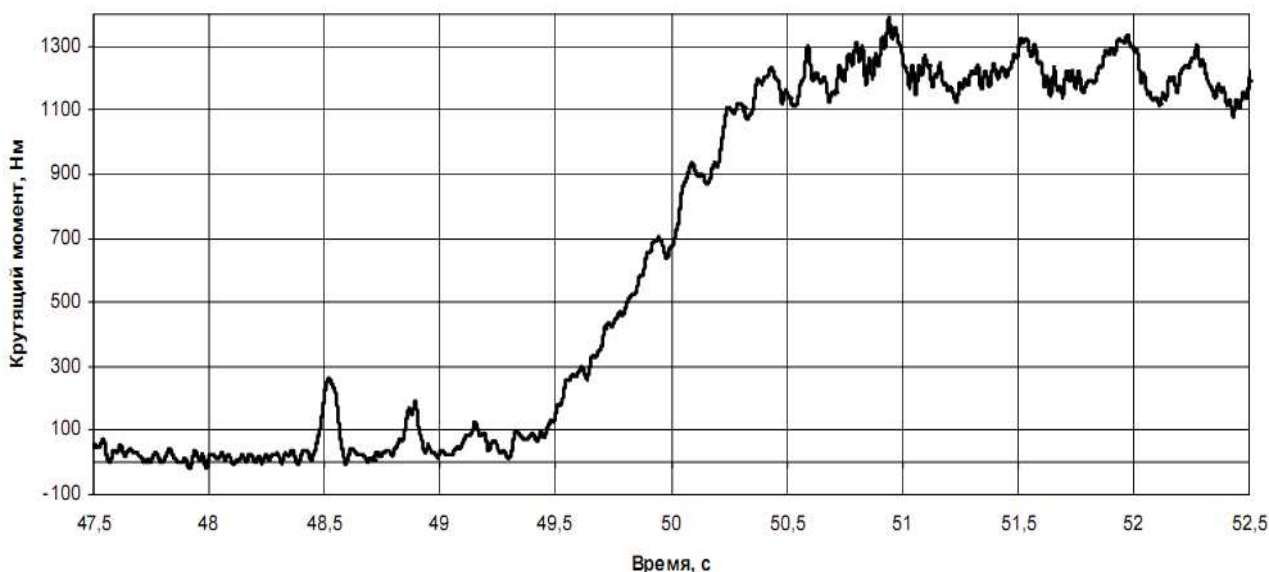


Рис. 5. Временная диаграмма крутящего момента на полуоси ведущего моста при резком трогании троллейбуса с места, установлена опытная система управления тяговым двигателем (окружной люфт в трансмиссии 45°)

Выводы. 1. Экспериментально установлено, что существенным фактором, увеличивающим динамическую нагруженность трансмиссий мобильных машин при трогании, является окружной люфт. При трогании троллейбуса МАЗ-103Т с окружным люфтом трансмиссии величиной 45° процесс нагружения трансмиссии крутящим моментом носит выраженный колебательный характер, что отрицательно сказывается на ее сроке службы и комфортабельности машины. Возникающий при этом пиковый динамический момент на полуоси ведущего моста на 8–10% превышает квазистатический.

2. Амплитуды пиковых динамических моментов на полуоси ведущего моста троллейбуса МАЗ-103Т и характер ее нагружения мало зависят от того, заторможены колеса или нет. Это связано как с малой крутильной податливостью современных радиальных шин по сравнению с полуосями, так и с тем, что приведенный момент инерции маховика, эквивалентного поступательно движущейся массе троллейбуса, на порядок превосходит приведенный момент инерции якоря тягового электродвигателя. Близкое к этому соотношение моментов инерции справедливо и для электропривода ведущего моста полуприцепа предлагаемого лесовозного автопоезда. Это дает основание при проведении экспериментальных исследований динамики подобных машин проводить эксперименты при заторможенных колесах, а значит, отказаться от ненадежных и дорогостоящих токосъемников, а также использовать более дешевую стационарную аппаратуру вместо дорогой мобильной.

3. Совершенствование закона и системы управления тяговым электроприводом является эффективным средством снижения динамической нагруженности трансмиссии при трогании. В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси совместно с Минским автомобильным заводом разработан и изготовлен макетный образец системы управления тяговым электродвигателем троллейбуса МАЗ-103Т, реализующий процесс выбора окружного люфта трансмиссии при трогании при пониженном токе якоря тягового электродвигателя независимо от действий водителя. Эксперименты подтвердили его эффективность: пиковый динамический момент на полуоси снизился с 1380 до 390 Н·м, существенно повысилась плавность трогания.

Литература

1. Насковец, М. Т. Взаимодействие колес подвижного состава, применяемого на вывозке заготовленного древесного сырья, с грунтовыми покрытиями лесных дорог / М. Т. Насковец, С. А. Севрук, П. С. Бобарыко // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2007. – Вып. XV. – С. 104–108.

2. Купреянов, А. А. Метод управления электротрансмиссией многоосного шасси с учетом особенностей взаимодействия колесного шасси с опорной поверхностью / А. А. Купреянов, С. А. Шеломков // Приводная техника. – 2007. – № 6. – С. 21–28.

3. Армадеров, Р. Г. Исследование кинематики активного автопоезда при движении с различным рассогласованием / Р. Г. Армадеров [и др.]. // Автомобильная пром-сть. – 1972. – № 10. – С. 26–29.

4. Богдан, Н. В. Перспективные направления развития городского нерельсового электрического транспорта / Н. В. Богдан, В. П. Николаев, А. И. Сафонов. – Минск: Ураджай, 1999. – 63 с.

5. Тягово-сцепные качества автопоезда 4×4 с электроприводом оси полуприцепа / Р. Г. Армадеров [и др.] // Автомобильная пром-сть. – 1966. – № 8. – С. 8–11.

6. Электрические машины постоянного тока габаритов 160–315 мощностью 1–160 кВт и переменного тока мощностью 32 кВт: каталог 2004–2005. – М.: ЗАО «Кросна-Мотор», 2005. – 80 с.

7. Молибошко, Л. А. Теоретические основы минимизации спектра нагрузок в трансмиссии при движении автомобиля по неровной дороге / Л. А. Молибошко, О. С. Руктешель // Современный транспорт и транспортные средства: проблемы, решения, перспективы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 55-летию автотракторного факультета. – Минск: БНТУ, 2007. – С. 27–30.

8. Аксенов, М. И. Исследование троллейбусов 8ТР-8 и ЗИУ-5 в условиях движения на горной линии / М. И. Аксенов // Городской транспорт: сб. науч. работ Академии коммунального хозяйства имени К. Д. Памфилова. – М.; Л.: Изд-во М-ва коммунального хозяйства РСФСР, 1962. – Вып. XIII. – С. 147–154.